

DEMOSTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y USO DE SUBPRODUCTOS DE UN BIODIGESTOR TIPO “COPROCTOR” COMO FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVA.

ROA, José David y UZCÁTEGUI, María José. Tutor: Lic. LIMONGI P. José J.
Unidad Educativa Teresa Titos. Mérida-Edo. Mérida. 2011.

RESUMEN

Esta investigación surge de la necesidad de buscar soluciones a la crisis energética que está viviendo el planeta actualmente. En tal sentido, se propone la implementación de tecnologías de producción energética ecológica de bajo costo. Este trabajo se centra en la construcción y experimentación de tres modelos funcionales a escala de biodigestores tipo “coproctor”. Se busca determinar si la variación del grado de concentración del material orgánico suministrado influye significativamente en el volumen de producción de los subproductos generados (Biogás y Biomasa).

Palabras Clave: Demostración, uso, subproducto, biodigestor, energía alternativa.

INTRODUCCIÓN

La sociedad actual, requiere de una gran cantidad de energía (de múltiples formas y fuentes) para el desarrollo de sus actividades cotidianas. Por lo que su uso se ha visto intensificado en los últimos tiempos, utilizando para ello la explotación exhaustiva de recursos naturales y fuentes de energía fósil que no son renovables y están en vías de agotarse, esto sin mencionar la contaminación que estas fuentes energéticas arrojan al medio ambiente.

Por esta razón muchos investigadores se han dado a la tarea de buscar nuevas tecnologías para evitar el deterioro del ambiente y la disminución del uso de estos recursos. En la actualidad una de estas opciones tecnológicas es la utilización de biodigestores, que mediante procesos biológicos, generan otras fuentes alternativas de energía que pudieran convertirse en recursos energéticos renovables.

Este trabajo de investigación se enfoca en el aprovechamiento de recursos orgánicos como fuente de producción de energías alternativas, centrándose en la demostración de la generación y uso de subproductos de un biodigestor tipo “coproctor” como fuente de energía alternativa.

En la primera parte del trabajo se analizan los problemas energéticos que presenta el

planeta hoy en día, y se propone la implementación de alternativas tecnológicas sustentables, específicamente el uso del biogás y de la biomasa, mediante la implementación de artefactos llamados biodigestores. Seguidamente, en el capítulo 2 se hace una revisión de todas las bases teóricas necesarias para la realización de esta investigación. En el capítulo 3 se abordan los aspectos metodológicos a utilizar para el desarrollo de la presente investigación, la cual es de tipo descriptiva experimental. En el capítulo 4 se explica la realización del experimento y los resultados obtenidos.

Finalmente, el capítulo 5 plantea las conclusiones las que, habiendo finalizado la investigación se obtuvieron. Además, se plantean una serie de recomendaciones que pudieran orientar futuras experiencias de este tipo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El hombre a través de su historia ha venido desarrollando ciertos métodos de generación de energía, ya que ésta se ha convertido en algo fundamental para el desarrollo de sus actividades. Sin embargo, este desarrollo tecnológico para la generación energética ha tenido un importante y negativo impacto en el ambiente. Por

su parte, este deterioro ha motivado a diversos investigadores a desarrollar nuevos métodos y tecnologías para la generación energética, que satisfagan las necesidades de la población sin que sean contaminantes para el ambiente.

A medida que transcurre el tiempo, las poblaciones consumen más y más energía; como consecuencia de esto hoy se consumen más recursos naturales que en el pasado y se reducen las fuentes de generación energética. Actualmente, la mayor fuente de energía utilizada por el hombre en todo el planeta es el petróleo, sin embargo, es un recurso en vías de agotarse y es altamente contaminante, razón por la cual muchos países a través de sus políticas de gobierno están incentivando e invirtiendo recursos en nuevas formas de producción energética renovable y de bajo impacto ambiental.

Una de estas alternativas, consiste en el uso de la biomasa como material para la generación de energía mediante la transformación de ésta en biogás, que puede emplearse como energía renovable, siempre y cuando sea utilizada racional y adecuadamente, y se "adapta a las exigencias ecológicas y económicas del futuro, es una tecnología de avanzada" (Sasse, 1984, pág. 6)

El biogás, que no es otra cosa que gas metano de origen biológico, es generado por un artefacto llamado biodigestor, el cual "es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante" (Sasse, 1984, pag.10). El uso del Biogás no es algo nuevo, pues ya durante los años de la segunda guerra mundial comenzó la difusión de los biodigestores a nivel rural, tanto en Europa como en China e India, países que se han transformado en líderes en esta tecnología.

