

II. AMBITO DE LA INVESTIGACION

Para la obtención de agua de pulpa de café se realizó una colecta en la finca Casa Blanca, ubicada en el departamento de Retalhuleu. La obtención de la glicerina se obtendrá de la empresa Guatebiodiesel ubicada en Amatitlan

Se realizaron análisis de carbono total, nitrógeno, fósforo los cuales se realizarán por métodos espectrofotométricos y el análisis de metales por espectrofotometria de absorción atómica. También se realizarán análisis de demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno de los sustratos de agua de pulpa de café y de la glicerina obtenida de la producción de biodiesel.

Los análisis anteriormente descritos se realizarán en los dos sustratos por separado antes que hacer la mezcla en un biodigestor a nivel de laboratorio. Posteriormente se llevaran a cabo mezclas en diferentes proporciones de los sustratos en un biodigestores de flujo discontinuo a nivel de laboratorio y se compararan los porcentajes de rendimiento del biogás producido a diferentes condiciones de sustrato, pH, temperatura para determinar las condiciones óptimas para la producción de biogás.

III. RESUMEN

En Guatemala se han realizado estudios para la producción de biogás con sustratos tradicionales, cerdaza, gallinaza, estiércol de ganado etc. Debido a que en Guatemala se producen gran cantidad de desechos de agua de Pulpa de café en el proceso de elaboración del café y glicerina obtenida como subproducto de la elaboración de Biodiesel, siendo estos contaminantes para el medio ambiente. Este estudio surgió de la necesidad de reciclar los 2 sustratos de origen orgánico, agua de Pulpa de café y glicerina para determinar la mejor relación de estos para producir una cantidad identificable de metano y para generar otra fuente de energía renovable que de alguna manera pueda ayudar a la población Guatemalteca. Se realizaron análisis fisicoquímicos de los dos sustratos para determinar si estos tenían interferentes que afectaran la producción de biogás. Se fabricaron dos tipos de biodigestores de flujo discontinuo. Un tipo de biodigestor se sometió a condiciones de 45°C por un tiempo de 15 días, mientras que los demás estuvieron sometidos a temperatura ambiente por 90 días. La detección de metano se realizó por medio de cromatografía de gases con detector FID y TCD antes de correr las muestras en el cromatógrafo se realizaron pruebas a la llama para determinar la presencia de biogás para analizar solo las muestras que ya tenían presencia de metano significativa. Obteniendo que la relación 2:1 agua y agua de pulpa de café en el biodigestor de 45°C es la más óptima para la producción de biogás.

IV. ANTECEDENTES

1. El Biogás

La producción de biogás, es un proceso que se lleva a cabo en condiciones anaeróbicas (sin presencia de oxígeno), también llamada fermentación anaeróbica. Esta se puede llevar a cabo a partir de una gran variedad de desechos orgánicos, y provee una gran cantidad de ventajas tanto a nivel ecológico, como a nivel económico, entre estas:

- Es una forma de obtención de un combustible doméstico para comunidades donde el combustible es escaso y de difícil acceso.
- Reduce la contaminación ambiental, evitando malos olores.
- Produce un residuo inodoro (biofertilizante), que puede ser utilizado como fertilizante, el cual contiene grandes cantidades de fósforo, potasio y nitrógeno (N, P, K).
- Evita la propagación de enfermedades, minimizando vectores de transmisión tales como moscas, ratas, cucarachas etc.
- Utilización de desechos domésticos y agrícolas.
- Evita la tala de bosques en áreas donde se utiliza leña como combustible.
- No hay consumo de energía.
- Presenta un sistema de separador de sólidos y gases que evita un proceso de decantación secundaria.
- Se requiere de un área mínima.

Por ello se plantea como una de las soluciones energéticas (electricidad, gas propano, derivado del petróleo y leña, para sectores o comunidades donde el acceso a algún tipo de combustible es muy costoso o inaccesible. (3,5)

2. Tipos de biodigestores

Hay muchos tipos de biodigestores pero los más comunes son el dosel flotante (indio) y el domo fijo (chino) . La aceptabilidad pobre de muchos de estos biodigestores ha sido principalmente debida a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos (6,9).

2.1. Pozos sépticos:

Es el más antiguo y sencillo digestor anaeróbico que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico (6, 9).

Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes. El efecto de los jabones y en especial los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias, razón por la que los pozos se colmatan con rapidez y dejan de operar, haciendo necesario destaparlos frecuentemente para recomenzar la operación (6).

Cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, como en el alcantarillado urbano, es necesario hacer un tratamiento químico con Polímeros a esta agua a fin de solucionar el problema antes de iniciar la fermentación anaeróbica (6).

2.2. Biodigestor de flujo discontinuo:

Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible depende de la presión que se ejerza en el contenedor de gas por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 a 8 cm de presión de agua. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada (6).

