

LOS BIODIGESTORES COMO APORTADORES DE ENERGÍA Y MEJORADORES DEL SUELO.

**Ing. Marisol Fragela Hernández¹, Dr. C. Rolando Hernández Prieto¹, Dr. C. Sonia
Jardines González¹, Ing. José Venancio Sanchez²**

*1. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Carretera Varadero,
km 3 y medio, Cuba.*

2. ANAP Provincial, Calle Contreras/ Manzaneda y Dos de Mayo.

Resumen.

El agotamiento de la energía constituye un problema de actualidad más agudizado y el cual ha condicionado que el hombre busque nuevas formas de aprovechamiento energético, el uso de Biodigestores es una respuesta a ello, donde las producciones animales generan una gran cantidad de residuales contaminantes para el medio que utilizados en forma de biogás disminuyen su efecto nocivo y favorecen la producción de energía, además de obtenerse en el proceso un efluente o lodo residual que pudiera ser utilizado en las producciones agrícolas como mejorador del suelo. Teniendo como base la escasez de energía y utilizando como fuente los biodigestores se llevó a cabo una investigación en el organopónico de la Universidad de Matanzas, con el objetivo de evaluar la eficiencia del residual de biogás con excreta porcina en el cultivo de la zanahoria (*Daucus carota L*) variedad New Kuroda sembradas en bolsas y el rábano (*Rhapanus sativus L*) variedad PS- 9, sembrado en canteros.

Palabras claves: Biodigestores; Energía; Residual; Zanahoria; Rábano.

Introducción.

La humanidad se enfrenta a desafíos que aumentan a ritmo creciente, provocados fundamentalmente porque las reservas naturales, económicamente explotables, se están agotando. Un ejemplo importante de esto, es que la disponibilidad de energía disminuye y el precio del combustible aumenta aceleradamente, debido a su demanda creciente para satisfacer expectativas económicas y sociales tanto de los países en vías de desarrollo como desarrollados. A esta situación se ha sumado, en los últimos tiempos, una profunda crisis en la seguridad alimentaria que puede provocar una situación insostenible para todas las especies vivientes.

Como parte de toda esta desagradable realidad la degradación de los ecosistemas constituye un importante problema de actualidad. El hombre, por la ambición desmedida, tratando de conseguir cada vez mayores ganancias sin tener en cuenta el deterioro de los recursos naturales, ha provocado alteraciones en los ecosistemas naturales, muchas veces irreversibles. Sin embargo la escasez de energía y su agotamiento de modo acelerado constituye el principal problema al que se enfrenta la humanidad, no solo para mantener los niveles actuales de gastos en una vida consumista, sino para la propia supervivencia en niveles sostenibles de insumos.

El petróleo, que es la principal fuente de energía en la actualidad se agotará casi completamente en los próximos 150 años y antes de que esto ocurra es necesario encontrar alternativas, que alarguen el tiempo en que se agoten las reservas y adapten al hombre a nuevas formas de aprovechamiento energético.

En el mundo se viene trabajando en la búsqueda y explotación de fuentes renovables, una de ella es la obtención de biogás producto de la digestión de residuales, por tener la gran ventaja de no ser contaminantes, aspectos que en estos momentos se ha incrementado y va encaminados a la toma de conciencia sobre la necesidad de conservar el medio ambiente.

Cuba, que no está exenta de la crisis energética, busca también sus propias alternativas entre las que se encuentra el uso del biogás. Debido a ello se ha evidenciado un desarrollo de esta tecnología, que comienza con la construcción de numerosos tipos de biodigestores como un sistema eficiente en cuanto a depuración de efluente, producción de energía y biofertilizantes.

El residuo orgánico que se descarga del biodigestor obtenido de los procesos de digestión anaerobia es un lodo-liquido fluido de excelentes propiedades fertilizantes, el cual está constituido por la fracción orgánica que no alcanza a degradarse y por el material orgánico agotado. Su constitución puede variar mucho, dependiendo de las variaciones en el contenido de la materia orgánica utilizada para alimentar el biodigestor y del tiempo de residencia de dicho material dentro de él.

El fertilizante obtenido en la planta de biogás tiene características superiores al abono con estiércol fresco debido a que no se pierden los nutrientes. Puede competir con los fertilizantes químicos permitiendo un ahorro en la aplicación de otros abonos convencionales, sin disminuir la productividad de los cultivos. No deja residuos tóxicos en el suelo y además aumenta la productividad en comparación con suelos no abonados. Puede ser utilizado puro o como aditivo de origen orgánico de alta calidad, o como correctivo de la acidez en los suelos.

Desarrollo.

LA ENERGÍA

La utilización doméstica del calor, con el dominio del fuego en las épocas prehistóricas y la invención de las máquinas térmicas a partir del siglo XVIII, fueron algunos de los logros tecnológicos más grandes en la historia de la humanidad y que son consecuencia del uso de la energía de modo más eficiente.

Hasta hoy y desafortunadamente, de un futuro no tan lejano, el 90 % de las necesidades energéticas de nuestro planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) Campos (1999). Todos ellos extinguidos, fuertemente contaminantes y utilizados en forma ineficiente, por el interés predominante de la producción de energía sobre el de su efecto ecológico.

Como es conocido en los últimos años, las fuentes alternativas de energía han ido adquiriendo una importancia cada vez mayor en Cuba, lo cual, básicamente por razones energéticas y ambientales, también es una tendencia mundial. La Comisión Nacional de Energía (1993) plantea que el déficit de energía que sufre el mundo actual y en particular Cuba, tiene una situación cada vez menos favorable. Si trasladamos este déficit a las zonas rurales, el problema se agrava aún más, ya que la carencia de la energía obligará a los campesinos a satisfacer esta necesidad, utilizando a gran escala la leña y desperdicios agrícolas (estiércol y residuos de cosecha).

EL PETRÓLEO COMO FUENTE DE ENERGÍA.

La mayor parte de la energía que se utiliza procede de los recursos naturales existentes en nuestro planeta, principalmente del carbón y el petróleo.

El petróleo es base de una gigantesca industria petroquímica mundial que produce desde caucho sintético, detergentes, fertilizantes hasta pinturas, materiales aislantes y tintes, entre otros productos de alto valor y demanda. Además, es el carburante rey de los equipos que ruedan en carreteras, vuelan o navegan, pero aparejado a sus disímiles beneficios se conoce que entre el 60 y el 70% de la deuda externa de los países pobres del planeta se refiere al pago del petróleo que adquieren para intentar desarrollarse, además el exagerado precio del petróleo hoy, como ya ocurrió otras veces, conmociona a las débiles economías de las naciones pobres, constituye asunto de actualidad en cualquier dirección: militar, económica, política... y faltaría referirse a la medioambiental.

Durante millones de años plantas y microorganismos fueron sepultados en las profundidades del planeta, y su descomposición acumuló energía química en forma de gas natural, carbón mineral y petróleo. Por miles de años los primeros hombres solo conocieron la energía calórica que producía el fuego al quemar leña o carbón.

Entre 1760 y 1830 ocurrió la primera revolución energética con la introducción de nuevas tecnologías, como la máquina de vapor, las textiles y el ferrocarril. Todo gracias al uso del carbón mineral. El segundo gran cambio industrial de las naciones más desarrolladas ocurrió entre 1860 y 1930, período en el cual se introdujeron los sistemas eléctricos, la aviación y la

siderurgia. El eje central en toda esa evolución ha sido el petróleo y es por ello que llegamos a problemas graves traídos por el uso constante y creciente de ese portador energético a escala mundial (Centella, 2004).

Se ha comprobado, por ejemplo, que las emanaciones de la combustión de hidrocarburos en plantas generadoras de electricidad e industrias, constituye una de las causas principales de enfermedades de las vías respiratorias, de la piel y diversos tipos de cáncer.

El cambio climático global es otro "regalo" de la quema del petróleo y sus derivados, el llamado efecto invernadero permite la entrada de energía solar en la atmósfera, pero reduce el necesario reenvío de rayos infrarrojos al espacio exterior, o sea, genera recalentamiento terrestre.

Cuba solar (2006) ha reportado que el 80% del monóxido de carbono y el 40% de los óxidos de nitrógeno de hidrocarburos emitidos proceden de la combustión de gasolina y gasóleo en motores de autos y camiones.

De mantenerse tal tendencia, ocurrirá la muerte de bosques, tormentas violentas y sequías abrumadoras, el deshielo del Océano Ártico, la inundación de ciudades litorales; se secarán el cinturón productor de cereales y los campos de trigo en las estepas, lo que unido al hundimiento de los terrenos bajos, traerá como resultado la pérdida de un tercio de las tierras agrícolas.

Cuba consumía unos 17 millones de toneladas de combustible convencional, pero a partir de 1990, debido a las limitaciones en la importación de los combustibles, fue necesario incrementar la producción y el consumo de la energía procedente de fuentes nacionales no petroleras. A éstas por convicción se les identifica como fuentes alternativas de energía (FAE) aunque también se le llama indistintamente energías alternativas o energía procedente de fuentes alternativas. Las FAE hasta ahora consideradas en Cuba comprenden a las formas renovables y no renovables (Comisión Nacional de energía, 1992).

Enríquez (1998) plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos orgánicos (estiércoles y plantas), los cuales pueden ser usados como simple medio para producir energía y fertilizantes por medio de plantas de biogás. De esta manera se mejorará la vida de los campesinos, se incrementará la producción agrícola y se preservará el medio ambiente.

La búsqueda de energías alternativas, es un tema hoy presente en el mundo, la contribución a la contaminación ambiental por el uso de combustibles convencionales derivados de materiales fósiles, sumado al costo que involucra su obtención genera la necesidad de tomar medidas urgentes sobre este aspecto.

BIODIGESTORES

Según Hernández (2005) una planta de Biogás consiste en un digestor y una campana almacenadora de gas. El digestor es el depósito donde se introducen los materiales de desperdicio. La campana de gas o domo es la encargada de recoger el gas en la medida que es producido. Esta campana generalmente se coloca encima del digestor y en otros casos la campana puede estar separada del digestor llamándose entonces gasómetro.

El biodigestor suministra energía y abono, mejora las condiciones higiénicas y no daña el medio ambiente, es una fuente de energía moderna, renovable y con un mínimo mantenimiento. No se necesita un alto grado de capacitación para operarla. Sin embargo, todo lo antes citado es posible solamente si está bien construida (Krebs, 1991).

El uso de biodigestores constituye una alternativa al uso de las mal llamadas basuras, mediante la utilización de una tecnología apropiada, ofreciendo un modelo ecológico adaptado a las condiciones de cada lugar (Oliva *et al.*, 2004).