No obstante, cabe preguntarse el porqué esta tecnología no es utilizada masivamente hoy en día. La difusión del uso de esta tecnología amigable con el medio ambiente se vio interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles después de la guerra y no fue

sino hasta la década de los setenta cuando se retoma con gran ímpetu la investigación de alternativas tecnológicas sustentables, interés reciente que se ha extendido por todo el mundo. En este sentido, encontramos que:

"Los mayores aprovechadores del biogás en el mundo son los chinos. En China hay cerca de 10 millones de instalaciones individuales de digestión anaeróbica (productoras de biogás) en otras palabras biodigestores, en las zonas rurales, que utilizan para producir energía. Con estas instalaciones unifamiliares en China cubren el 60% de sus reducidas necesidades energéticas (reducidas en comparación con nuestros modos de vida urbanos occidentales). El material para fermentar que utilizan son los excrementos del ganado y los de las propias personas de las viviendas."
Ignacio de Miguel (2008)

En Latinoamérica, el uso de los biodigestores comenzó a notarse a partir de la década de los setenta, cuando comienza la crisis energética a nivel mundial, razón por la que los países buscan nuevas formas de producción de energía. Países como Argentina y Brasil han realizado experiencias muy exitosas en este sentido.

Venezuela no ha escapado a iniciativas en este sentido, pues se han desarrollado algunos ejemplos de la tecnología de los biodigestores, aunque no con una gran difusión, en virtud de la gran producción de energía fósil producto de los grandes yacimientos petroleros existentes en el territorio nacional, lo que hace que el acceso a combustibles (como la gasolina, el kerosene o el gas butano) sean muy económicos y accesibles. Sin embargo, se pueden encontrar algunos ejemplos de la investigación y aplicación del uso de biodigestores en distintos puntos del Estado Mérida, como es el caso específico del biodigestor creado en el sector Santa Rosa por CIULAMIDE, o el modelo industrializable

propuesto en la Escuela de Diseño Industrial, ambos casos dentro de la Universidad de Los Andes.

El Estado Mérida posee numerosas zonas rurales, además de cochineras, vaqueras, caballerizas, (que producen mucho material orgánico, y no saben cómo darles un uso) muchas no cuentan con facilidades de acceso por vía terrestre, y donde el suministro energético de origen convencional no es posible, o al menos es bastante dificultoso, por lo que se ha pensado que el uso de biodigestores puede ser una alternativa que permita la generación de la energía necesaria, a fin de cubrir las necesidades energéticas básicas a partir del uso de los propios desechos orgánicos de la población y de los animales como combustible.

Objetivo general:

1. Demostrar que la producción y uso de subproductos resultantes de un biodigestor son factibles como fuentes alternativas de energía.

Objetivos específicos:

1. Conocer biodigestores ya existentes en el área, para establecer las semejanzas y ventajas de cada tipo de biodigestor.
2. Construir tres modelos a escala de biodigestores tipo "Coproctor" (modelo horizontal de flujo continuo).
3. Realizar experimentos variando la concentración de la materia orgánica.
4. Utilizar la biomasa resultante del experimento anterior como abono orgánico.

JUSTIFICACIÓN

La generación de energía para el desarrollo de las actividades humanas, con el mínimo impacto en términos ambientales, es hoy en día una prioridad mundial. Vemos así como distintos gobiernos han emprendido tareas para encontrar alternativas de generación energética, a los ya existentes dado que en su mayoría causan gran impacto ambiental, como

por ejemplo las plantas con materia fósil o de energía nuclear, las cuales causan un enorme daño a la capa de ozono y no son de fácil acceso para todas las comunidades, en especial para las zonas rurales.

En el estado Mérida existen muchas zonas rurales que no cuentan con suministro de energía eléctrica dada su ubicación y dificultad de acceso terrestre. Esta falta de suministro energético podría ser solventada mediante la implementación de biodigestores, sistemas de producción de energía renovable a través de la descomposición de desechos orgánicos. Esta sería una manera ambientalmente amigable y económica, que ayudaría a mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas rurales del Estado Mérida, e incluso del resto del país.

