

OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA Y ESTIÉRCOL

FERNÁNDEZ ESCALANTE, Jesús Daniel & SAAVEDRA VARGAS, Carmen Caríbay

U. E. Liceo Bolivariano Libertador. Mérida. Estado Mérida. 2007

RESUMEN

El propósito de esta investigación es “Desarrollar tecnologías alternativas a bajo costo para la obtención de biogás a partir del Bagazo de Caña y Estiércol”. A través del estudio, diseño y construcción de un Biodigestor pequeño, tipo Batch, alimentado con estiércol de ganado vacuno y el recurso orgánico nunca antes utilizado “bagazo de caña de azúcar”, mediante un trabajo de campo, de tipo explicativo y experimental. Además se hizo un estudio a profundidad de las ventajas y desventajas del uso de biodigestores; la producción de biogás en diferentes temperaturas; la presión ejercida por el biogás; las proporciones de Aire, Dióxido de Carbono y Metano en el biogás producido, a través de la cromatografía gaseosa; el tiempo de retención de la materia orgánica y un análisis estadístico de los resultados. Los resultados obtenidos demuestran que el Biodigestor construido es eficiente, no solo en la producción de Biogás a partir del bagazo de caña y estiércol a temperatura ambiente, sino también en la producción de un Bioabono rico en nutrientes el cual puede ser utilizado como fertilizante natural en suelos de poca vegetación.

Palabras clave: Biogás, Biodigestor, Bagazo de Caña, Estiércol.

INTRODUCCIÓN

El biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano (CH₄) y el dióxido de Carbono (CO₂) que se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire, por la acción de un grupo de microorganismos. El Biogás con su alto contenido de metano, es una fuente de energía que puede ser utilizado para cocinar, iluminar, operar máquinas agrícolas, bombear agua o generar corriente eléctrica. Para obtener el biogás se utilizan varios sistemas, uno de ellos (el más generalizado) es el llamado *Biodigestor de Metano*. Un Biodigestor es un generador de biogás, que permite producir en condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno) un gas similar al gas común de cocina, utilizando como materia base estiércol de animales,

heces humanas, restos de plantas y verduras. Este proceso de producción de biogás también permite que se forme un residuo o lodo, el cual posteriormente secado, se convierte en un abono orgánico de buena calidad, rico en nutrientes. (Hobfeld, 1986)

La descomposición anaerobia es uno de los pocos procesos naturales que no se había explotado plenamente sino hasta hace poco tiempo. Los chinos utilizan desde hace décadas “lagunas cubiertas” para suministrar combustible de metano a las comunidades. No obstante, el primer intento hecho para construir un biodigestor, con el fin de obtener metano a partir de desechos orgánicos, se cree que se produjo en la India, en el año de 1900. Durante la Segunda Guerra Mundial, la escasez de combustibles en Alemania

condujo al desarrollo de plantas de metano en las zonas rurales, donde se utilizaba el gas para el funcionamiento de tractores. La idea se extendió por Europa Occidental; pero se apagó cuando volvió a disponerse de combustibles fósiles. El metano principal componente del gas natural y del biogás, es un hidrocarburo gaseoso con menor densidad que el aire (0,554 g/c.c.), el cual se desprende de materias en putrefacción, siendo un gas inflamable que explota en contacto con una llama. El metano es poco soluble en agua teniendo puntos de fusión y ebullición muy bajos (punto de ebullición $-164,0^{\circ}\text{C}$ y punto de fusión $-85,5^{\circ}\text{C}$).

Hoy en día, las investigaciones sobre biogases y biodigestores de materiales orgánicos se enfocan principalmente en la India. En esta región, las vacas producen cerca de ochocientos millones de toneladas de estiércol al año; casi la mitad se quema para obtener combustible y, en esa forma, se pierde su uso como fertilizante. En la década de 1950 se desarrollaron modelos de biodigestores simples, apropiados para los hogares aldeanos. La mayor parte de la información sobre la digestión y las operaciones con biodigestores en pequeña escala, procede de experiencias en la India, Europa Occidental y Sudáfrica, y de publicaciones periódicas, tales como *Compost Science, Water Swager Work, Soils and Fertilizer*. (Lehringer, 1975)

La escasez de energía, hecho que se presenta frecuentemente en América y el mundo, ha promovido el desarrollo de paliativos que intentan afrontarla. Entre los dispositivos, que la cultura y la investigación generaron, están los Biodigestores, los cuales se caracterizan por el aprovechamiento de la descomposición orgánica, que en condiciones anaerobias, en presencia de microorganismos y temperatura adecuada producen como subproducto el gas metano, de un gran poder calorífico. Existen muchos modelos de estos

biodigestores, están clasificados en dos grandes grupos, los discontinuos y los continuos. Entre los biodigestores continuos más importantes tenemos el modelo "Hindú" y el "Chino". El biodigestor discontinuo más utilizado es el modelo "Batch", el cual realiza un proceso fermentativo que se caracteriza porque toda la materia orgánica biodegradable se convierte en biomasa, quedando sólo la materia orgánica recalcitrante.

En la actualidad han surgido numerosas interrogantes en la relación existente entre el gas natural y el biogás. El gas natural es el resultado de sucesivas transformaciones de los materiales básicos y crudos, seguida por la acumulación de los mismos en reservas cuya diversidad de composición se ve reflejada en el origen de sus componentes. El biogás se obtiene por medio de la descomposición de la materia orgánica (vegetal o animal), resultado de un proceso anaeróbico en donde están presentes las bacterias metanogénicas y termogénicas, encontradas en el estiércol de vaca y de cerdo principalmente. El estiércol también recibe como nombre inóculo, cuya función es descomponer materia orgánica para la producción de biogás, cuyo rendimiento va depender de la temperatura en la que se encuentra la materia, el tiempo de retención, la relación existente entre la cantidad de desecho orgánico y la cantidad de inóculo.