Según López (1999) con la instalación de biodigestores se derivan una serie de ventajas que se agrupan en:

Relacionadas con el Medio Ambiente:

- Reduce la producción de gas metano. El excremento en estado natural expulsa grandes cantidades al espacio de este gas que es uno de los más perjudiciales para la capa de ozono.
- Evita los malos olores entre el 90 y 100 %.
- Se evita en un 100 % la contaminación de suelos y agua, pues los excrementos constituyen uno de los elementos más contaminantes de nuestro medio ambiente.
- Se evita la tala de árboles para ser utilizados en la cocción, los biodigestores son una de las grandes posibilidades para evitar la tala desmedida que se está manifestando.
- Produce fertilizante como una opción para sustituir la agricultura tradicional por la orgánica, pues el efluente del biodigestor es una excelente alternativa.
- No se produce humo, que afecta la salud humana.

Relacionadas con el bienestar familiar, institucional y los costos:

- Representa una alternativa económicamente factible.
- No hay peligros de explosiones si se toman las medidas básicas de protección.
- Mejora la economía familiar e institucional.
- Es muy rápido para cocinar. El gas tiene una llama azul con alta concentración de calor, lo que facilita la cocción rápida.
- Las reparaciones de los biodigestores son sencillas cuando se tiene conocimiento mínimo de cómo manejarlo.
- La inversión y mantenimiento son de bajo costo.
- La inversión es por treinta años o más.

La tecnología del biogás está bien adaptada a las exigencias ecológicas y económicas del futuro y es una tecnología de avanzada (Anon, 2006). Tal vez la simplicidad de su concepto y construcción juega un papel en su contra, pero aún se está lejos de alcanzar el tope del desarrollo de las plantas de biogás, y aún queda mucho por investigar acerca de lo que pasa dentro del biodigestor (Cruz *et al.*, 2004).

Además de que su uso constituye una alternativa de eliminación de las mal llamadas basuras, mediante la utilización de una tecnología apropiada, ofreciendo un modelo ecológico adaptado a las condiciones de cada lugar donde se implementen (Oliva *et al.*, 2004).

HISTORIA DE LOS BIODIGESTORES

Básicamente existen dos escuelas de diseño de biodigestores Domínguez (2000) a partir de las cuales han surgido los diferentes tipos de digestor sin embargo todos parten de los mismos principios de funcionamiento.

Está el Sistema Hindú o KVICK que fue desarrollado en la India en la década de los 50, después de la Segunda Guerra Mundial, basado en las experiencias de franceses y alemanes durante la guerra, pues en este período, campesinos de esos países recurrieron a los digestores para obtener combustible para los tractores y calefacción doméstica en el invierno.

Pasada la guerra, cuando los combustibles fósiles fueron fáciles de conseguir y bajaron de precio, se regresó a la comodidad de los hidrocarburos. Dado que la India es pobre en combustibles convencionales surge el típico digestor conocido como Hindú y cuya principal característica es la de operar a presión constante. También de allí surgió el nombre de Bio Gas para designar a este combustible obtenido a partir del estiércol animal. Este digestor es el prototipo de la sencillez en su concepción y su operación, pues fue ideado para ser manejado por campesinos de muy escasa preparación.

Por otra parte surge el Sistema Chino o SZCHAWN dado el éxito del sistema Hindú en una época donde el gran problema de China en ese momento no era energético, sino sanitario y alimenticio; para resolver estos dos graves problemas se desarrolló específicamente el Digestor Tipo Chino. Con la utilización del biodigestor se eliminan los malos olores, se recupera el abono orgánico de uso inmediato para los cultivos y se genera combustible para las cocinas y el alumbrado de las familias campesinas.

Por motivos diferentes de los hindúes, los chinos desarrollaron, por economía de construcción, el digestor unifamiliar que opera básicamente con presión variable. Sin embargo hay que recordar que su objetivo no fue el Gas, sino el abono orgánico procesado y recuperado, gracias al cual China logró superar la crisis alimenticia y viene aumentando desde hace unos 10 años su producción agrícola, a un ritmo sostenido del 10 % anual.

El biodigestor de segunda y tercera generación tiene gran repercusión pues opera básicamente en dos niveles. En la parte baja del mismo se construye un túnel o laberinto, que sirve para retener temporalmente todos los materiales que tienden a flotar; con las divisiones internas se divide el laberinto en una serie de cámaras independientes pero comunicadas entre sí de forma continua. Por medio de planos

inclinados y ranuras delgadas en las placas de ferro cemento que conforman el techo del laberinto, se permite el paso del gas y del material ya hidrolizado y degradado.

Los materiales lentamente digeribles, que completan su ciclo de degradación anaeróbica en más de 100 días, pueden hacerlo al tiempo con excrementos que requieren mucho menos tiempo, entre 15 y 20 días.

El digestor de tercera generación es la mezcla de varios digestores en una unidad. El laberinto es típico del sistema de Tapón o Bolsa, con longitudes efectivas de 20 a 30 metros, es el

sistema más sencillo y práctico de todos los digestores de tipo convencional; las diferentes cámaras independientes (6 o más según el diseño) brindan las ventajas de los digestores de carga única; al final del recorrido y en la parte superior, se encuentra la última recámara grande, que equivale al digestor tipo Hindú, con su campana flotante, carga por la parte inferior y salida del efluente por rebose en la superior.

Este tipo de digestor en especial, ofrece una doble ventaja económica, ya que por un lado se construye una sola unidad del tamaño adecuado a las necesidades en lugar de varias independientes más pequeñas; y por otro lado se elimina el costo de mano de obra necesaria para estar cargando y descargando periódicamente las unidades de carga única (Curso: “Producción de Biogás y electricidad Solar II”, 2004).

TIPOS DE BIODIGESTORES

Los digestores se clasifican según, Hernández (2005), por su modo de operación, en los siguientes tipos:

- De lote o batch.

Se cargan de una vez en forma total o por intervalos durante varios días y la descarga se efectúa cuando han dejado de producir gas combustible. Normalmente consisten en tanques herméticos, con una salida de gas conectado a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás.

Se aplica cuando se desee procesar materia orgánica que presenta problemas de manejo en un sistema continuo o cuando esta se encuentra disponible en forma intermitente.

Ejemplos de estos materiales de digestión los encontramos en la paja de arroz, desechos vegetales de cosechas, excretas vacunas mezcladas con hierbas, bagazo de caña, tallos de plátanos, cáscaras de café, etc.

- De régimen semi continuo.

Este es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico, los diseños más populares son el hindú y el chino.

Los digestores de tipo hindú se caracterizan por ser verticales y enterrados semejando un pozo. Presentan una buena eficiencia de digestión y producción de biogás, generándose entre 0,5 y 1 volumen de gas por volumen de digestor.

Los digestores de tipo chino son recipientes redondos y achatados con el techo y el piso en forma de domo. Se construyen totalmente enterrados y trabajan bajo el principio de hidropresión. No poseen campana móvil. La eficiencia oscila entre 0,15 y 0,2 volumen de gas por volumen de digestor.

- Horizontales (Flujo pistón).

Los digestores horizontales de flujo pistón o de flujo de émbolo generalmente se construyen enterrados, poco profundos y alargados, semejando un canal o túnel. Su sección transversal es cuadrada, circular o en forma de V. El gas generado puede pasar a un gasómetro separado del digestor.

De régimen continuo.

Este tipo de digester se desarrolló principalmente para el tratamiento de aguas negras y en la actualidad su uso se ha extendido al manejo de otros sustratos. Son plantas de gran tamaño en las que se emplean equipos

comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calificación y agitación así como para su control.

- Otros tipos de digestores.

Digester Filtro (Anaerobio ascendente).

Digester anaerobio. (Flujo ascendente), (Lecho bacteriano).

Digester anaerobio (Mezcla completa).

SITUACIÓN INTERNACIONAL DE LOS BIODIGESTORES

Según German (2004) Asia es el continente que más instalaciones de biogás ha reportado. Desde 1973 se estableció la Oficina de Difusión del Biogás y posteriormente el Centro Regional de Investigación en Biogás para Asia y el Pacífico Sur adjunto al Ministerio de la Agricultura. En la república Popular de China la situación actual en las zonas rurales se caracteriza por una grave escasez de energía donde alrededor de 130 millones de familias carecen de combustible para uso doméstico durante tres meses del año. El 70 % de combustible para uso doméstico proviene de paja y tallos de cultivos. El estado solo puede solucionar el 13 % de las necesidades energéticas individuales para el sector rural.

En la india, alrededor de 500 000 familiares utilizaron plantas de biogás, para producir energía como sustituto del combustible doméstico. Hoy existen plantas demostrativas multifamiliares donde el gas se hace llegar por tuberías a cada vivienda sobre la base de un precio módico por consumidor. En la localidad de MASUDPUR el estado ha construido una planta de biogás multifamiliar a partir de excrementos humanos y vacunos. El digester de alrededor de 194 m³ de capacidad tiene una campana de acero de 85 m³ y el biogás se envía a 12 viviendas separadas de la instalación productora en 1 km de distancia. Hoy 31 comunidades cuentan con plantas de biogás multifamiliares que trabajan eficientemente porque son atendidas con esmero.

En Europa existen alrededor de 564 instalaciones productoras de gas biológico que representan unos 269 000 m³ de digestores. De estas 174 000 m³ digestores corresponden a instalaciones industriales. El resto, 95 000 m³ de digestores corresponden a instalaciones agrícolas (Cruz, 1991). Al inicio el desarrollo del biogás fue más fuerte en la zona rural. Hoy el tratamiento de desechos municipales mediante instalaciones productoras de energía y abonos llevan el peso fundamental en el desarrollo de esta tecnología donde se trabaja fuertemente por lograr cada día una eficiencia óptima de procesos con tiempo de retención extremadamente bajos (3 a 10 h). En Estados Unidos de América existen algunas plantas de biogás de gran tamaño y buen funcionamiento.

Según Hernández (2005) otra instalación significativa resulta la de una planta de biogás construida para el procesamiento de excreta de vacas lecheras en la ciudad de MONROE, y WASHINGTON. Esta instalación posee un digester de 190 m³ de capacidad comenzó a trabajar en 1977 concebida para 200 vacas estabuladas. En América Latina se hacen esfuerzos

aislados en distintos países, con el propósito de extender la tecnología del biogás a las condiciones de vida e idiosincrasia de nuestros pueblos.

SITUACIÓN NACIONAL DE LOS BIODIGESTORES

Las plantas de biogás en Cuba son una contundente solución a problemas con los residuales que se han evidenciado por la acción del hombre al tratar de darle tratamientos tradicionales mediante lagunas de oxidación, vertimientos de cañadas, ríos o al mar directamente en algunos casos German (2004). Existen ejemplos de vertimientos biodegradantes que han destruido bancos de ostiones, bancos de mangles, muertes de peces en ríos y presas, contaminación de agua para uso social, y destrucción de la vida marina en la desembocadura de los ríos contaminados.