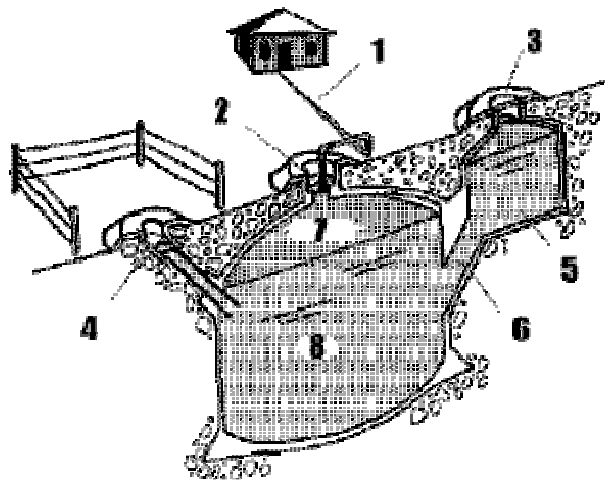
2.3. biodigestor de domo fijo (Chino)

Como se puede observar en la figura No.1 el biodigestor chino consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y " fondos son hemisféricos y

son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección en la cima del digestor que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del effluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 m de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el fondo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor. Más de cinco millones de biodigestores se ha construido en China y ha estado funcionando correctamente (FAO, 1992) pero, desgraciadamente, la tecnología no ha sido tan popular fuera de China (7).

Esta instalación tienen como ventaja su elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

Figura No.1 Esquema de un biodigestor chino



- 1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible;
- 3. Tapa móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de desplazamiento; 6. Tubería de salida; 7. Almacenamiento de gas; 8. Materia orgánica.

Fuente (7)

3. Propiedades del Biogás

Dependiendo del tipo de residuos orgánicos con lo que se trabaje se tiene la cantidad de biogás producido. Esta resumida en la siguiente tabla:

Tabla No. 1: Relación entre Volumen de Biogás producido, y la Materia Orgánica (MO) utilizada.

Tipos de residuos orgánicos	Volumen de Biogás [m³/kgMO]
Desechos agroindustriales agrícolas: cervecerías, fabricantes de jugos y extractos de frutas, aceites	0,42 - 0,50
Gallinaza (estiércol de aves, pollos , patos etc.)	0,65 - 0,70
Purines agrícolas (estiércol de cerdo, de ganado)	0,22 - 0,55
Residuos “verdes” de jardinería y agrícolas	0,35 - 0,46
Residuos alimenticios y piensos	0,32 - 0,80
Residuos de mataderos y procesadoras de pescado	0,34 - 0,71
Residuos de separadores de grasa (gastronomía, restaurantes)	0,70 - 1,30
Residuos orgánicos domésticos	0,40 - 0,58

Fuente: (3)

Es posible realizar una serie de comparaciones con otro tipo de gases que también son utilizados como combustible.

Tabla No. 2 Comparación de Propiedades Físicas del Biogás y otros gases Utilizados como combustible.

Propiedad:	Biogás	Gas natural	Propano	Metano
Poder calorífico (kWh/m ³)	6	10	26	10
Peso esp. (kg/m ³)	1.2	0.7	2.01	0.72
Encendido (grados)	700	650	470	600
Volumen de explosión (%)	6-12	4.4-15	1.7-11	4.4-16

Fuente: (3)

4. Factores que afectan la producción de gas

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa (2, 5,7).

Entre los factores más importantes están:

- Tipo de sustrato (nutrientes disponibles)
- Temperatura del sustrato; la carga volumétrica
- Tiempo de retención hidráulico
- Nivel de acidez (pH)
- Relación Carbono/Nitrógeno
- Concentración del sustrato; el agregado de inoculantes
- Grado de mezclado
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

5. Tipo de materia prima

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas (2).

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores (2,5).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico (2,5).

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina (2, 5).

En estiércoles de animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos (2,5).

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sin número de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados (2,5).

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas (2,5).

En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor (2,5).

A modo ilustrativo en la tabla No1 un cuadro indicativo sobre cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles (2).

Tabla no. 3 Producción de metano de diferentes sustratos.

ESPECIE	PESO VIVO	Kg ESTIERCOL/día	l/kg.S.V.	%CH4
Cerdos	50	4,5 - 6	340 - 550	65 - 70
Vacunos	400	25 -40	90 - 310	65
Equinos	450	12 - 16	200 - 300	65
Ovinos	45	2,5	90 - 310	63
Aves	1.5	0,06	310 - 620	60
Caprinos	40	1,5	110 - 290	-

Fuente (5)

5.1. Temperatura del sustrato

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C . Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas (9)

Tabla No.4 Temperatura de crecimiento de bacterias

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURAS	SENSIBILIDAD
Psicrofílicas	menos de 20°C	± 2°C/hora
Mesofílicas	entre 20°C y 40°C	± 1°C/hora
Termofílicas	más de 40°C	± 0,5°C/hora

Fuente (9)

La actividad biológica y por lo tanto la producción de gas aumenta con la temperatura. Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor el proceso la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior. El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas (5,9).

Todas estas consideraciones deben ser evaluadas antes de escoger un determinado rango de temperaturas para el funcionamiento de un digester ya que a pesar de incrementarse la eficiencia y producción de gas paralelamente aumentará los costos de instalación y la complejidad de la misma (5).

Los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas poseen generalmente sistemas de calefacción, aislamiento y control los cuales son obviados en digestores rurales económicos que trabajan a bajas temperaturas (5).

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digester para completar su degradación (Tiempo de retención Hidráulica, TRH). A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa (5).

5.2. Velocidad de carga volumétrica

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inverso con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención (9).

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día, todos expresados por metro cúbico de digestor (5,9).

El porcentaje de sólidos, se extraen llevando un peso húmedo a su peso constante y utilizando formula siguiente.

$$\% \text{ sólidos} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso constante}}{\text{Peso húmedo}}$$

El porcentaje de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560°C durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente:

$$1 - \frac{\text{peso seco} - \text{peso ceniza}}{\text{Peso seco}}$$

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material biodegradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua (5).