Este proyecto de investigación permitirá, más allá de probar experimentalmente la factibilidad constructivo-funcional del modelo de biodigestión abordado, ilustrar la posibilidad de emplear materiales considerados a menudo "desechos" como materia prima, con la intención de generar energías alternativas a los productos químicos y combustibles fósiles altamente contaminantes y dañinos para los seres vivos. Es una forma de mostrar que existen alternativas energéticas que pudieran ser fácilmente incorporadas en nuestras comunidades rurales y poder utilizar los desechos orgánicos producidos por éstas, para la generación tanto de subproductos que pueden ser utilizados (o incluso comercializados) y propiciar la generación del desarrollo sustentable de nuestro medio rural.

LIMITACIONES

Para el desarrollo de la presente investigación se pueden estimar algunas posibles limitaciones que, en principio, se intentarán resolver a los fines de afectar mínimamente el trabajo en cuestión. Entre estas limitaciones, podemos señalar:

- La dificultad de transporte para llegar a ciertos lugares, donde están instalados los

biodigestores, para su evaluación.

- Los recursos económicos necesarios para la realización de los experimentos ya que el costo de algunos materiales es elevado.
- La escasez de cochineras en la ciudad de Mérida, y lo distantes del casco urbano que dificulta el acceso al material orgánico para realizar los experimentos.
- Otros que no puedan ser previstos en las instancias iniciales del proyecto, y que, eventualmente puedan afectar el trabajo planificado (como las lluvias).

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Diseño de Componentes para la industrialización de biodigestores rurales: Coproctor. Octubre 2003. Autor: Lic. José J. Limongi P. El objetivo del proyecto fue el diseño de un modelo de biodigestor rural (de tipo horizontal y flujo continuo) que pudiera ser más eficiente, desde el punto de vista de instalación, funcionamiento y mantenimiento, que los existentes en el Estado Mérida.

Aplicación de biodigestores para la producción de gas metano como medio de saneamiento ecológico y combustible alternativo. Enero 2006. Los autores fueron: Gonzales Rondón Lavinia, Rondón Dugarte María Fernanda, Briceño Mendoza Jessica. El objetivo de la investigación fue estudiar la aplicación de biodigestores para la producción de gas metano como medio de saneamiento ecológico y combustible alternativo.

Con la realización del proceso de investigación se lograron determinar muchos aspectos de los cuales se concluyó lo siguiente: los biodigestores son modelos de tratamiento biológico (por procesos anaeróbicos), que requieren de una pequeña inversión inicial para su construcción, que es compensada por la existencia de una materia prima natural y económica (estiércol de ganado). También resulta ventajosa esta tecnología por los bajos costos de mantenimiento del reactor, aunado a la generación de subproductos que pueden ser de fácil empleo y comercialización.

Reseña Histórica

Se afirma que la primera instalación de biogás se construyó en 1859 en Bombay, India, para el tratamiento de excretas humanas, y el biogás que en ella se generó fue utilizado para el alumbrado. Por lo tanto, el origen y el uso del biogás datan desde los siglos XVII y XIX.

El biogás, que en la mayoría de su composición está conformado por gas metano, fue utilizado por los pueblos chinos y persas hace miles de años como generador de calor. Pero pasaron muchos años hasta que se dieran cuenta que el metano no solo se encontraba en el gas natural fósil, sino que se producía constantemente en algunos seres vivos, como personas y animales domésticos.

Es así como, en el año 1776 el científico italiano Volta descubrió que el principal compuesto del gas natural era metano. Sin embargo, no es sino 100 años después que se descubrió el origen microbiológico de la formación de metano cuando, en el año 1887, el científico Hoppe-Seyler pudo comprobar la formación de metano a partir de acetato. La misma observación hizo Omelianski en 1886 con guano de vacas. Posteriormente, en 1888 Gayon obtuvo gas al mezclar guano y agua, a una temperatura de 35°C. Y más tarde, en 1906, Soehngen descubrió la formación de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono, al tiempo que describió los primeros dos organismos que participaban en la formación de metano. Finalmente, hacia el año 1920 Imhoff puso en práctica el primer biodigestor en Alemania.