En Venezuela la obtención de biogás a partir de estos desechos todavía no es muy fomentada, posiblemente a la condición de nuestro país como exportador de petróleo, sin embargo el biogás representa una alternativa energética que permite el desarrollo especialmente de las áreas rurales en donde su obtención como combustible se puede realizar mediante un fácil y no complicado procedimiento.

La investigación presentada consiste en la obtención de biogás a partir del bagazo de caña (el resultado del paso de la caña de

azúcar a través de maquinarias adecuadas para extraer el líquido de ésta, posteriormente secada se conoce como bagazo de caña). Este bagazo se mezcló con estiércol (excrementos de vaca) y a esta mezcla se le agregó una determinada proporción de agua para homogenizarla. Después de un determinado tiempo se inició la producción de biogás. Se realizaron una serie de experimentos con dos biodigestores bajo distintas variables para determinar dentro de que condiciones se obtiene el biogás con el mejor rendimiento. También se realizaron cromatografías al biogás producido para determinar las proporciones de aire, dióxido de carbono y metano. La razón por la cual se escogió el bagazo de caña como desecho para obtener el biogás, se debió a que hasta el momento no se conocía algún estudio sobre la producción de biogás a partir de este material. Muchos estudios han sido realizados sobre la producción de biogás a partir de otras materias, como por ejemplo de la yuca amarga; por lo tanto la obtención de biogás a partir del bagazo de caña representa hasta lo que conocemos hoy en día algo innovador en nuestro país.

El objetivo general de esta investigación es primordialmente **Desarrollar tecnologías alternativas a bajo costo para la obtención de biogás a partir del bagazo de caña y estiércol**. Utilizando para ello dos biodigestores, alimentados con bagazo de caña y estiércol de vaca.

Posteriormente como objetivos específicos se trazaron “Diseñar y Crear un Biodigestor pequeño”, “Evaluar la influencia de la temperatura sobre la producción de Biogás”, “Determinar la proporciones de aire, dióxido de carbono y metano en el del biogás obtenido a través de la cromatografía gaseosa” y “Determinar la viabilidad de implementar un biodigestor en una población rural”

Se obtuvieron excelentes resultados que pueden ser utilizados por instituciones que

estudian la obtención de biogás, permitiendo combinar el estiércol con otra materia orgánica, logrando de esta manera una mayor producción de biogás. Esta experiencia representa una nueva alternativa en la producción de biogás, la cual aún no había sido estudiada, dándole una utilidad al bagazo de caña de azúcar que es desperdiciado y algunas veces usado en la incineración contaminado de este modo el ambiente. Normalmente el biogás se obtiene a partir del estiércol de cochino, vaca, entre otros; sin mezclarlo con otro material; combinando el estiércol con el bagazo lógicamente el comportamiento del biogás debe cambiar, precisamente en este cambio se diferencio esta investigación de las demás.

MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo a los objetivos planteados, se realizó una investigación de campo ya que los datos son obtenidos directamente de la realidad de los hechos, es decir de la construcción y estudio de un Biodigestor tipo Batch, ajustada al tipo de investigación explicativa y experimental. Se considera explicativa ya que se caracteriza por buscar el por qué de los hechos mediante el establecimiento causa-efecto. También se considera Experimental, debido a que un grupo de materiales orgánicos son sometidos a determinadas condiciones con el fin de observar los efectos que se producen.

Se diseño una estrategia de trabajo que pudiese dar respuesta al problema planteado, en consecuencia se establecieron cuatro fases: *La primera fase* consistió en un Arqueo Bibliográfico, en *la Segunda Fase* se diseño y aplicó el proceso experimental, en *la tercera fase* se hizo el procesamiento, análisis y discusión de los resultados y en *la cuarta fase* se presentaron las conclusiones y recomendaciones.

La recolección de los datos se llevo a cabo mediante la construcción del Biodigestor y la determinación diaria del biogás obtenido.

1.) CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

El Biodigestor a utilizar es de tipo Batch, que es un modelo muy común en los campos donde se emplea este tipo de tecnología experimental del biogás. Los Biodigestores Batch, realizan un proceso fermentativo que se caracteriza porque toda la materia orgánica biodegradable se convierte en Biomasa, quedando solo materia orgánica recalcitrante. Este proceso dura varias semanas y cuando se agota la materia orgánica hay que renovarla; si se posee un solo biodigestor, se obliga a que debe ser de un tamaño grande e igualmente el gasómetro, para poder generar y almacenar durante los periodos que no hay generación de gas, si se posee dos biodigestores y así sucesivamente, el gas a almacenar será mayor.

La construcción del Biodigestor tipo Batch a escala que se empleó para esta investigación presenta una capacidad para 8 Kg de gas, que es el lugar donde se sitúa tanto el gas como la biomasa.

El Biodigestor es de un modelo práctico y sencillo, su estructura esta conformada por un cilindro para gas propano de 8 Kg, el cual contiene dos tubos a los lados, que son la cámara de carga y la cámara de descarga. Contiene una válvula para la salida del biogás y un manómetro para medir la presión del mismo. Además tiene un tubo de salida en la parte inferior, para el efluente o Bioabono.

MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

1 Cilindro para gas propano de 8 Kg; 4 llaves de paso de ½"; 7 niples galvanizados de ½"; 4 niples de 5cm de rosca corrida de ½"; 1 manómetro para 100 libras; 2 Te de ½";

1 acople de bronce de ½"; 8 laminas pulidas calibre 0,016 de 0,15 x 0,15; ¼ de kilo de electrodos 3,32; pintura martillada color gris oscuro; 4 varillas de bronce finas y 2 tapones galvanizados de ½". Para el llenado del Biodigestor se utilizó Bagazo de Caña y estiércol de vaca.