5.3. Tiempos de retención

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los “sistemas discontinuos o batch” donde el T.R. coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor (5).

En los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria (9).

De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores. El T.R. está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato como se puede observar en la tabla No.3 y la temperatura del mismo (5).

La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material (5).

La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el T.R., ya varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia (9).

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandará mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos (9).

El límite mínimo de los T.R. está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor (5,9).

Tabla No. 5 Tiempos de retención de sustratos

MATERIA PRIMA	T.R.
Estiércol vacuno líquido	20 – 30 días
Estiércol porcino líquido	15 – 25 días
Estiércol aviar líquido	20 – 40 días

Fuente (9)

Por esta razón en los últimos años se han buscado diseños de cámaras de digestión que procuran lograr grandes superficies internas sobre las cuales se depositan como una película las bacterias u otros sistemas que logran retener a las metanogénicas pudiéndose lograr de este modo T.R. menores. (5)

5.4. Valor de acidez (pH)

Una vez estabilizado el proceso fermentativo el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8,5. Debido a los efectos buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono (CO_2 - HCO_3) y Amonio -Amoníaco (NH_4 - NH_3) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada (5).

Las desviaciones de los valores normales son indicativas de un fuerte deterioro del equilibrio entre las bacterias de la fase ácida y la metanogénica provocado por severas fluctuaciones en alguno de los parámetros que gobiernan el proceso (5).

5.5. Contenido de sólidos

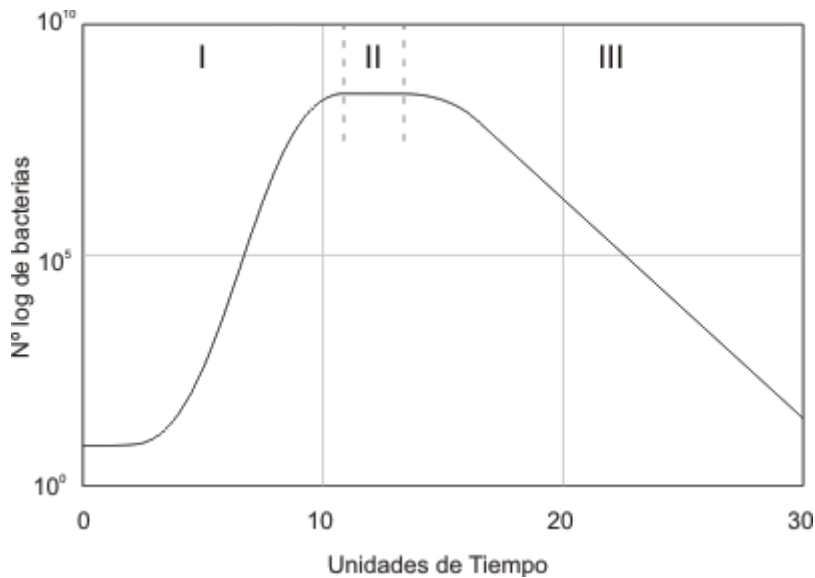
La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Por otro lado podemos encontrar en la literatura datos de producciones de gas importantes logradas en rellenos sanitarios con un alto contenido de sólidos (7).

En este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 8% y el 12% (7).

5.6. Inclusión de inoculantes

El crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque una curva típica.

Figura No. 2 Crecimiento bacteriano vrs unidad de tiempo



Fuente (7)

En la gráfica No.2 se pueden distinguir claramente tres etapas: La de arranque (I), la de estabilización (II) y la de declinación (III).

La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente (7).

Al llegarse en forma más rápida a la estabilización puede incrementarse la producción de gas por kg. de estiércol (7).

Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor es la proporción en que se agrega y la edad del mismo. Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad mayor será la eficacia (7).

5.7. Agitación - mezclado

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformizar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica (6,7).

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones: El proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente implicará una mema en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas (7).

Como conclusión en la elección de un determinado sistema se tendrá siempre presente tanto los objetivos buscados como el prejuicio que puede causar una agitación excesiva debiéndose buscar un punto medio óptimo (7).

Existen varios mecanismos de agitación utilizados desde los más simples que consisten en un batido manual o el provocado por la entrada y salida de los líquidos hasta sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas (7).

5.8. Inhibidores

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo (11).

Cuando es demasiado alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílica se inhibirá la digestión. También una elevada concentración de Nitrógeno y Amoníaco destruyen las bacterias metanogénicas (11).

Tabla no. 6 Inhibidores que afectan la producción de biogas

INHIBIDORES	CONCENTRACION INHIBIDORA
SO ₄	5.000 ppm
NaCl	40.000 ppm
Nitrato (según contenido de Nitrógeno)	0,05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
ABS (Detergente sintético)	20-40 mg/l
Na	3.500-5.500 mg/l
K	2.500-4.500 mg/l
Ca	2.500-4.500 mg/l

Fuente (11)

En el cuadro se dan valores de concentraciones de ciertos inhibidores comunes. Valores que se deben tomar como orientativos, puesto que las bacterias intervinientes pueden con el tiempo adaptarse a condiciones que en un principio las afectaba marcadamente (11).

5.9. Fermentación anaeróbica:

La *fermentación* es un proceso catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbico, siendo el producto final un compuesto orgánico. Estos productos finales son los que caracterizan los diversos tipos de fermentaciones.

Fue descubierta por Pasteur, que la describió como *la vie sans l'air* (la vida sin el aire). La fermentación típica es llevada a cabo por las levaduras. También algunos metazoos y protistas son capaces de realizarla.