BASES TEÓRICAS

La energía es la fuerza vital de nuestra sociedad. De ella dependen la iluminación de interiores y exteriores, el calentamiento y refrigeración de nuestras casas, el transporte de personas y mercancías, la obtención de alimento y su preparación, el funcionamiento de las fábricas, etc.

“El término energía (Provine del griego ἐνέργεια/energeia, actividad, operación; ἐνέργος/energós=fuerza de acción o fuerza trabajando) tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner en movimiento. En física, «energía» se define como la capacidad para realizar un trabajo. En tecnología y economía, «energía» se refiere a un recurso natural (incluyendo a su tecnología asociada) para extraerla, transformarla, y luego darle un uso industrial o económico.” Autor Anónimo (2011).

Entonces, y en función de lo anterior, podemos decir que una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

De hecho, uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad lo establece el consumo de energía. El concepto de “crisis energética” aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Es así como, en un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas.

Por otra parte, el uso excesivo e indiscriminado de las energías convencionales en la actualidad (como el petróleo o la combustión de carbón, entre otras), acarrearán consigo problemas de agravamiento progresivo de la contaminación ambiental, así como el aumen-

to de los gases invernadero y la consecuente perforación de la capa de ozono, entre otros importantes desequilibrios ecológicos.

Para reducir estos efectos, se hace necesaria la implementación de otras alternativas energéticas, como lo es el biogás, el cual reúne una serie de características, como son:

“Es un gas que se encuentra en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, por la acción de bacterias metanogénicas y otros factores, en ausencia de oxígeno; en otras palabras en un ambiente anaeróbico. Es un gas un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación alrededor de 700 grados centígrados. La temperatura de la llama alcanza 850 grados centígrados. El biogás está compuesto por alrededor de 60% metano y 40% dióxido de carbono. El biogás contiene mínimas cantidades de otros gases, entre otros, 1% de ácido sulfhídrico.” Ludwing Sasse (1984)

Este gas se produce mediante un biodigestor, el cual es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante. Con respecto a los biodigestores se distinguen entre plantas Batch y plantas continuas.

Las plantas Batch son cargadas de una vez y vaciadas por completo después de un tiempo de retención fijado. Cualquier tipo de construcción y todos los materiales de fermentación son aptos para una planta Batch. Para un abastecimiento continuo de gas con plantas Batch, se requiere un gran depósito de gas o la utilización de varios biodigestores a la vez.

Los biodigestores continuos son cargados y descargados en forma periódica por lo general todos los días. Cualquier tipo de estructura es apropiado para una planta continua, pero el material de fermentación debe ser fluido y uniforme.

TIPOS DE REACTORES

Reactor tipo balón:

Está constituido por una bolsa de plástico o de caucho. El gas es almacenado en la parte superior de la bolsa de fermentación. La entrada y la salida están sujetas directamente a las paredes de la bolsa. La planta trabaja como una planta de cúpula fija cuando la cámara de gas está henchida. Por lo tanto, el balón no es inflado, solo es poco elástico.

A través de los movimientos de las paredes del balón, el cieno de fermentación es agitado levemente. Esto favorece el proceso de fermentación. También favorece a un material de lenta descomposición. El material del balón debe ser resistente a los rayos ultravioleta.

Ventajas:

Bajo costo, fácil transporte, construcción plana (importante para regiones con alto nivel freático), altas temperaturas en el digestor, fácil limpieza, descarga y mantenimiento.

Desventajas:

Corta vida útil (cerca de 5 años), sensible a daños, no se crean fuentes de trabajo en el lugar. Este tipo de reactor es recomendada para lugares donde no haya peligro que se dañe la bolsa y que presente temperaturas elevadas.

Reactor de Cúpula Fija:

La planta de cúpula fija se compone de un digestor cerrado con cámara de gas inmóvil y fija. El gas es almacenado en la parte superior del digestor. Durante la producción de gas el cieno de fermentación es desplazado hacia el tanque de compensación. La presión del gas aumenta según la cantidad de gas almacenado. Si se encuentra poco gas en el depósito, la presión del gas también es baja.