PASOS A SEGUIR PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

Lo primero que hay que hacer es quitarle la llave al cilindro para hacerle la limpieza, luego se debe llenar con agua y jabón en polvo, para poder perforar con un taladro donde se van a colocar los niples de entrada y salida de la biomasa. Seguidamente se hacen las adaptaciones y soldaduras requeridas con un arco eléctrico y una soldadura autógena. Posteriormente se fabrican los cubos con las laminas pulidas y se soldan a los niples, luego se colocan todos los materiales necesarios en adaptación (manómetro, te, llave de compuerta). Finalmente se hace una prueba de fuga con aire comprimido, ya realizado todo este proceso se le aplica al cilindro el esmalte martillado.

2.) CONTROL DE PORCENTAJES ENTRE EL ESTIÉRCOL Y EL BAGAZO

Para poder precisar los porcentajes de Estiércol y Bagazo de caña dentro de la composición de la biomasa, se realizaron dos muestras con variación de porcentajes en las mismas para comparar la producción de gas y la calidad del mismo.

Los porcentajes estuvieron especificados de esta manera, cuando el estiércol posea un 25% el bagazo tendrá un 75%; al llegar el estiércol al 50% el bagazo tendrá la misma cantidad, es decir cincuenta por ciento para ambos. Para un mejor entendimiento se puede observar en la tabla N° 1:

Tabla N° 1.

Porcentajes de la Biomasa contenida en el Biodigestor

BIODIGESTOR	1	2
Estiércol	25 %	50 %
Bagazo	75 %	50 %

Se puede observar que la suma de cada porcentaje verticalmente da un total de un 100% que vendría a ser el peso constante que se aplicará a cada biodigestor.

3.) CONCENTRACIÓN DE LA BIOMASA

Para que pueda haber una uniformidad entre le estiércol y el bagazo de caña se debió mezclar estas cantidades con una determinada proporción de agua de tal manera que dicha mezcla quedara homogénea.

El volumen de los biodigestores como se explicó anteriormente es de 8 Kg, por lo tanto se debió tener en cuenta el volumen que ocupará la biomasa y el volumen que ocupará el agua. La concentración del bagazo-estiércol / agua se realizó en función del peso y el volumen.

Tabla N° 2.

Cantidad de Biomasa contenida en el Biodigestor

	Biodigestor 1	Biodigestor 2
ESTIÉRCOL	25% = 1,25 Kg	50% = 2,50 Kg
BAGAZO	75% = 3,75 Kg	50% = 2,50 Kg

4.) TEMPERATURA

La temperatura a la que debía estar cada Biodigestor fue variada. Se implementaron las tres opciones de temperatura existentes como los son temperatura caliente, temperatura ambiente y temperatura fría; para poder

observar la variación de cada uno de los biodigestores se aplicaron de la siguiente manera:

TEMPERATURA AMBIENTE (25°C):

Para la temperatura ambiente no hubo inconveniente ya que esta es la que no es modificada por un medio externo y generalmente tampoco es constante en todo por las diversas variaciones meteorológicas.

Para estudio de los Biodigestores en temperatura ambiente se dispuso a colocar los dos biodigestores siempre en un mismo lugar con poca ventilación para evitar la variación de temperatura, ya que esta actúa como agente acelerador para la producción de biogás.

Se mantuvieron en temperatura ambiente por 24 días, tomando nota de la presión y cantidad del biogás cada día.

TEMPERATURA FRÍA (17-18°C):

Para realizar el cambio en la temperatura de los Biodigestores, no se utilizaron aparatos eléctricos ni ninguna especie de instrumentos, sino una idea práctica y sencilla, la cual consistía en colocar una cava relativamente grande con un volumen de agua, donde entran los biodigestores, dicha cava posee una abertura en la parte inferior de uno de los laterales, donde se le fue aplicado un tapón con un agujero para disminuir el flujo de agua que salía por este. Para compensar la salida del flujo del agua se colocó una manguera con un chorro controlado para que la entrada del agua fuese la misma que la salida, y así de tal forma mantener un volumen constante del agua, de este modo el agua circulaba en el interior de la cava. El agua tenía una temperatura constante de 17°C a 18°C, lo cual era perfecto para la investigación.

Los Biodigestores se mantuvieron en temperatura fría por 8 días, tomando nota de la presión y cantidad del biogás cada día.

TEMPERATURA CALIENTE (40°C):

Para el efecto de temperatura caliente, se tuvo que implementar un aparato el cual mantenía constante la temperatura del flujo de agua. La temperatura a la cual se mantuvo el flujo de agua fue de unos 40°C aproximadamente, la cual era graduada manualmente y tenía incluido un termómetro electrónico.

Los Biodigestores se mantuvieron en temperatura caliente por 8 días, tomando nota de la presión y cantidad del biogás cada día.

5.) CROMATOGRAFÍA

Para la cromatografía se tuvo que disponer de ciertos instrumentos como lo son: Jeringa para Cromatografía gaseosa (Halmiton, modelo 7105), Cromatógrafo de Gases Perkin Elmer modelo 1116, Sistema computarizado Pe Nelson modelo 1026 y una Computadora EPSON; esenciales para la cromatografía. El cromatógrafo de gases Pekín Elmer Modelo 1116 posee dos inyectores una FID y otro TCD de los cuales utilizamos el TCD por tener columnas que pueden detectar metano, dióxido de carbono y aire.