El proceso de fermentación es anaeróbico ya que se produce en ausencia de oxígeno; ello significa que el aceptor final de los electrones del NADH producido en la glucólisis no es el oxígeno, sino un compuesto orgánico que se reducirá para poder reoxidar el NADH a NAD⁺. El compuesto orgánico que se reduce (acetaldehído, piruvato, ...) es un derivado del sustrato que se ha oxidado anteriormente.

Desde el punto de vista energético, las fermentaciones son muy poco rentables si se comparan con la respiración aerobia, ya que a partir de una molécula de glucosa sólo se obtienen 2 moléculas de ATP, mientras que en la respiración se producen 38. Esto se debe a la oxidación del NADH, que en lugar de penetrar en la cadena respiratoria, cede sus electrones a compuestos orgánicos con poco poder oxidante.

En la industria la fermentación puede ser oxidativa, es decir, en presencia de oxígeno, pero es una oxidación aeróbica incompleta, como la producción de ácido acético a partir de etanol.

Las fermentaciones pueden ser: naturales, cuando las condiciones ambientales permiten la interacción de los microorganismos y los sustratos orgánicos susceptibles; o artificiales, cuando el hombre propicia condiciones y el contacto referido

6. Café en Guatemala

El café en Guatemala es un cultivo de más de 150 años de historia. Con tantos años en la actividad económica de Guatemala, no es de extrañarse que por mucho tiempo este cultivo

haya sido, no sólo el más importante producto agronómico de Guatemala, sino también uno de los productos más importantes en la actividad económica de este país. De esa cuenta, el café ha dado empleo a más del 15% de los guatemaltecos, ha representado el 15% del PIB (Producto Interno Bruto) y ha sido generador de cerca del 30% de las divisas que ingresan al país (8).

Tabla no. 7 Producción de café en Guatemala

Departamento	Porcentaje producción total	Por ciento producido por pequeños prod.
San Marcos	18.9	14.8
Quetzaltenango	10.3	6.1
Suchitepequez	8.4	4.8
Solota	4.0	72.4
Retalhuleu	3.2	18.9
Guatemala	7.0	21.9
Chimaltenangp	6.1	11.6
Escuintla	3.8	14.3
Sacatepequez	2.3	22.3
El progreso	0.3	11.9
Santa Rosa	15.8	13.6
Jalapa	1.6	18.0
Jutiapa	1.1	39.0
Huehuetenango	7.0	35.6
Quiche	0.9	27.6
Alta Verapaz	6.3	210.0
Zacapa	1.7	34.6
Baja Verapaz	0.8	28.1
Chiquimula	0.4	59.4

Fuente (8)

6.1. La cosecha

El período total de cosecha de café se sitúa entre los meses de setiembre y abril, dependiendo de la altitud. De setiembre a diciembre se cosecha en las zonas bajas (hasta 1.000 metros), de noviembre a enero en alturas intermedias (hasta 1.400 metros) y de enero a abril se realiza la de mayor altura (más de 1.400 metros). Durante la cosecha, los productores realizan al menos cuatro cortes, de los cuales en el primero y el último se concentran los granos con mayores problemas de calidad. En los cortes intermedios, cosechan solo grano maduro. Parece ser que en los últimos años se ha registrado un deterioro en la selección de los granos cosechados. Entre las causas principales éste, se han indicado las siguientes:

- i) Los intermediarios pagan por volumen y no ponen tanta atención a la calidad del café recibido.
- ii) Incremento en la demanda de mano de obra por la expansión del área cultivada.
- iii) Aumento de la competencia en la compra de café.

El café cosechado en pequeñas propiedades parece ser el que tiene más problemas de calidad por heterogeneidad del grano. Algunos productores medianos y grandes mantienen la tradición de producir café de buena calidad (1).

7. Proceso de producción de café

Mediante el método de beneficio húmedo del café se obtiene un café de alta calidad física y de la bebida. Este proceso es fundamental para que el grano presente una buena apariencia y una calidad adecuada para su exportación (1).

Este método se emplea en cafetales extensos. Su empleo requiere grandes cantidades de agua y los consiguientes equipos de bombeo. Las principales etapas son la recolección selección, despulpe, secado (1).

Figura No.3 Extracción del grano del café



Etapas principales en el beneficio húmedo del café.

Fuente (1)

7.1. Colecta.

La recolección de café se le denomina "panaleo" o "corte". El café cereza es cortado a mano y luego transportado en sacos hasta los beneficios húmedos. Para garantizar la calidad del producto, se hace una selección final de los frutos de café. Con esta labor se desechan frutos todavía verdes, y así se asegura que sólo sean procesados los frutos que tienen el punto óptimo de maduración (1).

7.2. Despulpe.

En esta etapa los frutos cereza de café son despojados de la pulpa o epicarpio (figura 1). A fin de optimizar tanto el uso del agua como de energía, así como para mejorar el tratamiento de las aguas residuales y los subproductos orgánicos del café, hoy día se está promoviendo la conversión de beneficios tradicionales a beneficios húmedos ecológicos. Ello cumple el doble propósito de ayudar a la preservación del medio ambiente, y de no degenerar las cualidades intrínsecas del café (1).

7.3. Secado.

Esta operación se lleva a cabo en extensos patios, aprovechando la energía solar y generalmente termina el proceso en las llamadas maquinas secadoras (1).

8. Producción de biocombustible

El biocombustible es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa - organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos, tales como el estiércol de la vaca. La caña de azúcar, productora de bioetanol.