Si se requiere una presión constante como por ejemplo para motores, es necesario un regulador de presión o un dispositivo de gas flotante. Para motores se necesita mucho gas, lo que implica grandes depósitos de gas,

entonces, la presión de gas sube en exceso si no se tiene un depósito de gas flotante.

Ventajas:

Bajo costo de construcción, no tiene partes móviles, ni partes metálicas que se puedan oxidar y por lo tanto tiene una larga vida útil (20 años o más), su construcción es subterránea por eso está protegido contra bajas temperaturas durante el invierno, ayuda a ahorrar espacio y crea fuentes de trabajo en el lugar.

Desventajas:

Muchas veces las plantas no están bien selladas, se producen grietas por fuertes oscilaciones y en muchos casos presión de gas muy alta. No tiene rebase automático, por lo tanto su manejo es complicado y presenta bajas temperaturas de fermentación en el digestor.

Reactor de Campana Flotante:

La planta con campana flotante se compone de un digestor y un depósito de gas móvil. Éste flota ya sea directamente en el cieno de fermentación o en un anillo de agua propio.

El gas se acumula en la campana haciéndola subir. Cuando se extrae el gas la campana vuelve a bajar. Un bastidor de guía evita que la campana se ladee.

Ventajas:

Fácil y razonable presión de gas constante, el gas almacenado es directamente visible, genera pocos errores posibles en la construcción.

Desventajas:

Alto costo de construcción de la campana, muchas piezas metálicas que se corroen con facilidad, un tiempo de vida corto (hasta 15 años; en costas tropicales unos 5 años de vida para la campana), costos de mantenimiento periódicos causados por trabajos de pintura.

Aun con estas desventajas siempre es recomendable este modelo. La campana flotante de fibra de vidrio o polietileno compacto, ha dado un buen resultado. Los costos de

construcción son, sin embargo, más altos al usar acero.

Reactor tipo “Coproctor”:

“Coproctor” es un modelo experimental de biodigestión, de tipo horizontal y flujo continuo, es una propuesta de adaptación tecnológica realizada a partir de componentes existentes en el mercado (perfiles y uniones de PVC).

Ventajas:

Es un modelo de fácil construcción y, a diferencia de los otros tipos de biodigestores, éste se puede transportar de forma sencilla.

Desventajas:

Tiene menor capacidad que los otros tipos de biodigestores.

Definición de términos básicos:

Ambiente anaeróbico

Es un ambiente en ausencia de oxígeno.

Biogás: es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico).

Biomasa: es el material orgánico resultante del proceso de biodigestión.

Bacterias metanogénicas: son un grupo especializado de bacterias anaerobias obligadas, que descompone la materia orgánica y forma metano.

Cámara de carga: es la cámara por donde se introduce el material orgánico al biodigestor.

Cámara de descarga: es la cámara por donde se extrae la biomasa del biodigestor.

Nivel freático: es (en un acuífero libre) el lugar en el que se encuentra el agua subterránea.

HIPÓTESIS

La variación de porcentajes de concentración del material orgánico no influye significativamente en el volumen de producción de los subproductos generados (Biogás y Biomasa).

SISTEMA DE VARIABLES

Variables dependientes:

- Porcentaje de concentración de la materia orgánica (estiércol de porcino) que se utilizará para cargar los biodigestores.
- La concentración de la biomasa resultante del proceso de biodigestión que se utilizará como abono en las plantas.

Variables independientes:

- El tiempo de duración del experimento.
- El incremento de temperatura producida por la reacción metanogénica.

Variables intervinientes:

- La temperatura ambiental
- La calidad del material (estiércol de porcino) empleado para la realización del experimento.

MARCO METODOLÓGICO

Nivel de la investigación:

La presente investigación se puede clasificar como de tipo descriptiva, ya que en este trabajo se caracteriza el proceso de biodigestión, describiendo las propiedades del reactor así como las condiciones necesarias para que el proceso de biodigestión ocurra efectiva y óptimamente.

Los resultados de este trabajo descriptivo se evidenciarán gracias a los subproductos resultantes del proceso anaerobio que ocurre dentro del reactor. Se tiene entonces que, se determinará la presencia de biogás por su expulsión fuera del reactor, gracias a las válvulas que poseen los biodigestores. Otro factor que afirmará la producción de biogás es el aumento

del nivel del material orgánico en las cámaras de carga y descarga, respectivamente.