La Comisión Nacional de Energía (1993) señala que Cuba aún no sanciona o penaliza el desastre ecológico diario que provocan los organismos vertedores de residuos. El tratamiento de residuales mediante fermentación anaerobia elimina los malos olores de la descomposición de cualquier materia orgánica, no atrae moscas u otros vectores y evita los problemas de infiltración de materia orgánica sin digerir al manto freático o cursos de agua.

En el país se construyeron alrededor de 550 instalaciones pequeñas de biogás en vaquerías rústicas, con el propósito de sustituir el mechón o lámpara de keroseno artesanal para el alumbrado durante la jornada del ordeño manual en horas de la madrugada. Cada día estas plantas de biogás han ido abandonándose (Barreto *et al.*, 2002).

BIODIGESTORES EN LA PROVINCIA DE MATANZAS

Se han evidenciado resultados satisfactorios con la implementación de biogás en la provincia de Matanzas a partir de la disminución de la contaminación y recuperación de los suelos con el empleo de los biodigestores en el sector cooperativo y campesino de la provincia.

Con la implementación de los mismos se contribuye a la disminución de la contaminación ambiental a partir del uso económico de los residuales para la obtención de energía renovable y abonos orgánicos, además se mejoran los suelos para uso agrícola con el empleo de bio abonos, lo cuales suministran nutrientes y restablecen la macro y micro fauna edáfica.

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 las aguas superficiales y subterráneas, y lo relacionado con la deforestación y la pérdida de fertilidad de los suelos.

En cuanto a 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 10 veces superior al del dióxido de carbono.

Con el empleo de los biodigestores pueden ser aprovechados económicamente estos residuales de biogás, lo obtenido en el proceso de biodigestión es un efluente líquido o bio abono de mucho valor para restaurar los nutrientes y restablecer la vida del suelo.

Matanzas cuenta en la actualidad con 181 plantas de biogás, de estas 162 pertenecientes al sector privado. José B. Sánchez. ANAP. Matanzas 2007. (Comunicación personal).

Cantidad de plantas por municipios

Cienaga de Zapata	3 plantas
Jagüey grande	6 plantas
Jovellanos	61 plantas
Limonar	16 plantas
Arabos	1 planta
Martí	7 plantas
Matanzas	1 planta
Pedro Betancourt	38 plantas
Perico	6 plantas
Unión de reyes	18 plantas

Cantidad de plantas por capacidad del Digestor.

2 m ³	1	12 m ³	3
3 m ³	2	14 m ³	48
4 m ³	9	20 m ³	2
5 m ³	4	22 m ³	9
6 m ³	43	34,5 m ³	1
7 m ³	2	42 m ³	16
8 m ³	22	60 m ³	1
10 m ³	17	300 m ³	1

De las 181 plantas solo se encuentran funcionando 111, las 70 restantes no funcionan. El total de beneficiarios con este servicio es de 3417 personas.

Tendencias actuales en la producción de biogás en la provincia.

- Interés marcado en el sector cooperativo y campesino por los beneficios energéticos y el aporte como nutriente para el suelo de los lodos finales y el efluente líquido.
- Toma de conciencia en la población de decisiones sobre la necesidad del empleo de fuentes alternativas de energía.
- Necesidad del saneamiento ambiental ante las cruzadas contra los vectores de enfermedades y la necesidad de preservar las aguas superficiales y subterráneas de los efectos de la contaminación.

BIOGÁS. CARACTERÍSTICAS.

La descomposición de los desechos orgánicos en ausencia de oxígeno (anaerobia) es un fenómeno conocido desde hace muchos años. La materia orgánica enterrada se descompone y se obtienen productos que no causan problemas convirtiendo los desechos forestales, animales, agrícolas, industriales y humanos en un gas biológico combustible (biogás) con una alta participación de metano(CH_4) y en un residuo líquido o sólido (fertilizante y abono digerido) con un buen contenido de nitrógeno, fósforo y potasio.

En 1889, Gayón, miembro de la sociedad de Ciencias Físicas y Naturales de Burdeos, logró verificar que el gas formado por la descomposición de residuos a 35°C poseía propiedades combustibles y su capacidad de uso con fines energéticos. Luego se registraron experiencias realizadas por Shloessing, de Alemania, Verían y Dupont de Francia acerca de la temperatura apropiada para llegar a obtener la mejor producción de Biogás (Hernández, 2005).

Se llama biogás al gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno. Este biogás es combustible, tiene un alto valor calórico de 4 700 a 5 500 Kcal/m³ Borroto (1997) y puede ser utilizado en la cocción de alimentos, para la iluminación de naves y viviendas, así como para la alimentación de motores de combustión interna que accionan, máquinas, herramientas, molinos de granos, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas o de cualquier otro tipo. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. El biogás está compuesto por:

Metano (CH_4) 55 a 70 %.

Anhídrido carbónico (CO_2) 35 a 40 %.

Nitrógeno (N_2) 0.5 a 5 %.

Sulfuro de hidrógeno (SH_2) 0.1 %.

Hidrógeno (H_2) 1 a 3 %.

Vapor de agua Trazas.

Como se observa el aporte calórico fundamental lo ofrece el metano cuyo peso específico es de alrededor de 1 Kg/m³. Si deseamos mejorar el valor calórico del biogás debemos limpiarlo de CO_2 . De esta forma se logra obtener metano al 95 %. El valor calórico del metano puede llegar hasta 8 260 Kcal/m³ con una combustión limpia (sin humo) y casi no contamina. El uso del biogás en motores de combustión interna permite que se soporten altas compresiones sin detonaciones. (Hernández, 2005).

El biogás es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogás es una fuente de energía renovable.

Según Arturo (2002) el biogás contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa. La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas.

La digestión anaerobia que ocurre en este proceso es ampliamente conocido en la práctica, más posee en la actualidad una información no muy amplia sobre su bioquímica y su microbiología (Henson *et al.*, 2002).

Como en cualquier otro gas, algunas de las propiedades características del biogás dependen de la presión y la temperatura. También son afectadas por el contenido de humedad. Los factores más importantes para caracterizar el biogás son los siguientes:

- Cómo cambia el volumen cuando cambian la presión y la temperatura.
- Cómo cambia el valor calorífico cuando cambian la temperatura, presión y/o contenido de agua.
- Cómo cambia el contenido de vapor de agua cuando cambian la temperatura y/o la presión.

El valor calorífico del biogás es cerca de 6 Kwh por metro cúbico. Es decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible diesel.

Según Moncayo (2007) el tratamiento anaerobio de residuales orgánicos (específicamente de excretas de animales), limita a los procesos que ocurren en la naturaleza donde no existen los desechos o desperdicios sino materia prima para crear otro tipo de material útil para la vida.

El bioabono sólido o líquido no emana malos olores a diferencia del estiércol fresco, no atrae moscas y puede aplicarse directamente a los cultivos en forma sólida o líquida, en las cantidades recomendadas.

Como biofertilizante puro, presenta una concentración de nutrientes relativamente alta, y a pesar de esta característica, puede ser aplicado directamente a los cultivos. Se lo utiliza también como aditivo en la preparación de soluciones nutritivas para cultivos hidropónicos (González *et al.*, 2002). Las ventajas de la utilización del bioabono como fertilizante son enormes, no solo por su bajo costo sino más bien por los excelentes resultados que se obtienen en la producción agrícola de todo tipo de cultivos.

PROCESO ANAEROBIO Y DE FERMENTACIÓN

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa (Theresa *et al.*, 1994). La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas (Arturo, 2002).

Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información no muy amplia sobre su bioquímica y su microbiología (Lee *et al.*, 2002).

Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia, para la formación de metano, se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para dar biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias (Figura 1). Las variables más importantes que influyen en el proceso son las siguientes.

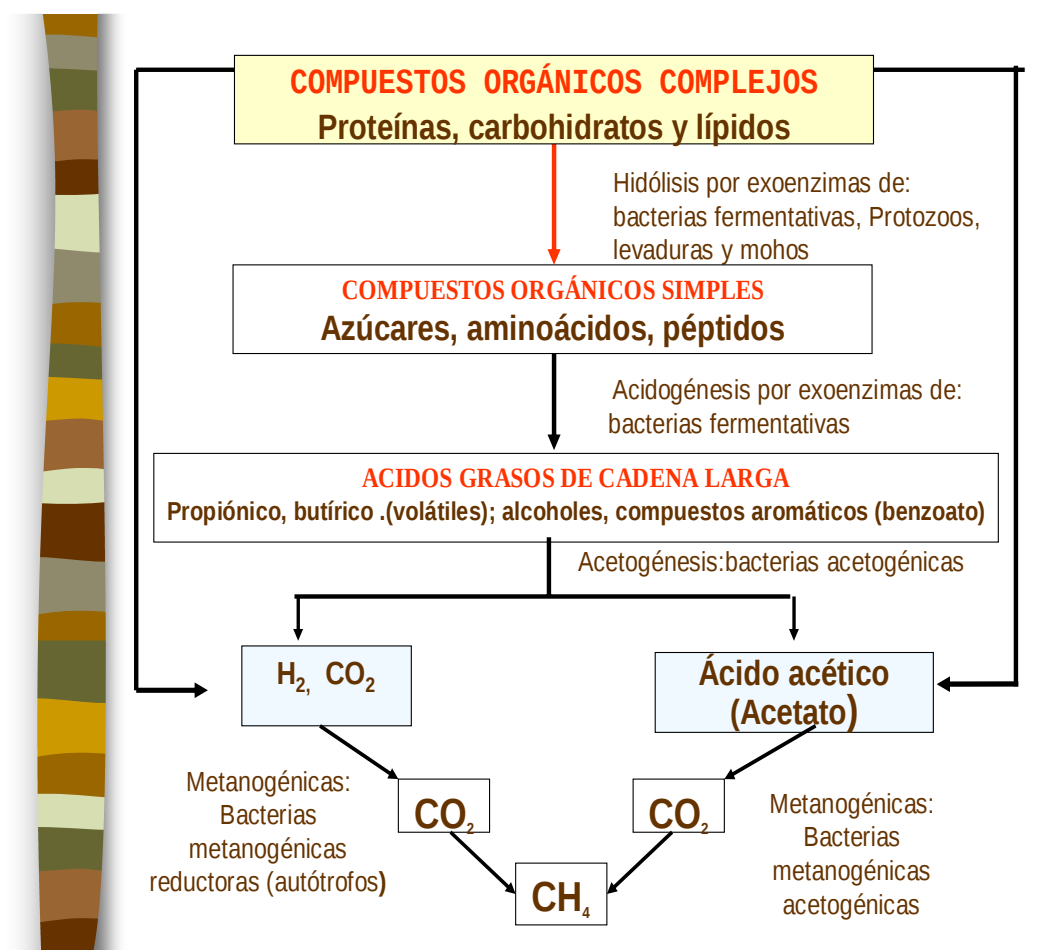


Figura 1. Etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para dar biogás como producto final. (Tomado de Arango, 2007).