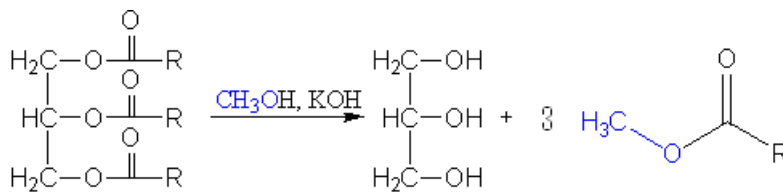
Los combustibles de origen biológico pueden sustituir parte del consumo en combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo o el carbón. Los biocombustibles más usados y desarrollados son el bioetanol y el biodiésel.

- El bioetanol, también llamado *etanol de biomasa*, se obtiene a partir de maíz, sorgo, caña de azúcar, remolacha o de algunos cereales como trigo o cebada. En 2006, Estados Unidos fue el principal productor de bioetanol (36% de la producción mundial), Brasil representa el 33,3%, China el 7,5%, la India el 3,7%, Francia el 1,9% y Alemania el 1,5%. La producción total de 2006 alcanzó 55 mil millones de litros.

- El biodiésel, se fabrica a partir de aceites vegetales, que pueden ser ya usados o sin usar.² En este último caso se suele usar raps, canola, soja o jatrofa, los cuales son cultivados para este propósito. El principal productor de biodiésel en el mundo es Alemania, que concentra el 63% de la producción. Le sigue Francia con el 17%, Estados Unidos con el 10%, Italia con el 7% y Austria.

El proceso comprende la reacción de transesterificación del aceite o grasa con alcoholes ligeros, utilizándose un catalizador adecuado, para dar ésteres de ácidos grasos. Químicamente:

Triglicéridos (grasas o aceites) + Alcohol (etanol o metanol) → Biodiesel + Glicerina



El alcohol que generalmente se utiliza es metanol, aunque pueden usarse otros alcoholes ligeros como etanol, propanol o butanol. Como subproducto se obtiene glicerina, que se puede utilizar en otros procesos de interés industrial, suponiendo un factor positivo desde el punto de vista económico.

La producción de Biodiesel o metil ésteres es bien conocida. Existen tres formas básicas de producir metil ésteres a partir de aceites y grasas

- Transesterificación con catalizador básico de un aceite con metanol.
- Esterificación con catalizador ácido de un aceite con metanol.
- Conversión del aceite en ácidos grasos, y luego en metil ésteres por catálisis ácida.

La mayoría de los metil ésteres que se producen en la actualidad se hacen con el primer método, porque es el más económico por varias razones:

- Es el de más baja temperatura y presión
- Tiene gran rendimiento de conversión (98%) con mínimos espacio y tiempo de reacción
- La conversión en metil éster es directa sin pasos intermedios
- No se necesitan materiales de construcción exóticos.

La reacción química se describe a continuación: 100 Kg. de grasa o aceite con 10 kg de metanol en presencia de un catalizador para dar 10 kg de glicerina y 100 kg de metil éster. El metanol se carga en exceso para apresurar la reacción y es recuperado luego para ser reutilizado. El catalizador es generalmente K-OH o Na-OH, el cual es previamente mezclado con el metanol para obtener metóxido de sodio. El proceso de producción de Biodiesel consiste en general, en los siguientes pasos:

8.1. Mezclado de metanol con catalizador.

El catalizador normalmente usado es hidróxido de sodio (soda cáustica). La soda cáustica se disuelve en metanol por simple mezclado. Se debe tener cuidado al trabajar con soda cáustica para asegurarse que esta no contenga agua almacenada. Esto podría causar aglutinamientos difíciles de disolver.

8.2. Subproducto de la fabricación de biodiesel:

En la actualidad, la glicerina se produce principalmente como producto secundario de la industria del óleo química (65%). De hecho, la glicerina constituye el subproducto mas importante de esta industria, (aproximadamente el 10 % de su producción total) , lo que aumenta la rentabilidad de los procesos óleo químicas.

La glicerina como subproducto de la producción de biodiesel a partir de grasa vegetal, se puede utilizar, para usos industriales y comercialización. Ya que la glicerina es relativamente limpia, por lo cual este tipo de subproducto no ocasiona un problema ambiental, mientras que la utilización de aceite usado para la producción de biogás tienen como subproducto una glicerina muy contaminada, por lo que representa un alto costo para la purificación y no se puede utilizar como combustible por que tiene una baja combustión, por lo que este tipo de glicerina si es un contaminante al ambiente por que en la actualidad no se tiene una manera viable para tratar dicho desecho.

V. JUSTIFICACION

Actualmente debido al alza del petróleo, se ha incrementado el costo de todos sus derivados, entre estos la gasolina, gas y electricidad, por lo que en la actualidad se realizan estudios para la producción de energía renovable como el biogás.

Además también se pretende tener energía de una manera limpia para poder afectar el ambiente lo menos posible.

El café es un producto de exportación de Guatemala produciéndose en todos sus departamentos, presentando diferentes características, por la altitud, tipo de suelo, temperatura, nubosidad y régimen de la región donde se cultivan, lo que genera una gran cantidad de pulpa de café, este desecho puede ser utilizado como abono orgánico.

Los desechos sólidos empiezan a ser útiles para la sociedad, ya que se utilizan para la elaboración de abono orgánico, pero el agua de la pulpa de café que se obtiene cuando se pela el grano de café y esta se desecha en desagües, ríos o vertederos generando un cambio al ecosistema y dañando el medio ambiente.