Los Biodigestores que se utilizaron para la *Obtención de Biogás* ya cargados se llevaron al lugar de la cromatografía, donde se introduce en el septum de cada biodigestor la jeringa para extraer el biogás existente en el interior del mismo. Después de haber cargando la jeringa con el Biogás se introduce ésta en el inyector TCD del cromatógrafo y simultáneamente en la computadora se coloca en el menú de selección "star run" y se procede a inyectar el gas en el cromatógrafo; después de la inyección se aprieta rápidamente el botón "RUN" de color verde en el tablero de operaciones de dicho cromatógrafo. Es importante destacar que el inyector también posee una temperatura de 50°C. Para impulsar el Biogás por la columna, existe el gas de arrastre que en este caso fue

hidrogeno, pero también se puede utilizar helio; este gas esta continuamente circulando, pero no se sale por el inyector ya que el cromatógrafo posee una especie de septum en el lugar en donde se realiza la inyección. Luego que llega a la columna es calentado por el horno, debido a la condición específica de este trabajo se tomo el mínimo valor de temperatura que es de 28°C. Las columnas por donde pasa el gas, poseen dos extremos uno se comunica con el inyector y el otro con el detector TCD que está a una temperatura de 100°C; otra condición es la longitud de estas columnas la cual tiene aproximadamente 30 metros con un diámetro de 1 milímetro, el cual contiene una sustancia que realiza la función más importante que es la de hacer que cada gas que se encuentre en la mezcla fluya con menos rapidez, por lo tanto cada gas tendrá un tiempo de salida distinto que es captado por el detector.

El análisis de los gases se realiza en la computadora donde se registra la información del cromatógrafo, el tiempo de duración de los análisis es de tres minutos por cada cromatografía. Para empezar a realizar los análisis se deben tener primero los patrones de los compuestos que posiblemente se encuentran en el biogás a estudiar. En este caso se hicieron patrones de: aire y dióxido de carbono; metano puro; y dióxido de carbono, aire y metano. Con esto se determinaba en que tiempo salía la señal de metano, la del dióxido de carbono y la del aire. Luego de tener los resultados de los patrones se procedió a imprimirlos para que al finalizar las pruebas del biogás se compararan y se conociera con facilidad cuál pico representaba al aire, cuál al dióxido de carbono y cuál al metano.

De cada muestra extraída de los biodigestores, se realizaron dos cromatografías para poder así determinar la autenticidad de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Una vez iniciada la producción de biogás se realizaron medidas diarias para determinar el volumen de biogás que se obtenía por día. Estas medidas eran realizadas de acuerdo al ascenso que realizaba el manómetro del biodigestor. Los ascensos del manómetro fueron los siguientes:

- Temperatura Ambiente 1 (25°C)

Tabla N° 3.

Presión del Biogás a Temperatura Ambiente 1 (25°C)

Día	Biodigestor 1	Biodigestor 2
1	22 mm	25 mm
2	35 mm	35 mm
3	38 mm	39 mm
4	39 mm	42 mm
5	10 mm	60 mm
6	2 mm	8 mm

En el sexto día se notó que los volúmenes de los manómetros habían disminuido notablemente, se decidió botar el biogás haciéndolo combustionar con un yesquero. El biogás combustionó durante algunos minutos.

Tabla N° 4.

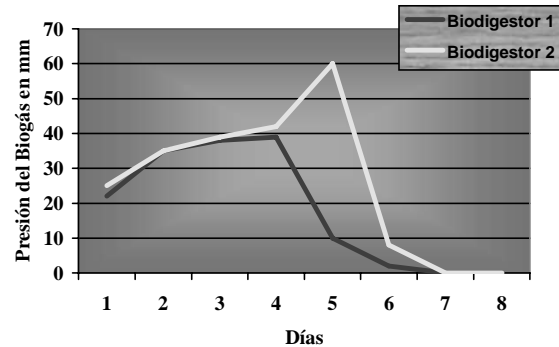
Presión del Biogás a Temperatura Ambiente 1 (25°C)

Día	Biodigestor 1	Biodigestor 2
7	0 mm	0 mm
8	0 mm	0 mm

NOTA: El hecho que el manómetro no ascienda no significa que no haya biogás en el Biodigestor, sino que la cantidad obtenida es tan poca que no tiene la suficiente presión para alzar la aguja del mismo.

Gráfica N° 1.

Presión del Biogás a Temperatura Ambiente 1 (25°C)



Para comparar nuevamente la producción de biogás en temperatura ambiente, el día 9 se prepararon otra vez las mezclas de los biodigestores 1 y 2.

A partir del día 10 la producción de biogás asciende.

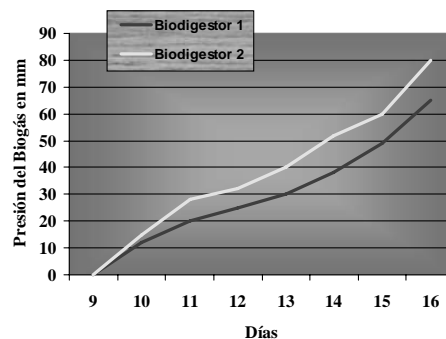
Tabla N° 5.

Presión del Biogás a Temperatura Ambiente 1 (Nueva Muestra)

Día	Biodigestor 1	Biodigestor 2
9	0 mm	0 mm
10	12 mm	15 mm
11	20 mm	28 mm
12	25 mm	32 mm
13	30 mm	40 mm
14	38 mm	52 mm
15	49 mm	60 mm
16	65 mm	80 mm

Gráfica N° 2.