- Temperatura: Se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35 °C.
- Acidez: Determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,5 y 7,5.
- Contenido en sólidos: Se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad o con un suministro de agua hasta alcanzar ese valor de sólidos totales.
- Nutrientes: Para el crecimiento y la actividad de las bacterias, estas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales, que están presentes en cantidades suficientes en los residuales antes señalados.
- Tóxicos: Aparte del oxígeno inhiben la digestión, así como concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes

(nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 L/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%. Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir al gas comercial, utilizándose en las siguientes aplicaciones:

- Fuente de calor (cocina, alumbrado).
- Combustión en calderas de vapor para calefacción.
- Combustible de motores acoplados a generadores eléctricos.

Cada material de fermentación o material de carga se compone de sustancias sólidas orgánicas, sustancias sólidas inorgánicas y agua.

Con el agua aumenta la fluidez del material de fermentación, lo cual es importante para el funcionamiento de una planta de biogás. En un lodo de fermentación líquido, las bacterias de metano llegan con más facilidad al material de fermentación fresco. De ese modo se acelera el proceso de fermentación. Un lodo con 5 a 10 % de sólidos es apropiado (Oliva *et al.*, 2004).

Los sistemas anaerobios son procesos fermentativos que liberan productos finales estables y una producción celular muy baja. Van Handel y Lettinga (1994) argumentan que sólo el 3% de la materia orgánica presente en el agua residual es convertida en masa celular. El 97% remanente es convertido vía catabolismo en CH_4 y CO_2 como productos finales estables. En términos generales, la producción de lodos biológicos en los sistemas de tratamiento anaeróbico es baja, reduciendo los costos de tratamiento y disposición final. Adicionalmente el CH_4 producido es una fuente de energía renovable (Noyola, 1997).

Los procesos anaerobios tienen bajos requerimientos energéticos, e inclusive con ciertos desechos orgánicos pueden producir energía por medio del biogás (metano y dióxido de carbono). Producen pocos lodos de purga y estabilizan la materia orgánica que mantiene los nutrientes para fertilizar, lo que la transforma en un mejorador de suelos muy valioso en medios rurales.

La digestión anaerobia se ha aplicado principalmente en el manejo de residuos orgánicos rurales (animales y agrícolas) y más recientemente en el tratamiento de aguas residuales, tanto industriales como domésticas. Se considera un proceso de fermentación y mineralización en el que la materia biodegradable es convertida a compuestos orgánicos e inorgánicos, principalmente a metano y a dióxido de carbono Noyola (1997). La principal característica de los procesos anaerobios es la degradación de los compuestos orgánicos por parte de las bacterias que no requieren oxígeno y finalmente con sus reacciones producen el gas metano (Veenstra *et al.*, 1998).

La fermentación es un proceso de producción de energía menos eficiente que la respiración; como consecuencia de ello, los organismos heterótrofos estrictamente fermentativos se caracterizan por tasas de crecimiento y de producción celular menores que las de los organismos heterótrofos respiratorios Metcalf y Eddy (1996). Los procesos microbiológicos involucrados en la digestión anaerobia, hacen posible la transformación de la materia orgánica presente en el agua residual (polímeros orgánicos complejos), a una mezcla gaseosa de

metano, dióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico, especialmente (biogás) y a un nuevo material celular, estos se llevan a cabo por medio de reacciones bioquímicas que son realizadas por varios grupos de bacterias.

EL RESIDUAL DE BIOGÁS

El residuo orgánico que se descarga del biodigestor obtenido de los procesos de digestión anaerobia es un lodo-liquido fluido de excelentes propiedades fertilizantes, el cual está constituido por la fracción orgánica que no alcanza a degradarse y por el material orgánico agotado. Su constitución puede variar mucho, dependiendo de las variaciones en el contenido de la materia orgánica utilizada para alimentar el biodigestor y del tiempo de residencia de dicho material dentro de él.

El componente energético de la biomasa procede de la energía solar, que las plantas son capaces de transformar, mediante el proceso de la fotosíntesis, en energía química, almacenada en forma de hidratos de carbono. Se suelen encontrar tres tipos de biomasa, vegetal, animal y residual (Comisión Nacional de Energía, 1992).

Este efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar tanto en la fertilización de suelos con excelentes resultados, como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación, pero con muchas posibilidades en el futuro (Carballo *et al.*, 2003).

Según (Hernández, 2005) el producto de la digestión es considerado como un fertilizante debido a que su composición mineral y orgánica es capaz de influir sobre plantas y cultivos elevando sus productividades. Por otro lado es considerado como excelente mejorador y acondicionador del terreno, por ser un producto capaz de mejorar las propiedades físicas y físico-químicas del suelo.

La importancia de los residuales obtenidos de las instalaciones de biogás en el fertilizante radica en:

- El fósforo presente en los desechos a digerir en una planta de biogás salen con muy poca o ninguna reducción. Se comporta como solubilizador de fuentes de fósforo.
- Existe una pequeña pérdida del nitrógeno que se escapa en el gas. Lo más importante es saber que parte del nitrógeno que entra en la planta de biogás para el tratamiento del desecho es nitrógeno orgánico y se transforma en nitrógeno amoniacal que es absorbido más rápidamente por las plantas para su crecimiento. Gran parte de este nitrógeno amoniacal se pierde si la mezcla o lodo se expone al secado.
- El volumen de estiércol después del procesamiento será mayor que si la misma excreta se hubiese colocado en un foso de estiércol. Aparecerá la presencia de agua (hidrólisis) beneficiosa para el terreno y las plantas.
- El material digerido de una planta de biogás tendrá más nutrientes que el estiércol de silos o depósitos de oxidación porque en el digestor hay menos lixiviación, o sea, gran parte del nitrógeno en los silos o depósitos (estercoleros masivos) se pierde mediante evaporación o volatilización, la que aumenta al exponerse al calor del sol.

- El fertilizante de las plantas de biogás añade humus y apoya la actividad microbológica de los suelos. Incrementa la porosidad del terreno y las propiedades de retención de la humedad. Es eficaz durante un período alrededor de tres años a diferencia del fertilizante químico que es eficaz alrededor de un año.

FORMAS DE APLICACIÓN DEL RESIDUAL

Existen tres formas de aplicación del residual de biogás según (Hernández, 2005).

- Efluente líquido: Presenta ventajas como la alta disponibilidad de nutrientes y la buena absorción por parte de las plantas, puede aplicarse inmediatamente sale del biodigestor, o almacenarse en tanques tapados por un período no mayor a 4 semanas, para evitar grandes pérdidas de nitrógeno.
- Efluente compostado: Otra manera de manejar el efluente es agregándole material verde (desechos de forraje de establo) y compostándolo, este método produce pérdidas de nitrógeno del 30% al 70%, pero tiene la ventaja de que el producto final es compacto, en forma de tierra negra, lo que facilita el transporte y aplicación.
- Efluente seco: El resultado del secado es una pérdida casi total del nitrógeno orgánico (cerca del 90%), lo que equivale al 5 % del nitrógeno total. Las producciones observadas en cultivos al utilizar el efluente seco son las mismas que al usar estiércol seco o estiércol almacenado, este procedimiento se recomienda cuando se vayan a fertilizar grandes áreas, o la distancia a cultivos sea larga y difícil.

En áreas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.se realizaron tres experimentos con el objetivo de conocer el comportamiento de la zanahoria (*Daucus carota L*) y el rábano (*Rhapanus sativus L*) ante la aplicación de residuales de Biogás obtenidos del ganado porcino.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se realizaron 3 experimentos, se efectuaron las atenciones culturales establecidas en las normas para organopónicos (MINAGRI, 2000).

Estos experimentos recibieron como elemento común una incorporación de Residual de biogás como fertilizante acorde a lo recomendado para este sistema por (MINAGRI, 2000) y (González, 2003).

Las variedades utilizadas en la investigación fueron:

- Zanahoria (*Daucus carota L*)

Variedad: New Kuroda, se caracteriza por una raíz cilíndrica, alargada, la piel es lisa, de color naranja intenso. Su ciclo es de 110 a 115 días y se puede sembrar entre septiembre y febrero.

- Rábano (*Raphanus sativus* L).

Variedad: PS – 9, apropiada para organopónicos, se puede sembrar todo el año, cultivo de ciclo muy corto (22 a 28 días), variedad muy estable en la producción de bulbos, según MINAGRI 2000, su follaje es verde claro, hojas erectas y flor blanca. El fruto agrícola es redondeado de color rojo con punta blanca, muy uniforme, interiormente es blanco, poco fibroso y suave, de buena calidad para el consumo fresco.

EXPERIMENTO I: EVALUACIÓN DE RESIDUAL DEL BIOGÁS EN DIFERENTES ESTADOS, COMBINADO CON MICORRIZAS Y MICROORGANISMOS EFICIENTES; EN EL CULTIVO DE LA ZANAHORIA SEMBRADO EN BOLSAS.

Se sembró el cultivo de la zanahoria en bolsas de polietileno con capacidad de 6 Kg. Se utilizó un diseño de bloque al azar con 12 tratamientos y 10 réplicas para cada uno. La preparación del biopreparado para el desarrollo de los microorganismos eficientes a aplicar en una hectárea se realizó de la siguiente forma:

Mezcla de 3 sacos de hojarasca, que contiene los microorganismos autóctonos de la finca con 1 saco de cáscara de arroz (materia prima sobre la cual se van a desarrollar los microorganismos) y una solución de agua de miel de purgas hasta lograr una consistencia húmeda del material con el objetivo de favorecer la fermentación. Todo este material debidamente mezclado se colocó en un tanque plástico, se apisonó hasta sacar el aire dentro del mismo y se cerró herméticamente para crear las condiciones ideales de anaerobiosis. Su aplicación se puede realizar a los 10 o 12 días.

Montaje del experimento:

- Siembra del cultivo el 29 de enero de 2008 a razón de 3 semillas por bolsa.
- 93,3 % de poder germinativo de la semilla de zanahoria.
- Inoculación con hongos formadores de Micorrizas al momento del trasplante a razón de 5 g del producto por planta en el nido de plantación según (Moya et al., 2001).
- Riego en día alternos durante los primeros estadios y dos meses antes de la cosecha con una frecuencia diaria.
- Escarpe manual.
- Raleo después de germinada la semilla.
- Aplicación directa en la bolsa de 250 ml de residual a los 15 días de la germinación para los tratamientos 1, 2 y 3.
- Aplicación directa en la bolsa de 125 ml por bolsa a los 30 días de germinada la semilla a los tratamientos 2 y 3.
- Aplicación directa en la bolsa de 125 ml de residual a los 45 días de germinada la semilla a el tratamiento 3.
- Residual asperjado a los 35 días de germinada la semilla a los tratamientos 5, 6, 8, 9, 11 y 12.
- Cosecha a los 110 días de germinada la semilla en horas tempranas de la mañana.