Por su parte, se apreciará la producción de biomasa gracias al cambio de color y olor del material orgánico obtenido en la cámara de descarga, una vez que el material ha sido procesado dentro del biodigestor. Otro factor que indica que el proceso está ocurriendo es el aumento de temperatura de los reactores.

Diseño de la investigación:

Este proyecto es de tipo experimental, ya que se basa en la construcción de tres modelos a escala de biodigestores tipo "coproctor" para demostrar que la variación de la concentración del material orgánico utilizado en los mismos no representa una gran diferencia en la producción de subproductos (Biogás y Biomasa).

Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Por ser un trabajo de tipo descriptivo experimental, el método utilizado fue la observación directa y comparación de las calidades del material resultante del proceso de biodigestión en los tres reactores empleados.

Construcción de los modelos experimentales:

Para lograr esto, el primer paso fue la construcción de tres modelos a escala del reactor tipo "coproctor", a partir de la obtención de los siguientes componentes:

- 1 tubo de PVC de 6' de 3 metros de largo.
- 1 tubo de PVC de 2' de 3 metros de largo.
- 6 reducciones de PVC de 6' a 4'
- 6 reducciones de PVC de 4' a 2'
- 6 codos de PVC de 2'
- 6 recipientes plásticos de 5 litros.
- 3 válvulas de aire para neumáticos.
- ½ galón de pegamento para PVC.
- 1 tubo de silicón para filtraciones.

El proceso de construcción se inició cor-

tando el tubo de PVC de 6' en tres segmentos iguales de 50cm c/u, los extremos de estos se dilataron calentándolos (mediante el empleo de una hornilla de cocina doméstica) a los fines de poder insertar las reducciones de 6' a 4'. Seguidamente se cortó el tubo de PVC de 2' en seis segmentos, tres de 25cm y tres de 15cm de largo; a estos se le adosaron los codos y las reducciones correspondientes.

El paso siguiente, fue la incorporación de estas estructuras a los tubos de seis pulgadas antes mencionados, empleando, en todos estos casos, el pegamento para PVC y resellando las uniones con silicón para filtraciones. Una vez hecho esto, se procedió a comprobar la hermeticidad de los reactores ya construidos, sumergiéndolos en una bañera llena de agua (manteniendo sellados los dos extremos del reactor); de esta prueba se determinó que solo un tanque era efectivamente hermético por lo cual se procedió a eliminar las fugas detectadas en los otros dos.

El paso siguiente, fue la implementación de las válvulas de aire en el cuerpo de los reactores, para ello se perforaron empleando un taladro con la mecha correspondiente al tamaño de las válvulas y resellando con silicón para filtraciones.

Finalmente, se procedió a cortar el fondo de los recipientes plásticos de 5 litros para emplearlos como cámaras de carga y descarga en las terminaciones de los reactores, dilatando los extremos de los tubos de PVC de 2' y uniendo con silicón ambos elementos.

Para determinar la capacidad de los reactores se procedió a efectuar el cálculo matemático de determinación del volumen de un cilindro según la siguiente fórmula:

$$V = \pi.r^2.h$$

Encontrándose que el volumen resultante equivalía a 12 litros.

Técnicas de procesamiento y análisis de datos:

Teniendo los modelos construidos se procedió a instalarlos en el lugar de experi-

mentación: caballeriza “San Rafael” ubicada en la Pedregosa media, en la ciudad de Mérida. En el lugar dispuesto, se colocaron los biodigestores uno al lado del otro, garantizando su estabilidad mediante la colocación de bloques de construcción como “cuñas” que evitaran su movimiento.

Seguidamente, se procedió a buscar los desechos orgánicos de porcinos en la cochinería “El Moqueo”, ubicada en el sector Pozo Hondo de la ciudad de Ejido. En este primer viaje se recolectaron diez galones de material.