Presión del Biogás a Temperatura Ambiente 1 (25°C)

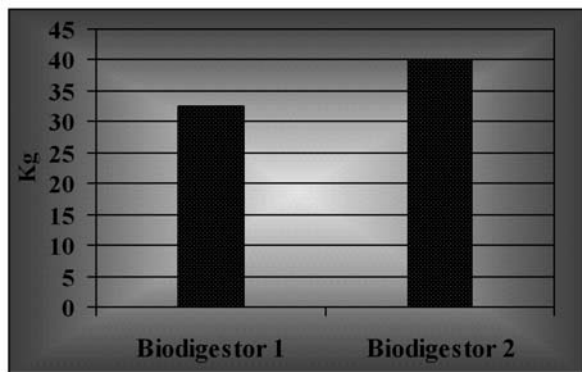


Como se puede observar en las graficas 1, 2 y 3, en los biodigestores se evidenciaron buenas producciones de biogás, durante el tiempo de retención. Las mezclas con una proporción igual entre bagazo de caña y estiércol son las que producen un mayor volumen de biogás en un ciclo de una semana aproximadamente.

Se observó que el volumen de biogás contenido en los biodigestores disminuyo completamente en el sexto día. Posteriormente se vació el gas de los biodigestores haciéndolo combustionar. Al día siguiente éste se había producido nuevamente. La pregunta en aquel momento era ¿Por qué ocurría un descenso en el volumen de biogás ya obtenido?

Gráfica N° 3

Máximas Producciones de Biogás a Temperatura Ambiente 1



CROMATOGRAFÍA DEL BIOGÁS OBTENIDO A TEMPERATURA AMBIENTE 1 (25°C)

Mediante la cromatografía se determinó la siguiente composición de las muestras de biogás. Se realizaron dos tomas cromatográficas de cada muestra:

Tabla N° 6.

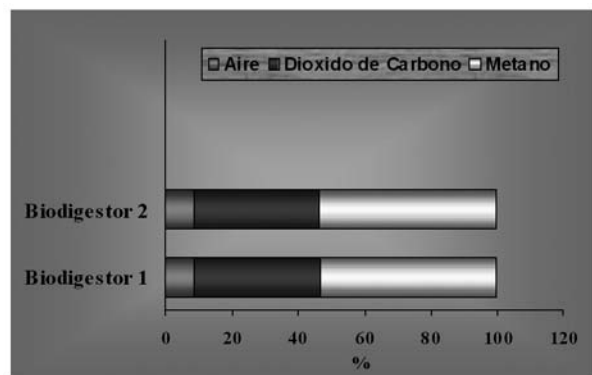
Proporciones de Aire, Dióxido de Carbono y Metano en el Biogás obtenido a Temperatura Ambiente 1 (25°C)

Biodigestor	Proporción de Aire	Proporción de Dióxido de Carbono	Proporción de Metano
1	6,06% 11,44%	26,18% 49,45%	67,75% 39,12%
2	8,58% 9,24%	35,57% 38,86%	55,85% 51,89%

Analizando la tabla N° 6 y la grafica N° 4 de la cromatografía realizada se puede observar que los porcentajes de aire, metano y dióxido de carbono son muy similares entre los biodigestores.

Gráfica N° 4.

Proporciones de Aire, Dióxido de Carbono y Metano en el Biogás obtenido a Temperatura Ambiente 1 (25°C)



NOTA: Sin embargo los porcentajes en general de metano son relativamente altos con relación a los que se esperaba obtener. Según algunas fuentes de información se decía que lo máximo que se podía obtener de metano en una muestra de estiércol con bagazo de caña era de 40%. Las dos muestras tienen una composición mayor al 50% de metano.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL BIOGÁS OBTENIDO EN LOS BIODIGESTORES: TEMPERATURA AMBIENTE 2 (25°C), TEMPERATURA FRÍA (17-18°C) Y TEMPERATURA CALIENTE (40°C)

- Temperatura Ambiente 2 (25°C)

Debido a que no se conseguía dar explicación factible al descenso de volumen experimentado por los Biodigestores anteriores, se decidió repetir la experiencia. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla N° 7.

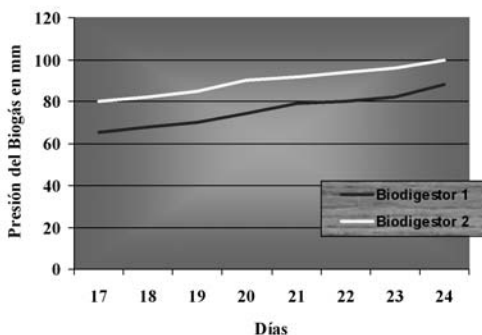
Presión del Biogás a Temperatura Ambiente 2 (25°C)

Día	Biodigestor 1	Biodigestor 2
17	65 mm	80 mm
18	68 mm	82 mm
19	70 mm	85 mm
20	74 mm	90 mm
21	79 mm	92 mm
22	80 mm	94 mm
23	82 mm	96 mm
24	88 mm	100 mm

Las producciones de biogás a temperatura ambiente son óptimas, en el biodigestor 1 se obtuvo como máxima presión de biogás 88 mm y en el biodigestor 2 se obtuvo como máxima presión de biogás 100 mm.

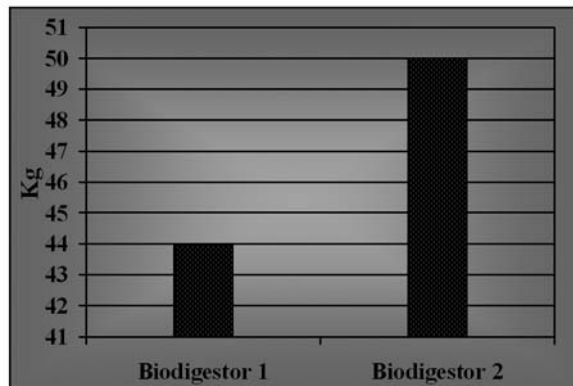
Gráfica N° 5.