La producción de biogás en Guatemala se esta implementado para poder obtener un combustible de menor precio y menos contaminante, pero esto se hace a partir de la transesterificación de aceites usados para poder bajar costos, pero con el inconveniente que el aceite usado para la elaboración de biodiesel da como subproducto, glicerina contaminada por esto en la actualidad, no se utiliza y su proceso de purificación tiene un costo muy elevado que no es viable, por lo que se han generado investigaciones para el tratamiento de la glicerina a partir de la elaboración de biocombustible.

El proceso para generar energía se basa en biodigestores de biogás de fácil construcción y manejo, que utilizan como materia prima todo tipo de desperdicios, incluyendo residuos agrícolas (pajas, hortalizas) residuos animales (estiércol, líquido animal, vísceras). Con esta nueva forma de generar energía, lo que se busca es la creación nuevas formas de obtención de energía. La Asociación de Porcicultores de Guatemala indica que han reducido en Q90 mil sus facturas mensuales en ahorro de energía.

Si en el interior de Guatemala, las familias utilizarán un biodigestor para uso domestico se evitaría el corte de árboles, la contaminación del ambiente y se evitaria que las personas se enfermen por el humo producido por la quema de la leña. La instalación de un biodigestor (es el que produce la energía) podría tener un costo en el mercado de unos Q20 mil a Q90 mil en el área industrial. Mientras que para las viviendas oscilan entre Q2 mil y Q3 mil.

Por lo anterior este estudio pretendió darle utilidad a los desechos industriales, evaluar la factibilidad de producir biogás a partir de estos y darle un valor agregado a los desechos como la glicerina de biodiesel y agua de lavado de pulpa de café.

VI. OBJETIVOS

GENERAL

- Producir Biogás a partir del Agua de pulpa de café y glicerina.

ESPECIFICOS

- Elaborar un microbiodigestor de flujo discontinuo a nivel piloto con condiciones especificas a medir (pH, temperatura, agitación).
- Establecer las condiciones óptimas en el proceso de la fermentación (pH, temperatura, relación de sustratos).
- Medir el biogás, producido en un biodigestor de flujo discontinuo, utilizando como sustrato: agua de pulpa de café y glicerina en diferentes concentraciones.
- Determinar si la concentración de metales y parámetros fisicoquímicos en los sustratos afecta la producción de biogás.

VII. HIPOTESIS

Es posible producir biogás a partir de la fermentación anaeróbica de la mezcla del agua de pulpa de café con glicerina producida como subproducto en la elaboración de Biodiesel.

VIII. MATERIALES Y METODOS

A. Universo de trabajo

Estudio constituido por el desecho de agua de pulpa de café, proveniente del remojo de pulpa de café por un periodo de 2 días.

Se realizo en el primer experimento varias mezclas de los dos tipos de sustratos a temperaturas ambiente, presencia y ausencia de microorganismos conforme a la tabla No.8, a los cuales se realizaron análisis fisicoquímicos y de metales antes, y después de mezclar los sustratos.

Tabla no. 8 Experimento 1. Mezclas de sustratos en biodigestor discontinuo de 12 gl.

No.	Estiércol de cerdaza (L)	Glicerina (L)	Agua de pulpa de café (L)	Agua hervida (L)	Temperatura
1T	34.065	0	0	0	Ambiente
2T	11.355	7.570	0	15.140	Ambiente
3T	11.355	0	22.710	0	Ambiente
4T	11.355	0	7.570	15.140	Ambiente
5T	11.355	0	7.570	15.140	Ambiente
6T	11.355	3.785	3.785	15.140	Ambiente

Fuente: experimental

Después se estudiaron por separado los sustratos, y con temperatura idónea para el crecimiento de bacterias anaerobias de 45°C y con agitación para observar la mayor cantidad de metano en las diferentes muestras con respecto a el primer experimento, según tabla No. 9.

Tabla no. 9 Experimento 2. Sustratos por separados en biodigestor discontinuo de 1L

No.	Estiércol de cerdaza (L)	Glicerina (L)	Agua de pulpa de café (L)	Agua hervida (L)	Temperatura °C
1	0.400	0	0.300	0	45
2	0.400	0	0.200	0.100	45
3	0.400	0	0.150	0.150	45
4	0.400	0	0.100	0.200	45
5	0.400	0	0.050	0.250	45
6	0.400	0	0	0.300	45
7	0.400	0.300	0	0	45
8	0.400	0.250	0	0.050	45
9	0.400	0.200	0	0.100	45
10	0.400	0.150	0	0.150	45
11	0.400	0.100	0	0.200	45
12	0.400	0.080	0	0.220	45
13	0.400	0.060	0	0.240	45
14	0.400	0.040	0	0.260	45
15	0.400	0.030	0	0.270	45
16	0.400	0.020	0	0.280	45
17	0.400	0.015	0	0.285	45
18	0.400	0.010	0	0.290	45
19	0.400	0.005	0	0.295	45

Fuente: Datos experimentales

B. Materiales

1. Recursos Humanos

- Br. Oliver Michel Cajas Valdez
- Lic. Erick Giovanni Estrada Palencia, Asesor

2. Recursos Materiales

a) Institucionales

- Laboratorio de Analisis Inorganico, Facultad de CC. QQ y Famacia , Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Guatebiodisel

3. Equipo

- Biodigestor de Flujo discontinuo modificado
- Espectrofotometro UV visible marca HATC