Este material se diluyó en las siguientes proporciones:

- Reactor 1: 12 litros al 75% de concentración (8 litros de material en 4 litros de agua)
- Reactor 2: 12 litros al 50% de concentración (6 litros de material en 6 litros de agua)
- Reactor 3: 12 litros al 25% de concentración (4 litros de material en 8 litros de agua).
-

Al cabo de una semana, se procedió a verificar que el proceso de biodigestión se había efectivamente iniciado. Se dejó este lapso de tiempo sin cargarlo diariamente con la intención de permitir la estabilización del proceso. Una vez más se procedió a renovar la carga en las proporciones anteriormente indicadas y se verificó la producción de biogás activando las válvulas de aire de los reactores. Además se verificó el cambio de coloración de material desplazado hacia la cámara de descarga. Este procedimiento se repitió en la semana siguiente.

Se hizo un registro fotográfico para evidenciar los cambios ocurridos por el proceso de biodigestión; además se verificó la producción de biogás y las características físicas del material resultante (color, olor y textura). Las técnicas lógicas aplicadas para el análisis de

los resultados de esta investigación, son de tipo analítico-deductiva, ya que este proceso biológico, que ocurre a nivel microscópico y en un ambiente totalmente cerrado y oscuro, se puede evidenciar gracias a una serie de factores resultantes que sí pueden ser observados y analizados .

Análisis de los resultados:

Una vez concluido el lapso de experimentación, de tres semanas de duración, se lograron obtener algunos resultados de tipo preliminar, los cuales serán presentados a continuación:

- Se fabricaron 3 modelos funcionales a escala del biodigestor tipo “Coproctor” que sirvieron como base para la experimentación.
- El reactor que trabajó con la concentración de 25% evidenció una mayor producción de biogás.
- El reactor que trabajó con la concentración de 25% presentó el mayor cambio en la coloración, textura y olor del material resultante. No presentó burbujas.
- El reactor que trabajó con la concentración de 75% casi no evidenció producción de biogás.
- El material obtenido en el reactor que trabajó con la concentración de 75%, no presentó grandes cambios en cuanto a coloración, textura y olor con respecto al material de la cámara de carga.
- El material resultante del reactor de 75% presentó burbujas en gran cantidad.

Con los datos obtenidos se puede realizar el siguiente análisis, de tipo preliminar, de los resultados:

- Experimentalmente se pudo demostrar que los biodigestores son medios factibles de producción de energía alternativa, tal como se indicaba en la bibliografía consultada.

- Independientemente de la concentración del material orgánico con el que se cargaron los reactores, se evidenció que el proceso de biodigestión ocurre.
- La variación en la concentración del material orgánico, tiene una incidencia inversamente proporcional a la velocidad de la reacción; es decir, a mayor concentración menor procesamiento en el mismo tiempo.
- La variación en la concentración del material orgánico, tiene una incidencia inversamente proporcional al grado de transformación del material resultante, es decir, a mayor concentración menor nivel de cambios en cuanto a color, olor y textura del material.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la inquietud de los autores del presente estudio, respecto al uso de energías alternativas para la satisfacción de las necesidades de la sociedad y, al mismo tiempo, amigables con el medio ambiente, se propuso el desarrollo de un trabajo de investigación cuyo objetivo terminal es demostrar que la producción y uso de subproductos resultantes de un biodigestor, son alternativas factibles como fuentes de energía.

Para ello se partió de la hipótesis, de que la variación de porcentajes de concentración del material orgánico, no influye significativamente en el volumen de producción de los subproductos generados (Biogás y Biomasa).

Los resultados presentados en el capítulo anterior nos permiten concluir, al relacionarlos con los dos puntos anteriores, lo siguiente:

- La tecnología de los biodigestores es sencilla, aplicable y relativamente económica, porque su funcionamiento está basado en procesos de degradación orgánica, que sólo requieren de una materia prima de fácil acceso (materia orgánica de origen animal).
- El biodigestor tipo "coproctor", por estar fabricado a partir de la adaptación de compo-