Presión del Biogás a Temperatura Ambiente 2 (25°C)



Gráfica N° 6.

Máximas Producciones de Biogás a Temperatura Ambiente 2 (25°C)



- Temperatura Fría (17°C - 18°C)

Para hacer el estudio de las producciones de biogás a temperatura fría en los biodigestores 1 y 2. El biogás contenido en cada uno se hizo combustionar el día 25.

Tabla N° 8.

Presión del Biogás (combustión del Biogás)

Día	Biodigestor 1	Biodigestor 2
25	0 mm	0 mm

Las presiones de biogás del Biodigestor 1 y del Biodigestor 2 en temperatura fría, son las siguientes:

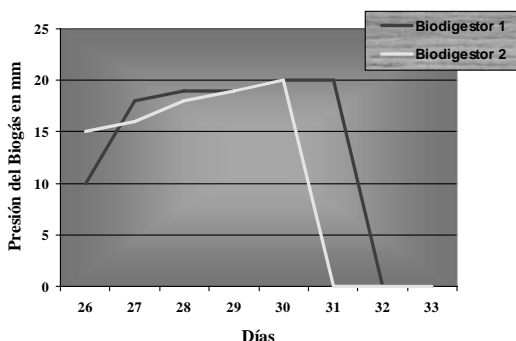
Tabla N° 9.

Presión del Biogás a Temperatura Fría (17-18°C)

Día	Biodigestor 1	Biodigestor 2
26	10 mm	15 mm
27	18 mm	16 mm
28	19 mm	18 mm
29	19 mm	19 mm
30	20 mm	20 mm
31	20 mm	0 mm
32	0 mm	0 mm
33	0 mm	0 mm

Gráfica N° 7.

Presión del Biogás en Temperatura Fría (17-18°C)



En temperatura fría la producción de Biogás comparando con la temperatura ambiente fue inferior, esto se debe a que a menor temperatura las bacterias termogénicas no se desarrollan completamente, y si estas no se desarrollan en grandes cantidades, no habrá tampoco el desarrollo posterior de las bacterias metanogénicas que realizan el ultimo paso del proceso de fermentación en donde se forma el metano y el dióxido de carbono. A mayor temperatura la actividad metabólica de la bacteria aumenta, haciendo que estas descompongan con mayor velocidad la materia orgánica y a menor temperatura por supuesto la actividad metabólica de la bacteria tiene que disminuir haciendo que el proceso de descomposición de la materia orgánica anteriormente mencionada igualmente disminuya. Esta es la razón por la cual la temperatura influye en la producción de biogás. El volumen de biogás producido fue muy poco.

- Temperatura Caliente (40 °C)

Para hacer el estudio de las producciones de biogás a temperatura caliente en los biodigestores 1 y 2. El biogás contenido en cada uno se hizo combustionar el día 34.

Tabla N° 10.

Presión del Biogás (combustión del Biogás)

Día	Biodigestor 1	Biodigestor 2
34	0 mm	0 mm

Las presiones de biogás del Biodigestor 1 y del Biodigestor 2 en temperatura caliente, son las siguientes:

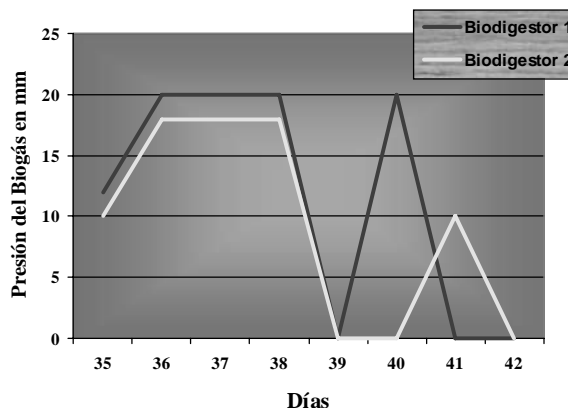
Tabla N° 11.

Presión del Biogás a temperatura caliente (40°C)

Día	Biodigestor 1	Biodigestor 2
35	12 mm	10 mm
36	20 mm	18 mm
37	20 mm	18 mm
38	20 mm	18 mm
39	0 mm	0 mm
40	20 mm	0 mm
41	0 mm	10 mm
42	0 mm	0 mm

Gráfica N° 8.

Presión del Biogás en Temperatura Caliente (40°C)



Analizando los resultados se puede ver que la producción de biogás durante los primeros días fue abundante, pero luego el volumen del gas desciende notablemente hasta el punto en donde ya no existe producción. Se llegó a la conclusión que el descenso de biogás en todos los casos era por

la misma causa. Se fueron descartando las soluciones que se habían planteado al problema y la única posibilidad que se encontraba era que algo estaba pasando en el interior de los biodigestores. Se pensó que podría ser que el estiércol que habíamos recogido contenía además de las bacterias ya anteriormente mencionadas, un tipo de bacteria que comían algún componente del gas y posiblemente el metano. Estas bacterias deberían desarrollarse juntamente con las demás y al terminar el ciclo de producción de metano, estas lo comerían quedando el biogás formado por dióxido de carbono, aire y otras pequeñas impurezas.

CROMATOGRAFÍA DEL BIOGÁS OBTENIDO EN LOS BIODIGESTORES A TEMPERATURA AMBIENTE 2 (25°C), TEMPERATURA FRÍA (17-18°C) Y TEMPERATURA CALIENTE (40°C)

Mediante la cromatografía se determinó la siguiente composición de las muestras de biogás. Se realizaron dos tomas cromatográficas de cada muestra.