Los tratamientos fueron los siguientes:

1. Residual semisólido aplicado a 250 ml por bolsa (RS).

2. Residual semisólido aplicado a 375 ml por bolsa.
3. Residual semisólido aplicado a 500 ml por bolsa.
4. Testigo.
5. Residual líquido asperjado a 250 ml por bolsa (RL).
6. Residual líquido asperjado a 375 ml por bolsa.
7. Microorganismos aplicados a 5 g por nido.
8. Microorganismos aplicados a 5 g por nido + 250 ml de residual líquido asperjado.
9. Microorganismos aplicados a 5 g por nido + 375 ml de residual líquido asperjado.
10. Micorrizas aplicadas a 5 g por nido.
11. Micorrizas aplicadas a 5 g por nido +250 ml de residual líquido asperjado.
12. Micorrizas aplicadas a 5 g por nido +375 ml de residual líquido asperjado.

Mediciones realizadas a la zanahoria (*Daucus carota L*):

- Diámetro de la raíz carnosa. Se utilizó un pie de rey.
- Longitud de la raíz carnosa. Se empleó una cinta métrica.
- Peso de la raíz carnosa. Se empleó una balanza analítica.

EXPERIMENTO II: EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL RESIDUAL DE BIOGÁS SEMISÓLIDO DEL GANADO PORCINO EN LOS CULTIVOS DE ZANAHORIA Y RÁBANO SEMBRADOS EN CANTEROS.

Se sembró un cantero de 25 m de largo por 1m de ancho de los cultivos asociados de zanahoria (*Daucus carota L*) variedad New Kuroda y el rábano (*Rhapanus sativus L*) variedad PS-9, con tres tratamientos, tres réplicas y un total de 9 parcelas.

Montaje del experimento:

- Sistema de riego Microjet.
- 92,3 % de poder germinativo de la semilla de rábano.
- Siembra directa a chorrillo para ambos cultivos (4 de febrero 2008) con raleo a los 10 días de la germinación.
- Aplicación del residual semisólido a los 20 días de germinada la semilla.
- Cosecha a los 28 días para el cultivo del rábano y a los 110 para la zanahoria en horas tempranas del día.

Los tratamientos fueron los siguientes:

1. Testigo.
2. Residual semisólido aplicado a una dosis de 3,3 L por parcela para un total de 9,9 L en todo el cantero.

3. Microorganismos eficientes aplicados a 5 g por nido. (En el cultivo del rábano no fue posible por disponibilidad del producto, la aplicación de ME)

Las mediciones realizadas al cultivo de la zanahoria fueron las siguientes:

- Diámetro de la raíz carnosa. Se utilizó un pie de rey.
- Longitud de la raíz carnosa. Se empleó una cinta métrica.
- Peso de la raíz carnosa. Se empleó balanza analítica.

Las mediciones realizadas al cultivo del rábano fueron:

- Diámetro de la raíz carnosa. Se utilizó un pie de rey.
- Peso de la raíz carnosa. Se empleó balanza analítica.

EXPERIMENTO III: EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL RESIDUAL DE BIOGÁS LÍQUIDO OBTENIDO DEL GANADO PORCINO EN EL CULTIVO DE LA ZANAHORIA SEMBRADO EN CANTEROS.

Se sembró un cantero de 25 m de largo por 1m de ancho con la zanahoria (*Daucus carota L*) variedad New Kuroda, con tres tratamientos, tres réplicas y un total de 9 parcelas.

Montaje del experimento:

- Sistema de riego Microjet.
- 92, 3 % de poder germinativo de la semilla de rábano.
- Siembra directa a chorrillo para ambos cultivos (4 de febrero 2008) con raleo a los 10 días de la germinación.
- Aplicación del residual líquido asperjado a los 20 días de germinada la semilla.
- Cosecha a los 28 días para el cultivo del rábano y a los 110 para la zanahoria en horas tempranas del día.

Se estudiaron los siguientes tratamientos:

1. Testigo.
2. Residual líquido asperjado aplicado a una dosis de 3,3 L por parcela, para un total de 9,9L en todo el cantero.
3. Micorrizas aplicadas a 5 g por nido.

Como biofertilizante se utilizó Hongos formadores de micorrizas, producto Ecomic género Glomus especie Glomus fasciculatum producido en el INCA.

DETERMINACIÓN DEL RESIDUAL A ASPERJAR

El tiempo que se demora asperjar una bolsa es de 20 s.

$20 \text{ s} \times 3325 \text{ ml} / 250 \text{ ml} = 266 \text{ s} / 60 = 4,4$ que serían 4 minutos con 4 segundos.

El tiempo de que demora asperjar 3 parcelas es de 13 minutos con 2 segundos.

Mediciones realizadas al cultivo de la zanahoria fueron las siguientes:

- Diámetro de la raíz carnosa. Se utilizó un pie de rey.
- Longitud de la raíz carnosa. Se empleó una cinta métrica.
- Peso de la raíz carnosa. Se empleó balanza analítica.

Para el análisis de los resultados de toda la investigación se utilizó Duncan (1955) para un 99%, con el programa estadístico Statgraphics versión 5.0.

EXPERIMENTO I: EVALUACIÓN DEL RESIDUAL DE BIOGÁS EN DIFERENTES ESTADOS, COMBINADO CON MICORRIZAS Y MICROORGANISMOS EFICIENTES; EN EL CULTIVO DE LA ZANAHORIA SEMBRADO EN BOLSAS.

La aplicación de residuales semisólidos ha sido poco estudiada y las referencias que permitan realizar una profunda discusión de los resultados son escasas.

En la Tabla 1 aparecen los valores de longitud y diámetro para el cultivo de la zanahoria sembrada en bolsas.

El tratamiento 3, fue de todos los estudiados el que mejor comportamiento presentó en los aspectos medidos, dígame: peso, longitud y diámetro, difiriendo significativamente de todos los demás. Para el parámetro longitud se observó también diferencias significativas en los tratamientos 2, 4, 5 y 12 los cuales presentaron los mejores valores. El residual semisólido aplicado en este tratamiento tiene características superiores a otros abonos debido a que no se pierden los nutrientes e incrementa la productividad en comparación con suelos no abonados según Carballo et al.,(2003); elementos estos que han sido definitivos para que se manifiesten de este modo los resultados aquí expuestos máxime aún cuando en las bolsas el contenido de materia orgánica está clasificado de bajo.

Tabla 1. Valores de longitud y diámetro de la raíz carnosa/tratamiento

Tratamientos	Peso(g)	Longitud(cm)	Diámetro(cm)
1	43,5 bc	11,78 de	2,51 bc
2	49,1 b	12,63 c	2,59 ab
3	59,3 a	14,82 a	2,79 a
4	19,6 ef	8,00 f	1,79 g
5	25,3 e	10,57e	1,93 fg
6	30,0 d	11,06 de	2,15 ef
7	32,4 cde	10,39 e	2,29 cde
8	35,7 cde	11,83 de	2,17 ef
9	36,2 cde	12,01 de	2,21 de
10	36,0 cde	11,91 de	2,2 de
11	40,0 bcd	11,27 de	2,45 bcd
12	40,0 bcd	13,05 b	2,24 de
CV	22,22%	15,90%	14,60%

En el Gráfico 1 aparece el peso de la zanahoria con aplicaciones de micorrizas y residual líquido asperjado, comparados con el testigo. Como se puede observar no existe diferencia significativa con dosis de 250 y 375 ml de residual, sin embargo, la presencia de micorrizas en el cultivo si muestra un marcado efecto en el peso de los frutos, independientemente del residual si las comparamos con el testigo.

Muchos autores, han estudiado el efecto de las micorrizas en diferentes cultivos, Álvarez, (2005); Liriano, (2005), los resultados de estas investigaciones en ocasiones han demostrado el efecto loable de este biofertilizante y en otros casos no se ha observado respuesta de su aplicación debido al enmascaramiento que se produce con elevadas dosis de Materia orgánica. Sin embargo Rodríguez, Yakelin et al. (2002), señalaron que se producen, con la aplicación de micorrizas, alteraciones fisiológicas y bioquímicas como incrementos en la tasa fotosintética y en los rendimientos de los cultivos pudiendo ser estos elementos los que justifiquen los resultados aquí expuestos. A propósito Rivera et al., (2003), planteó que la alta disponibilidad de nutrientes inhibe la micorrización, pero como en este experimento el

contenido de nutrientes es bajo se observa el efecto positivo de la aplicación de micorrizas coincidiendo con lo planteado por los autores.

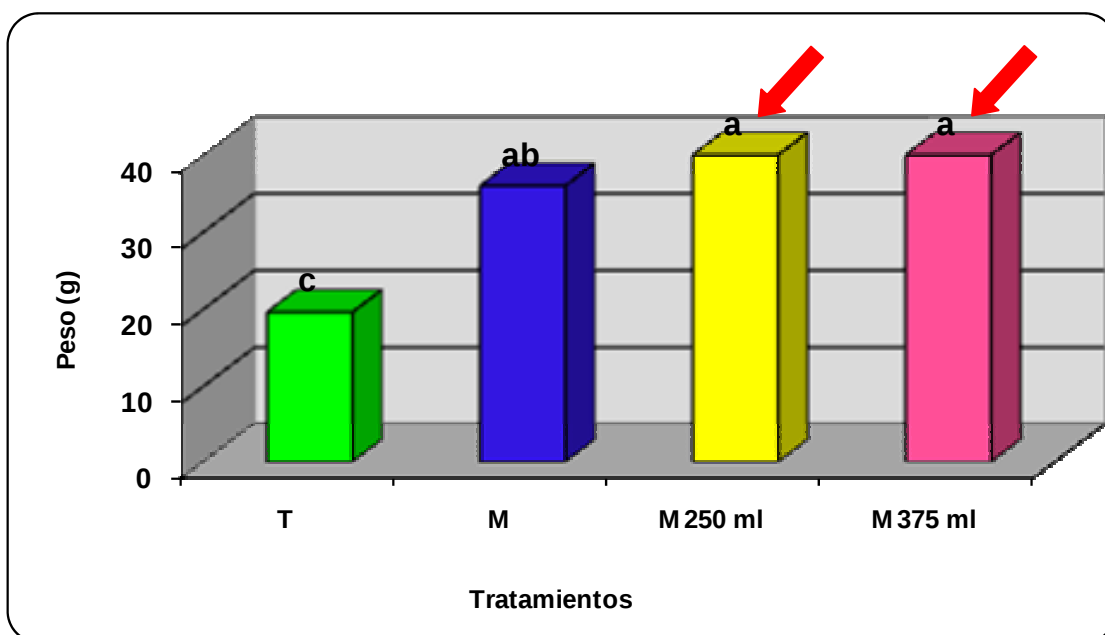


Gráfico 1. Peso de la zanahoria con aplicaciones de micorrizas y diferentes dosis residual líquido asperjado.