- nentes existentes en el mercado (tubos y conexiones de PVC) y mediante sencillos procesos de unión, es una alternativa más eficiente, en términos de construcción, que los modelos tradicionales (elaborados con bloques, concreto, cabillas entre otros).
- Aun cuando los resultados obtenidos pueden ser considerados como preliminares, y parecieran apuntar hacia la no comprobación de la hipótesis, se pudo observar que la concentración de la materia sí incide, de manera inversa, en la velocidad de la reacción y en el grado de transformación del material orgánico.
- La evidencia de que el proceso ocurre en el interior de los reactores se aprecia en aspectos como: el cambio de color, textura, y disminución de olor del material procesado, así como por la generación de gas, evidenciada en la expulsión a través de las válvulas, y en algún caso en la materia resultante.
- Hay ciertos factores que influyen de manera negativamente notable en el desarrollo del experimento y que, inicialmente, no fueron contemplados (algunos por desconocimiento); entre ellos podemos mencionar: las bajas temperaturas que se presentaron en la ciudad de Mérida durante el periodo de experimentación, o el hecho de que en la cochinería se le administra a los animales un producto inhibidor de gas metano.
- El corto tiempo de la experimentación no permitió realizar la comprobación de la efectividad de la biomasa obtenida en los reactores como material de abono orgánico.

Finalmente, se pueden sugerir ciertas recomendaciones para que futuras experiencias en este campo, puedan tener unas mejores condiciones de aplicabilidad con respecto a las presentadas en esta investigación. El primer aspecto que se debería tomar en cuenta respecto a la construcción de los reactores: es

que se debe prestar mayor atención a la comprobación de la hermeticidad de los reactores, a los fines de evitar microfugas que pueden alterar el desarrollo del experimento. También es importante prever un periodo de puesta en marcha previo a la realización de este tipo de experimentos. Otro punto a considerar se refiere al tiempo de experimentación necesario para que este proceso biológico se establezca y pueda ser medido con mayor precisión; se sugiere planificar lapsos de al menos 8 semanas. Es importante realizar una inspección y control regularmente, pues esto contribuye a evitar o resolver en corto tiempo, cualquier dificultad que afecte el proceso de biodigestión. Finalmente se recomienda realizar este tipo de experiencias en comunidades rurales con la finalidad de dar a conocer esta sencilla tecnología y ponerla al alcance de todos.

Tafí Viejo, T (2008): "*Producción de energía social y ambientalmente apropiados*". <http://www.pro-eco.org.ar/archivos/Proyecto%20biodigestor.pdf> (visitada el 23/10/2010).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gonzales L, Rondón M y Briceño J (2006): **Aplicación de biodigestores para la producción de gas metano como medio de saneamiento ecológico y combustible alternativo**. Mérida, Venezuela.

Limongi J (2003): **Diseño de Componentes para la industrialización de biodigestores rurales: Coproctor**. Mérida, Venezuela.

Martí J (2008): **Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares**. Bolivia. GTZ PROAGRO.

Sasse L (1984): **Planta de Biogás, Bosquejo y Detalles de Plantas Sencillas**. Alemania: Friedr.

Otras fuentes

De Miguel, I (2008): *Biogás, múltiples orígenes y múltiples usos*. <http://www.biocarburante.com/biogas-multiples-origenes-y-multilpes-usos/> (visitada el 24/10/2010).

Energía (2011): En Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Recuperado el: 23, noviembre, 2010, tomado de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa>.

ANEXOS

Imagen 1: Corte de las secciones del reactor o biodigestor.

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 2: Unión de los reductores de PVC

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 3: Ensamblado de los biodigestores

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 4: Dilatación de los extremos

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 5: Biodigestores ensamblados

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 6: Colocación de las válvulas

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 7: Instalación de los reactores en la caballeriza

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 8: Preparación de la mezcla.

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 9: Preparación de la mezcla.

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 10: Biomasa resultante.

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 11: mezcla del material utilizado depositado en la cámara de carga del Reactor 25% excremento 75% agua. Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 12: mezcla del material utilizado depositado en la cámara de carga del Reactor 50% excremento 50% agua.

Fuente: Uzcátegui, M y Roa, J (2011)



Imagen 13: mezcla del material utilizado depositado en la cámara de carga del Reactor 75% excremento 25% agua.

Fuente: Uzcategui, M y Roa, J (2011)



Imagen 14: Biomasa resultante. Reactor 25% excremento 75% agua.

Fuente: Elaboración propia (2011)



Imagen 14: Biomasa resultante. Reactor 25% excremento 75% agua.

Fuente: Uzcategui, M y Roa, J (2011)



Imagen 15: Biomasa resultante. Reactor 50% excremento 50% agua.

Fuente: Elaboración propia (2011)