- Temperatura Ambiente 2 (25°C)

· No se detectó metano

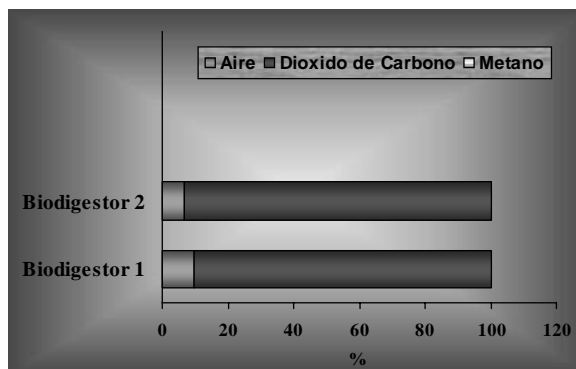
Tabla N° 12.

Proporciones de Aire, Dióxido de Carbono y Metano en el Biogás producido a Temperatura Ambiente 2 (25°C)

Biodigestor	Aire	Dióxido de Carbono
1	9,62%	90,38%
	9,95%	90,05%
2	6,57%	93,43%
	6,62%	93,38%

Gráfica N° 9.

Proporciones de Aire, Dióxido de Carbono y Metano en el Biogás producido a Temperatura Ambiente 2 (25°C)



- Temperatura Fría (17°C - 18°C)

· No se detectó metano

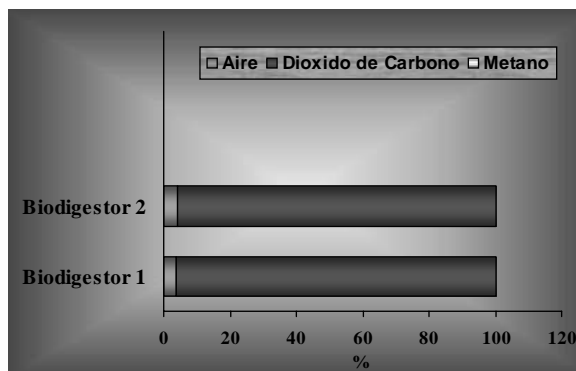
Tabla N° 13.

Proporciones de Aire, Dióxido de Carbono y Metano en el Biogás producido en Temperatura Fría (17-18°C)

Biodigestor	Aire	Dióxido de Carbono
1	3,83%	96,17%
	3,73%	96,27%
2	4,84%	95,16%
	3,71%	96,29%

Gráfica N° 10.

Proporciones de Aire, Dióxido de Carbono y Metano en el Biogás producido a Temperatura Fría (17-18°C)



- Temperatura Caliente (40 °C)

· No se detectó metano

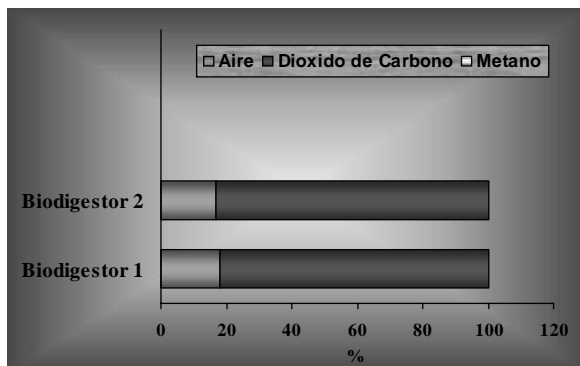
Tabla N° 14.

Proporciones de Aire, Dióxido de Carbono y Metano en el Biogás producido a Temperatura Caliente (40°C)

Biodigestor	Aire	Dióxido de Carbono
1	18,19%	81,81%
	18,26%	81,74%
2	16,56%	83,44%
	16,89%	83,11%

Gráfica N° 11.

Proporciones de Aire, Dióxido de Carbono y Metano en el Biogás producido a Temperatura Caliente (40°C)



Posteriormente se analizó que además de que el volumen disminuyera, los gases no presentaban en su composición metano. Esto sirvió para dar una definitiva solución a este problema. La solución que se presentó anteriormente era cierta, algo estaba pasando en el interior de los biodigestores. Posiblemente en el estiércol se encontraba un tipo de bacteria que comió el metano haciendo que el volumen de gas disminuyera. Esto solo se hacía visible cuando ya no había producción de metano y este era transformado por las bacterias en otro producto posiblemente en forma líquida.

*** MÁXIMAS PRESIONES DE BIOGÁS REGISTRADAS EN EL MANÓMETRO DURANTE EL EXPERIMENTO**

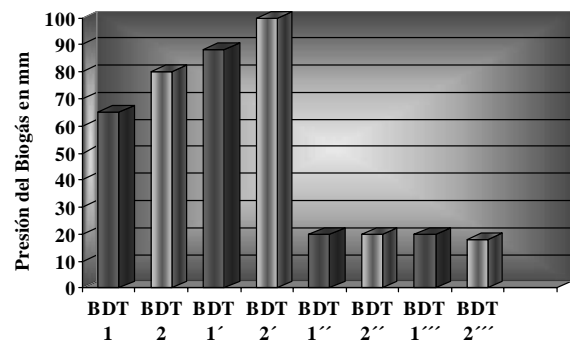
Tabla N° 15.

Máximas presiones de Biogás durante el experimento

Temperatura Biodigestor	Temperatura Ambiente 1 (25°C)	Temperatura Ambiente 2 (25°C)	Temperatura Fría (17-18°C)	Temperatura Caliente (40°C)
Biodigestor 1	65 mm	88 mm	20 mm	20 mm
Biodigestor 2	80 mm	100 mm	20 mm	18 mm

Gráfica N° 12.