En el Gráfico 2 se muestran los pesos de la zanahoria según diferentes dosis de residual asperjado. Cuando el residual es aplicado solamente sí se observan diferencias significativas entre los tres tratamientos, sobresaliendo el tratamiento con aplicaciones de 375 ml de residual asperjado como el mejor y el testigo el de peores resultados. Las propias características de los efluentes líquidos los convierten en productos eficientes para mejorar la fertilidad de los suelos y la calidad de los cultivos, por eso se coincide con (González et al., 2002) cuando plantea que el residual líquido aumenta la productividad en comparación con suelos no abonados.

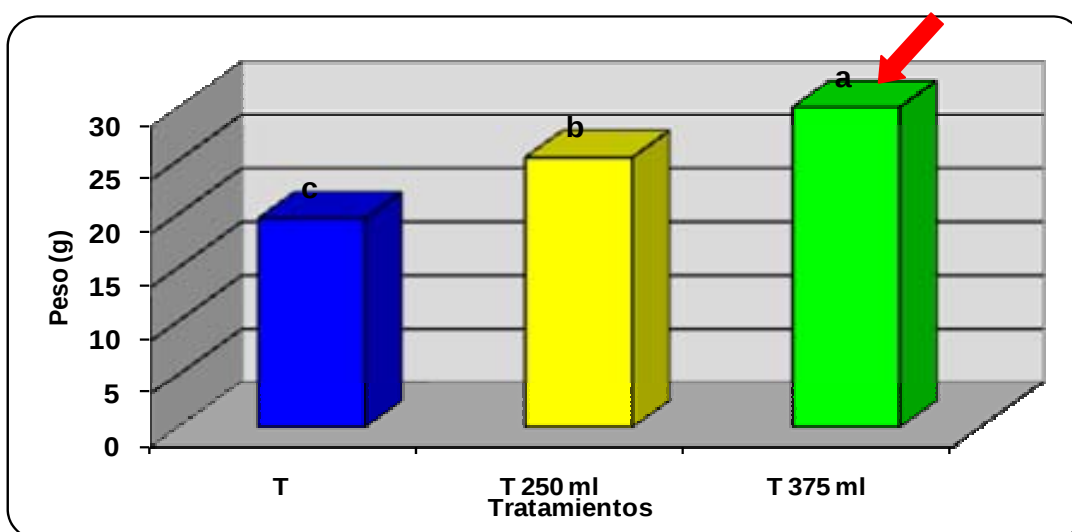


Gráfico 2. Peso de la zanahoria con diferentes dosis residual líquido asperjado.

En el Gráfico 3 se muestra el efecto de los microorganismos eficientes combinados con residual líquido asperjado a diferentes dosis y se puede apreciar un resultado similar a lo ocurrido con las micorrizas, el efecto del residual se muestra indiferente al cultivo cuando se combina con microorganismos eficientes, aunque al compararlos con el testigo si hay diferencia significativa. De modo general estos compuestos orgánicos según, Copo (2004) pueden armonizar la micro y macro flora del suelo mejorando su equilibrio natural, promoviendo la descomposición de materia orgánica y aumentando el contenido de humus efecto este que pudo haber ocurrido en el experimento y que ahora se traduce en los resultados observados.

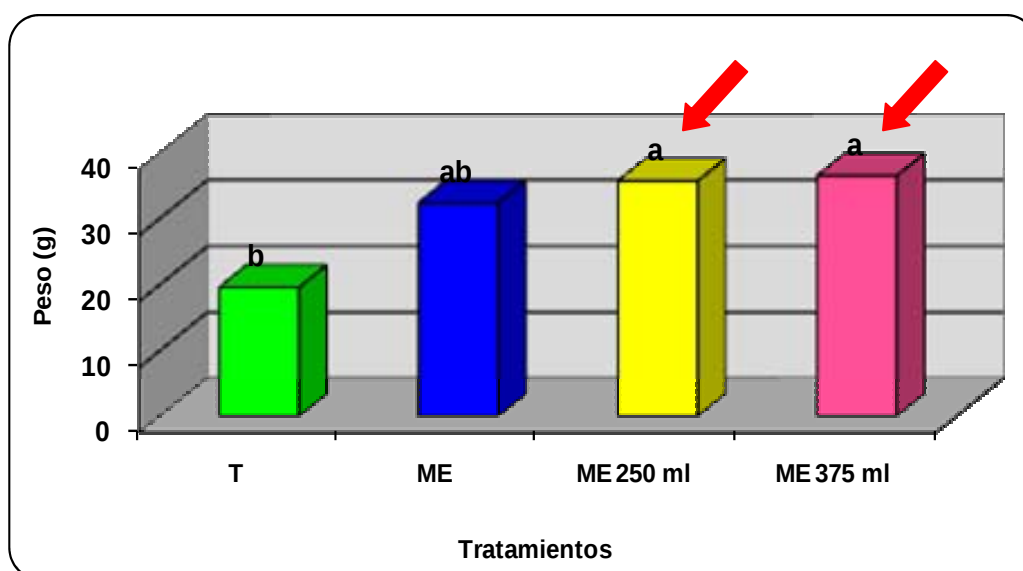


Gráfico 3. Peso de la zanahoria con aplicaciones de microorganismos eficientes y diferentes dosis de residual líquido.

En el Gráfico 4 se expresan los valores promedios del peso de los frutos con diferentes dosis de residual semisólido, se observa que los mejores resultados los presenta la dosis más alta de residual semisólido mostrando diferencia significativa con el resto de las dosis, sin embargo cuando se aplican 250 y 375 ml los resultados no parecen diferir mucho y sí entre todos ellos y el testigo.

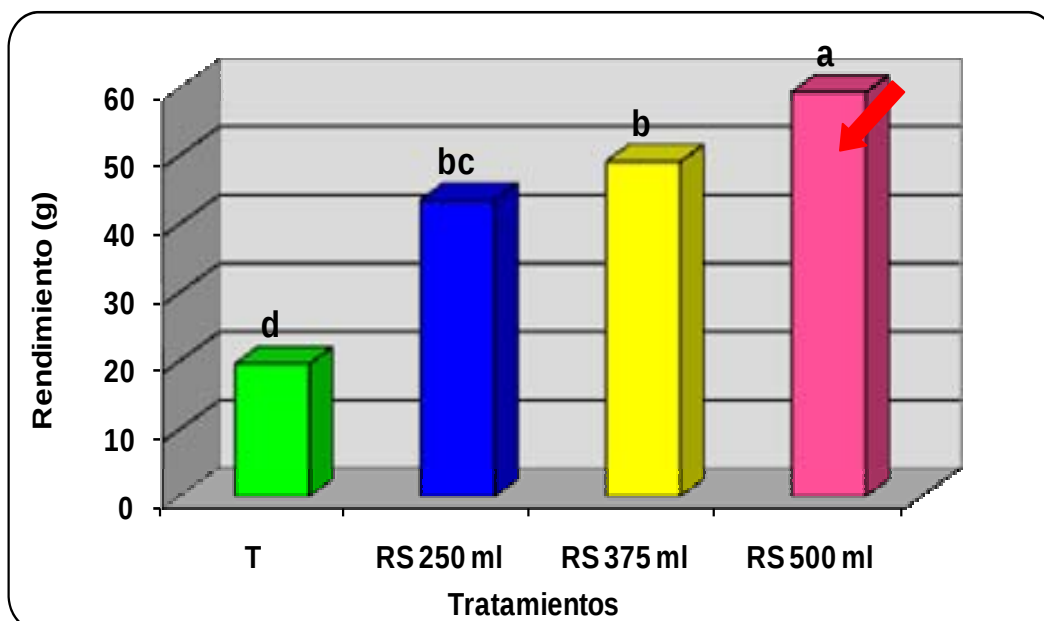


Gráfico 4. Peso de la zanahoria con aplicaciones de residual semisólido en diferentes dosis.

En el Gráfico 5 se observa el peso de los frutos con aplicaciones de residual semisólido, líquido, micorrizas y microorganismos eficientes. Se observa que los mejores resultados los presenta el residual semisólido aplicado a 500 ml por bolsa, no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos micorrizas y microorganismos eficientes.

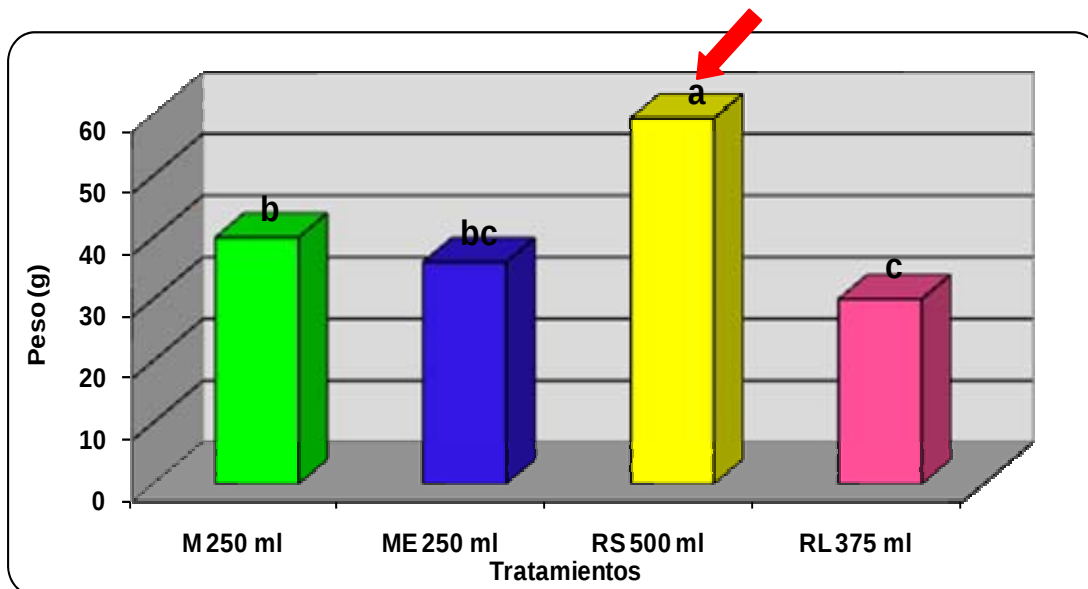


Gráfico 5. Peso de la zanahoria con aplicaciones de micorrizas, microorganismos eficientes, residual semisólido y residual líquido.