4. Cristalería

- Tubos de ensayo
- Pipetas volumétricas
- Erlenmeyers de 500 mL
- Erlenmeyers de 1000 mL
- Pipetas de 1 ml con graduaciones de 0.01ml
- Pipetas de 5 ml con graduaciones de 0.1ml
- Pipetas de 10ml con graduaciones de 0.1ml
- Beakers de 500 ml

5. Reactivos

- Acido sulfúrico concentrado
- Tartrato de antimonil-potasio
- Heptamolibdato de amonio
- Ácido ascórbico
- Pirofosfato de sodio decahidratado p. a. de 100% de pureza
- sulfanilamida p.a. de 99% de pureza
- Persulfato de potasio
- Hidróxido de sodio

7. Otros

- Pipetores 10 y 30 ml
- Marcador permanente
- Papel pH
- Pizetas

C. Métodos

1. Determinación de nitrógeno total de aguas

1.1 Preparación de Patrones

Pesar 0.0626g de sulfanilamida p.a. de 99% de pureza y aforar a 100 ml. Esto es equivalente a 100.8152 ug N/ml. Diluya 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 ml/100 para preparar la curva de calibración.

Masa pesada _____ g [N] = 1610.8152 (Masa Pesada)

Concentración [N] _____ ug P/ml

Preparar 5 patrones de 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15 y 20 ppm

1.2 Reactivos para digestión:

Los reactivos listados a continuación son para 40 muestras en triplicado y 5 soluciones patrón.

Para la realización de la digestión de la muestra:

3.00 g → Persulfato de potasio

2.00g → Hidróxido de sodio → Aforar a 100.0 ml

1.3 Digestión:

En un tubo con tapón de rosca colocar 10 ml de muestra o patrones. Agregar 1.70 ml de hidróxido de sodio y 0.1252 g de persulfato. Digerir en autoclave a 15 psi durante 45 minutos.

Procedimiento:

1, Digerir las muestras es necesario llevar a cabo las lecturas de las muestras por medio del análisis de nitratos por método Hach. (Ver procedimiento Hach para nitratos) (4).

2. Determinación De Fósforo Total De Aguas

2.1 Preparación de Patrones

Pesar 0.0360 g de pirofosfato de sodio decahidratado p. a. de 100% de pureza y aforar a 100 ml. Esta solución equivale a 50.0150 ug P/ml. Diluir 1:10 y luego 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10:100

2.2 Reactivos para la determinación de fósforo total

Tabla no. 10

VOLUMNE	REACTIVO	AFORO	CODIGO
14.0 ml	Ácido sulfúrico concentrado	Aforar con agua destilada a 100 ml	((A)
0.0274	Tartrato de antimonil-potasio	10 ml de agua destilada	(B)
1.00 g	Heptamolibdato de amonio	25 ml de agua destilada	(C)
0.88 g	Ácido ascórbico	50 ml de agua destilada	(D)

Fuente: (4)

2.3 Procedimiento

1. Colocar 30 ml de muestra, patrones y blancos en tubos de ensayo con tapón de rosca de bakelita. Agregar 0.06 g de persulfato y digerir en autoclave durante 30 minutos a 121°C y 15 PSI (1 atm) de presión. Enfriar a temperatura ambiente y a 10 ml de estándares y muestra agregar 2ml del reactivo para revelar el color.
2. Preparar el reactivo revelador de color mezclando en el siguiente orden y con agitación 80 ml de A, 8 ml de B, 24 ml de C y 48 ml de D.
3. Leer a 880 nm (4).

3. Medicion Semicualitativa de Biogas

Cromatógrafo de gases agilent 6890

Columna:

HP-Plot/Q Porapak Q

largo 30 m

diametro 320 um

pelicula 20um

Horno

1. 60° C durante 2 minutos
2. 30° C /min hasta llegar a 240° C
3. 240° C durante un minuto
4. duracion de corrida 9 minutos

Puerto de inyección

1. gas acarreador nitrogeno
2. la temperatura 100° C
3. Presión cabeza de columna 13.9 psi
4. split ratio 12:1
5. split flow 23.8

Valvula de inyección

1. La temperatura de la valvula de inyección es de 60° C

Detector de ionización de llama (FID)

1. temperatura 250° C
2. flujo de hidrogeno 40 mL
3. aire 400 mL
4. Nitrogeno como make up 20 mL

Detector de conductividad térmica (TCD)

1. Teperatura 250 °C
2. Flujo de referencia 20 mL/min
3. Nitrógeno como make up 7 mL/min

Nota: los detectores fueron puestos en secuencia (TANDEM), la muestra pasa primero por TCD y luego por FID

4. Descripción de Análisis en equipo de Absorción Atómica de Llama

El análisis de absorción atómica se basa en el salto cuántico necesario para llevar a un electrón de un nivel de valencia a otro que sea superior. Puesto que para que se de este salto la energía del fotón incidente debe ser determinada. Si se posee una fuente de energía electromagnética continua en el rango visible y el UV cercano todos los elementos presentarán un espectro de líneas, esto es, ciertas longitudes de onda en las que el elemento absorberá la energía incidente, sin embargo, estas diferirán entre elementos, puesto que dependen de la

energía del nivel cuántico del electrón que cambia, el cual depende del número de la masa del átomo (11).