Máximas presiones de Biogás durante el experimento



Leyenda

- BDT 1: Temperatura Ambiente1 (25°C): 25% Estiércol / 75% Bagazo
- BDT 2: Temperatura Ambiente1 (25°C): 50% estiércol / 50% Bagazo
- BDT 1': Temperatura Ambiente2 (25°C): 25% Estiércol / 75% Bagazo
- BDT 2': Temperatura Ambiente2 (25°C): 50% estiércol / 50% Bagazo
- BDT 1'': Temperatura Fría (17-18°C): 25% Estiércol / 75% Bagazo
- BDT 2'': Temperatura Fría (17-18°C): 50% estiércol / 50% Bagazo
- BDT1''': Temperatura Caliente (40°C): 25% Estiércol / 75% Bagazo
- BDT2''': Temperatura Caliente (40°C): 50% estiércol / 50% Bagazo

En la Tabla N° 15 y la Grafica N° 12, se pueden observar las máximas presiones de biogás registradas en el manómetro durante los 42 días de duración del experimento.

La máxima presión se dio en el Biodigestor 2 a temperatura ambiente (25°C); el cual se encontraba alimentado con 50% de Bagazo de Caña y 50% de Estiércol. La segunda máxima presión se dio en el Biodigestor 1 a temperatura ambiente (25°C); también alimentado con 50% de Bagazo de Caña y 50% de Estiércol.

Esto demuestra que es recomendable tener el biodigestor a temperatura ambiente (25°C) y alimentado con 50% de Bagazo de caña y 50% de estiércol de vaca. Lo primero porque las bacterias se desarrollan efectivamente y lo segundo ya que se estaría aprovechando un recurso orgánico de gran importancia como lo es el bagazo de caña de azúcar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo de investigación consistió en realizar un enfoque general a la producción de biogás, específicamente a la producción del mismo a partir del bagazo de caña de azúcar y el estiércol. El Biogás es un elemento abundante en los pantanos por la presencia de elementos putrefactos que son descompuestos liberando metano, dióxido de carbono y aire que existe en el ambiente.

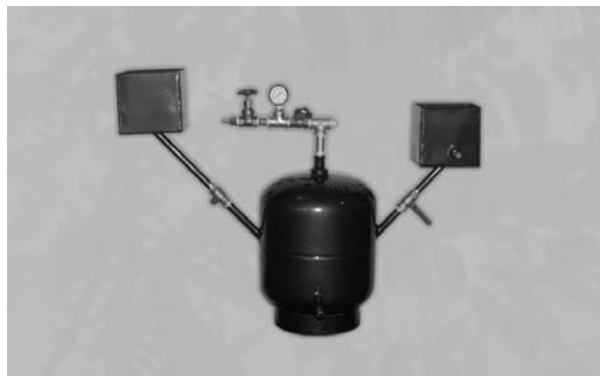
La obtención de Biogás a partir de bagazo de caña se muestra como una alternativa para obtener un gas similar al de cocina con un alto porcentaje de metano, esta es la única actividad que se emplea con el bagazo de caña, con excepción de la quema del mismo con la finalidad de producir calor, contaminando el ambiente, esta actividad es practicada por los trapiches del Estado Mérida, donde después de exprimir la caña para la elaboración de azúcares y panelas, lo exponen al sol para que este se seque y pueda utilizarlo una vez más pero esta vez como un ayudante de las basuras, y hasta en algunos casos utilizan caucho que es peor aún.

Después de haber realizado numerosas experiencias en la obtención de biogás a partir del bagazo de caña, se observó que a medida que la biomasa se encuentre a menor temperatura la producción de biogás descende, y cuando esta se encuentra a una mayor temperatura, la producción asciende. Esto se debe a la acción de las bacterias que se encuentran en la biomasa, a mayor

temperatura el metabolismo de las mismas aumentan generando una mayor cantidad de metano y dióxido de carbono, a menor temperatura el metabolismo de las bacterias disminuye trayendo como consecuencia una menor producción de biogás. El Biodigestor construido es eficiente, no solo en la producción de Biogás a partir del bagazo de caña y estiércol a temperatura ambiente, sino también en la producción de un Bioabono rico en nutrientes el cual puede ser utilizado como fertilizante natural en suelos de pobre vegetación.

Se debe fomentar la búsqueda de nuevas alternativas energéticas que no contaminen o alteren nuestro hábitat, como la energía solar, la energía eólica, la obtención de biogás, a través de Biodigestores, entre otras. Esto no se logra de un día para otro, sino que exige un cambio de mentalidad y un esfuerzo por parte de la humanidad para evitar la destrucción continua de nuestro planeta.

ANEXOS



1:1 BIODIGETOR CONSTRUIDO

BIBLIOGRAFÍA

BAKER, J., (1967). **Biología e Investigación Científica**. 1ra Edición. Bogotá. Fondo Educativo Interamericano. S.A.

BROWN, Theodore. (1993). **Química la Ciencia Central**. 5ta edición. México. Prentice Hall Inc.

FLORES, Julia. (2002). **Química 9º**. Caracas. Santillana Grupo Editorial.

HOBFELD, Sassen. (1986). **Recuperación Energética**. Vol. 18. Caracas. Biblioteca Central-FI-UCV.

LEHRINGER, Albert. (1975). **Bioenergética**. 2da Edición. Bogota. Fondo educativo Interamericano, S.A.

LOEHR, Raymond. (1974). **Agricultural Waste Management**. Nueva York. Academic Press.

STAFFORD, David. (1981). **Producción de Metano a partir de material orgánico**. Florida. CRC Press.