Los resultados obtenidos en el Experimento 1 muestran un resultado muy favorable del residual de biogás semisólido del ganado porcino, con un comportamiento que rebasa los límites de los tratamientos: testigo, microorganismos eficientes, aplicaciones de residual líquido asperjado y micorrizas en cada uno de los indicadores evaluados dígame peso, longitud y diámetro. Se muestra el residual semisólido con mejores beneficios para la planta en cuanto a productividad, aspecto que difiere de lo planteado por Moncayo (2007), donde al estudiar la composición de residuales en diferentes estados: sólido, semisólido y líquido observó que los mejores parámetros de calidad se correspondían con el líquido y por ende debían obtenerse los mejores resultados con la aplicación en este estado.

EXPERIMENTO II: EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL RESIDUAL DE BIOGÁS SEMISÓLIDO DEL GANADO PORCINO EN LOS CULTIVOS DE ZANAHORIA Y RÁBANO SEMBRADOS EN CANTEROS.

El tratamiento 2, (tabla 2) residual semisólido con una dosis de 250 ml en canteros, fue de todos los estudiados el que mejor comportamiento presentó en los aspectos medidos, dígame: peso, longitud y diámetro, difiriendo significativamente de todos los demás. Los resultados de este estudio se corresponden con la aseveración realizada por Liriano (2005) en estudios sobre aplicación de biofertilizantes en agricultura urbana cuando planteó que los residuos orgánicos influyen en las propiedades de los suelos, son responsables de la actividad de sus agregados y provee a los microorganismos de constituyentes energéticos y somáticos indispensables para el mantenimiento de la micro y meso vida del suelo, aspecto este que se traduce en una elevación de los rendimientos de los cultivos en canteros.

Lo mismo ocurre para el cultivo del rábano (tabla 3), en ambos cultivos el comportamiento de los parámetros medidos fue similar, siendo el tratamiento 2 el que presentó los mejores resultados y difiriendo significativamente del testigo.

Tabla 2. Análisis de los parámetros evaluados en el experimento II en zanahoria.

Parámetros evaluados	Análisis estadístico	Testigo	Residual	Microorganismos
Peso(Kg)	CV 17,59%	0,1538 c	0,2814 a	0,1958 b
Longitud(cm)	CV 14,28%	14,7667 c	21,5333 a	17,5467 b
Diámetro(cm)	CV 10,42%	4,1967 c	5,6333 a	4,7433 b

Tabla 3. Análisis de los parámetros evaluados en el Experimento II en rábano.

Parámetros evaluados	Análisis estadístico	Testigo	Residual
Peso(Kg)	CV 28,55%	0,0222 b	0,0433 a
Diámetro(cm)	CV 14,26%	5,7376 b	6,5637 a

En los gráficos 6 y 7, que aparecen a continuación, se muestran los rendimientos de la zanahoria y el rábano en canteros, con aplicaciones de residual, microorganismos eficientes y testigo. Se observa que el mejor resultado se corresponde con la aplicación de 250 ml de residual semisólido asperjado. Este parámetro evaluado difiere significativamente del resto. Coincidiendo con Caballero et al., (2000), quién al estudiar el efecto de los residuales orgánicos en la explotación de huertos intensivos y relacionarlos con los rendimientos de seis hortalizas observó que se produce un incremento en los mismos por unidad de área.

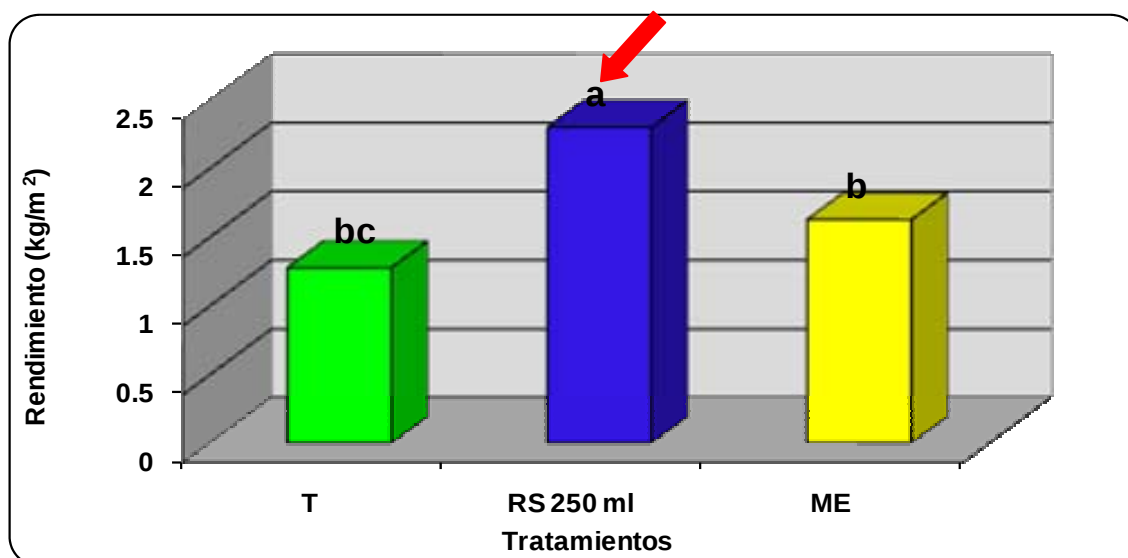


Gráfico 6. Rendimiento de la zanahoria de los tratamientos Testigos, Residual y Microorganismo eficiente sembrada en canteros.

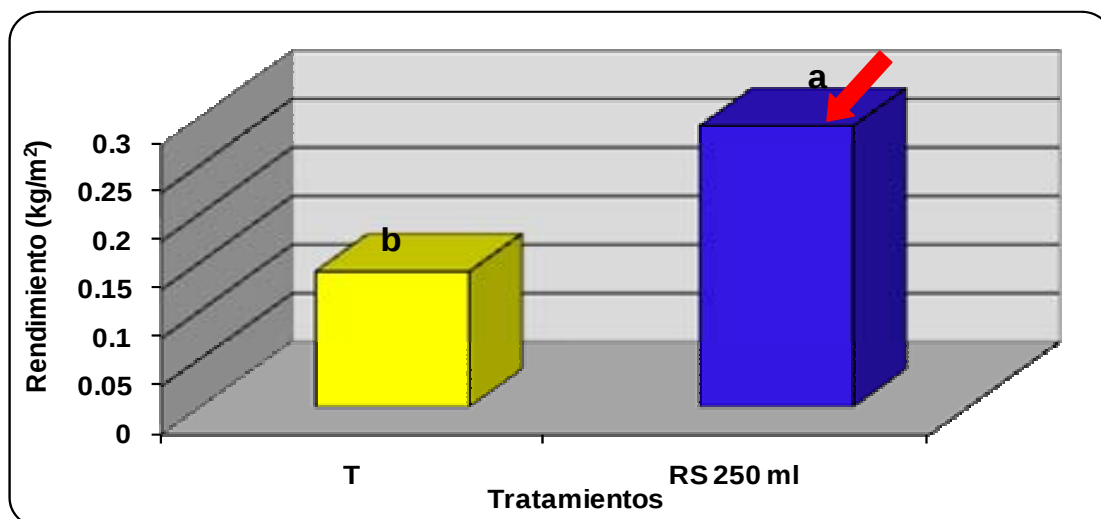


Gráfico 7. Rendimiento del rábano de los tratamientos Testigos y Residual.

Los valores obtenidos en el Experimento 2 muestran un resultado muy favorable del residual de biogás semisólido de ganado porcino, tanto en el cultivo de la zanahoria como en el rábano, estos están influenciados por el alto contenido de materia orgánica presente en los canteros. La presencia de materia orgánica favoreció la acción del residual de biogás, coincidiendo con Álvarez (2005) quién en las conclusiones de sus estudios planteó que el incremento de la fertilidad del sustrato eleva los rendimientos de los cultivos con beneficios económicos.

EXPERIMENTO III: EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL RESIDUAL DE BIOGÁS LÍQUIDO OBTENIDO DEL GANADO PORCINO EN EL CULTIVO DE LA ZANAHORIA SEMBRADO EN CANTEROS.

Tanto para el rendimiento (gráfico 8) como para el peso, diámetro y largo de la raíz (tabla 4) el tratamiento que mejores resultados mostró fue el residual líquido en dosis de 250 ml/plantas difiriendo significativamente con el resto de los tratamientos.

Liriano (2005), obtuvo en sus investigaciones valores de longitud en el cultivo de la zanahoria, similares a los encontrados en este experimento con la aplicación de micorrizas; 17,9 y 17,8 cm, sin embargo la aplicación de residual líquido en los canteros elevó el tamaño del fruto a más de 20 cm, valor este por encima de los obtenido por este y otros autores.

Tabla 4. Análisis de los parámetros evaluados en el Experimento III en zanahoria.

Parámetros evaluados	Análisis estadístico	Testigo	Residual	Micorrizas
Peso(Kg)	CV 16,04%	0,1535 c	0,2647 a	0,2074 b
Longitud(cm)	CV 14,06%	16,4933 b	20,7633 a	17,08 b
Diámetro(cm)	CV 13,53%	4,7633 b	6,0833 a	5,07 b

Las medias del rendimiento en el gráfico # 8 oscilaron entre 2,3 y 3,9 kg para todos los tratamientos; el mejor valor se obtuvo con aplicaciones del residual líquido, resultados estos similares a los encontrados por Liriano (2005) en sus investigaciones quién confirma el efecto positivo de los biofertilizantes en el rendimiento y sus componentes en el cultivo de la zanahoria.

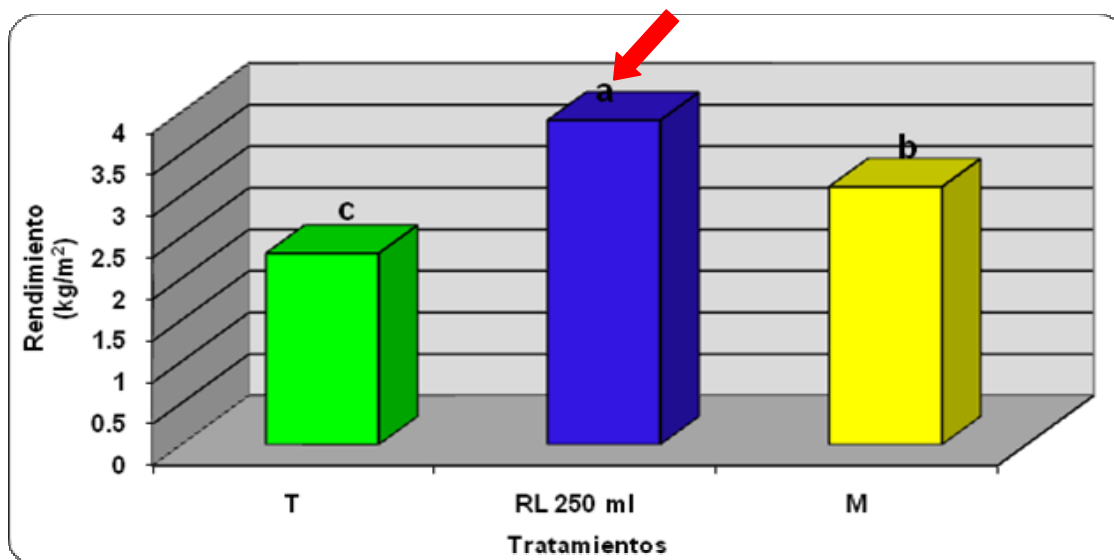


Gráfico 8. Rendimiento de la zanahoria en los tratamientos Testigos, Residual y Micorriza.

OTROS ANÁLISIS REALIZADOS

Se le realizó un análisis microscópico al residual de biogás, se utilizó como producto un cultivo mixto, analizándose los índices de conteo de mohos por el método de Howard y donde se obtuvieron los siguientes resultados.

% de campos positivos de hifas fúngicas *****

Se realizó la coloración por el método clásico de Gram, se observó:

- Bacilos esporulados Gram positivos esporas aovales, centrales, que tienden a deformar el bacilo
- Cocos Gram positivos.
- Esporos fúngicos.

Se puede determinar que se trata del género bacillus.

El PH del residual fue de 7,4% (se encuentra en el rango óptimo de 6,5 a 7,6)

Se realizó un análisis de suelo en la unidad de Servicios Científico-Técnicos del laboratorio Químico del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar Matanzas donde se reportaron los resultados analíticos por cada suelo analizado, a continuación aparecen los métodos analíticos empleados:

- P y K Asimilables, método de Oniani.

Relación Suelo Solución de 1:2.5.

Extractante: H₂SO₄ 0,1 N.

Tiempo de agitación de 3 minutos.

P-determinado por colorimetría empleando el Cl₂Sn como reductor.

K-determinado por fotometría de llama directamente del extracto.

- Ph en KCL:

Relación Suelo Solución de 1:2.5.

- Materia orgánica, Walkley Black.

Se empleó H_2SO_4 y Dicromato de Potasio como oxidantes.

El contenido de Carbono se determinó por colorimetría.

La materia Orgánica se calculó a partir del contenido de Carbono.

Tabla 5. Análisis de los parámetros para la determinación del contenido de materia orgánica.

# de M	P y K asimilable (mg/100)		Ph	MO
	P_2O_5	K_2O	(KCl)	%
1	5,44	4,74	5,9	2,86
clasificación	bajo	bajo	Ligeramente alcalino	bajo
2	78,51	18,5	7,39	3,5
clasificación	alto	medio	Medianamente alcalino	mediano
3	97,84	20,97	7,5	5,47
clasificación	alto	alto	Medianamente alcalino	alto

Bibliografía.

1. Álvarez, J. L. 2005. Comportamiento de la aplicación de productos biofertilizantes en el cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa*, L) en condiciones de organopónico. Tesis en opción al título de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez".67p.
2. Anon. 2006. Sector Agropecuario tiene Oportunidad Histórica. Centro Regional de Investigación Remehue. Informativo Electrónico INIA, Región de los Lagos, No. 3, julio. Chile.
3. Arango, J. M. 2007. Microbiología de la digestión anaerobia. Conferencia Especializada. Villa Clara. 50 p.
4. Arturo, J. 2002. Biodigestores: aportes a las condiciones ambientales y calidad de vida de la población campesina (Maestría en Trabajo Social, U.C.R.), para el Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD/FMAM. p 25 y 26.
5. Barreto, Sara.; Guevara, G. y Pedraza, R. 2002. "Estrategia para la recuperación de pequeñas plantas de biogás". Trabajo presentado en el XIV Forum Provincial de Ciencia y Técnica, Premio Destacado, Camaguey, Cuba. p 23-28.
6. Borroto, N. A. 1997. El Verdadero Costo de la Energía. Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos. Cuba. 10 p.
7. Caballero, R.; Gandarilla, J.; Pérez, Denia y. Rodríguez, Deisy. 2000. Efecto de los abonos orgánicos en la explotación de los abonos orgánicos en la explotación de huertos intensivos. Centro Agrícola. 27(4): 18-22, octubre-diciembre.
8. Campos, Avella. 1999. La Eficiencia Energética en la Gestión Empresarial. Pág. 80.
9. Carballo, J. C.; Álvarez, J.; Robledo, A., Aguilar, G., Daniela P., Ramírez J. Alfonso. 2003. Acercamiento a criterios arquitectónicos ambientales para comunidades aisladas en áreas naturales protegidas de Chiapas". P 2-4.
10. Centella, A. 2004. Suplemento especial de Universidad para Todos Hacia una conciencia energética. La Habana. p 3.
11. Comisión Nacional de Energía. 1992. Biomasa. Energía (2). La Habana, Cuba. 45 p. (Reseña).

12. Comisión Nacional de energía. 1993. Programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía. La Habana, Cuba. 45 p. (Reseña).
13. Cruz Rodríguez, F. 1991. Biogás de Cachaza. *Energía* (6). La Habana, Cuba. p 23-35. (Reseña).
14. Cruz, E.; Martínez, Victoria; Naranjo, R. y Sosa, R. 2004. Evaluación microbiológica del efluente anaerobio de un biodigestor de cúpula fija. Vol.: 11 No. 2, 1.p 15-14.
15. Cuba solar. El camino del Sol. [en línea] diciembre 2006. Disponible en <http://WWW.Granma.cubaweb.cu>. [Consulta noviembre, 13, 2007].
16. Curso: Producción de Biogás y electricidad Solar II". San Juan, Argentina. [en línea] febrero 2004. Disponible en: <http://groups.msn.com/Energías alternativas>. [Consulta noviembre, 4, 2007].
17. Domínguez, P. 2000. Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados. Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana, Cuba. P 18.
18. Enríquez, M.J. 1998. Turbinas Eólicas. *Energía y Tu* (4). p 18-20.
19. González P. J.; Vieto, E.; Ramírez, J. y Cruz Madelin. 2002. Influencia de la fertilización orgánica en la producción de forraje y semilla de *Canavalia ensiformis* (L) Dc. *Ecosistema ganadero* 1 (1): 33.
20. González, M. 2003. Demandas de información y comunicación para el Programa de Agricultura Urbana en el municipio Cienfuegos. Trabajo de Diploma. Universidad de Cienfuegos, 46 p.
21. Henson, M.; Christopher J. Rivard, P. and Smith, H. 2002. Quantitative Influences of Butyrate or Propionate on *Thermophilic* Production of Methane from Biomass. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 51, No. 2, p. 288-292.
22. Hernández, C. 2005. Segundo FORUM Nacional de Energía: Biogás. La Habana. 132 p.
23. Krebs, H.A. 1991. The impact of stable disinfetans and veterinary medicaments on the production of biogas in livestock husbandry. *Biogas Forum* 2. N-45: p17-22.
24. Lee R. Lynd, Paul J. Weimer, Willem H. van Zyl, and Isak S. Pretorius. 2002. Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, Vol. 66, No. 3, p. 506–577.

25. Liriano, R. 2005. Aplicación de biofertilizantes como alternativa nutricional, ambiental y económica en la agricultura urbana. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Agrícolas. Doctorado de cooperación en “Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible”. Universidad de Girona. España. 157 p.
26. López A, Pedro .1999. Taller sobre biodigestores. Costa Rica. Fondo para el Medio Ambiente Mundial. P 53.
27. Metcalf, R y Eddy, G.1996. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento; vertido y reutilización. Tercera edición. U.S.A. Mc Graw Hill. Tomo I. p 72.
28. MINAGRI. 2000. Manual Técnico de Organopónicos y Huertos Intensivos. INIFAT. Grupo Nacional de Agricultura Urbana. ACTAF. p 47 y 53.
29. MINAGRI. 2001. Grupo Nacional de Agricultura Urbana. Manual técnico de organopónicos y huertos intensivos. La Habana: Ed. AGRINFOR. Cuba.
30. MINAGRI. 2003. Grupo Nacional de Agricultura Urbana. Informe a la Asamblea Nacional del Poder Popular. La habana. Cuba.
31. Moncayo, G. 2007. El efluente líquido. [en línea] febrero 2007. Disponible en: www.agronomos.cl/collegioagronomo@adsl.tie.cl [Consulta octubre, 4, 2007].
32. Noyola, A. 1997. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Foro Internacional. Comparación de dos tecnologías en Aguas residuales domésticas para municipalidades. Universidad Nacional de Medellín, Colombia: 40 p.
33. Oliva, D. Velasco, L. Ventura, E. Ballinas, M. Salvador, D. y Gutiérrez. F. 2004. Estudios de eliminación de microorganismos patógenos de residuales porcinos en un biorreactor con tiempo de retención corto. Revista de Producción Porcina Vol: 11 No. 1. p 12-13.
34. Rivera, R. A.; Hernández, F.; Hernández, A.; Martín, R. y Fernández, Kallianne. 2003. El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, es una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: Caribe Rev. Ediciones INCA. La Habana. 166p.
35. Rodríguez, Yakelin.; Varano, Aida.; MENA, Ivonne.; Medina, Aracelis. y Fernández, F. 2002. Caracterización Bioquímica de la interacción del tomate variedad Amalia con seis especies de hongos micorrízicos arbusculares, XIII. Congreso Científico. Programa y Resúmenes. INCA. Habana, Cuba. p 62.

36. Theresa, E.; Kearney, M.; Larkin, J. and Levetit, P. N. 1994. Metabolic Activity of Pathogenic Bacteria during Semicontinuous Anaerobic Digestión. Applied and Environmental Microbiology, Vol. 60, No. 10. p 12.
37. Van Handel, A. C. and Lettinga, G. 1994. Anaerobic sewage treatment. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England. P 24.
38. Veenstra, S.; Alaerts, G. and Bilsma, M. 1998. Technology selection for pollution control. Agua y sostenibilidad. En: Memorias de la Conferencia Internacional Agua 98. CINARA-Universidad del Valle. Cali, Colombia Junio 1- 5. 10 p.
39. Vidal, A., José. 2005. Enciclopedia básica visual. Editorial: Oceano. Tomo VIII. Pág. 37-44.

Conclusiones.

La aplicación de los residuales se justifica porque aportan una elevada cantidad de compuestos orgánicos al suelo, que se traduce en una elevación de los rendimientos de los cultivos y constituyen una forma eficiente, ambiental y económica de aprovechar compuestos de desecho y reciclar los nutrientes en las fincas campesinas. Su aplicación en estado semisólido muestra una mayor eficiencia dada por la posibilidad de mostrar resultados alentadores independientemente del contenido de materia orgánica del suelo.