De esta manera se pueden aislar una serie de líneas de cada elemento, las cuales responden absorbiendo energía en solución de acuerdo con la ley de Beer – Lambert. De acuerdo a lo anterior se han desarrollado equipos provistos con fuentes para cada elemento (generalmente una lámpara catódica que utiliza la emisión del mismo elemento) y un detector fotomultiplicador, así como la óptica necesaria para realizar la medición. Estos equipos generalmente son de doble haz (11).

4.1 Atomización de la muestra

Las técnicas utilizadas en el análisis de absorción atómica difieren en su forma de atomización de la muestra. Los cuales se presentan a continuación:

Llama: Consiste en una llama de flujo laminar que utiliza un combustible y un oxidante para generar una llama en diversas condiciones a temperaturas superiores a los dos mil grados. La administración de la muestra a la llama se realiza mediante un nebulizador y una serie de deflectores.

Ablación electrotérmica: Se trata de una pieza de grafito pirolítico, el cual se encuentra conectado a resistencias electrotérmicas a las cuales se les administra una corriente según la temperatura a la que se quiera llegar (generalmente menores a 3000°C). La administración de la muestra se realiza mediante la deposición de una gota de muestra en la superficie de la pieza de grafito (generalmente conocido como horno de grafito)

Generación de hidruros/Vapor frío: El generador de hidruros se utiliza, como su nombre lo indica, en compuestos capaces de generar hidruros, por lo que esta restringido a elementos metaloides y sus cercanos. Consiste en una celda de calentamiento con entrada de flujo de un gas inerte portador de una mezcla del hidruro, que es producido *in situ* por un tratamiento de liberación de la muestra de la matriz y una posterior reducción con un generador de hidruros (el borohidruro de sodio es ampliamente utilizado). El mercurio es un caso especial en el cual no se utiliza un generador de hidruros, sino que se utiliza simplemente un reductor que lleva el mercurio a su estado elemental, el cual es ligeramente calentado para formar vapor elemental a bajas temperaturas (entre 25 y 100° C) (11).

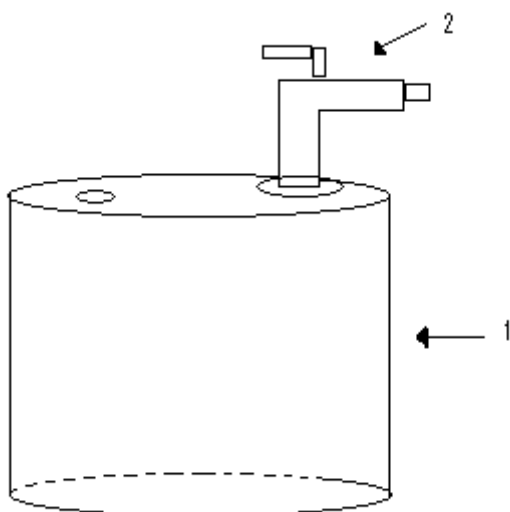
4.2 Preparación de la muestra

Aunque no forma parte del procedimiento de cuantificación como tal, la preparación de la muestra es parte clave del análisis, puesto que permite al analito liberarse de la matriz y llegar al estado necesario para su posterior identificación y cuantificación. Se puede realizar con varios equipos, que se utilizan según la técnica. Se puede utilizar una digestión húmeda tanto normal como acelerada por microondas para muestras bajas en carbohidratos y proteínas e incineración para muestras con matrices ricas en estos compuestos.(11)

5. Elaboración del biodigestor de flujo discontinuo y medicion del volumen de biogas

Se elaboraron dos tipos de biodigestores de flujo discontinuo, el primero con una capacidad de 12 galones ver Figura No.4, a estos sé les agrego la mezcla de sustratos según la tabla No. 8 y el segundo con la capacidad de un litro ver Figura No.5 séle agrego la mezcla de los sustratos según tabla No. 9. En los dos biodigestores se aseguro que no hubieran fugas del biogás, posteriormente se realizo pruebas a la llama y los biodigestores que dieran positivo se llevaron a analizar en el laboratorio para determinar cual tuvo una mejor producción de metano.

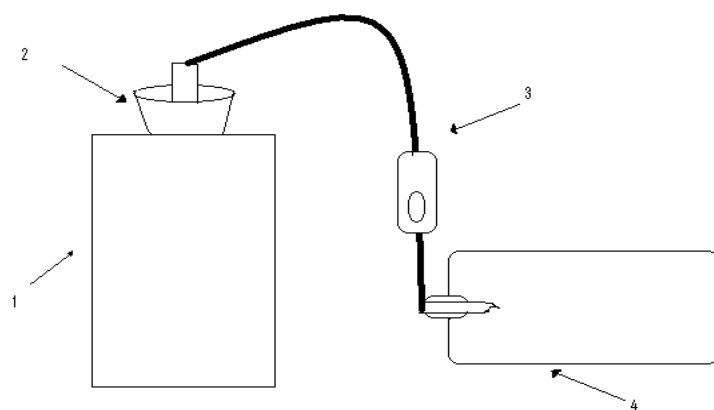
Figura No.4 biodigestor de flujo discontinuo de 12 galones



1 = llave de paso de gas

2 = tonel de metal

Figura No. 5 Biodigestor de flujo discontinuo de 1 L



1 = Litro plástico.

2 = Corcho de hule.

3 = manguera con venoset.

4 = medidor de volumen de biogás.

IX. RESULTADOS

Tabla No.11 Análisis Físicoquímico de sustratos

Análisis físicoquímico	Agua de lavado de pulpa de café	Glicerina
DQO	3,120 mg/L	N.D.
DBO	14.1 mg/L	N.D.
Nitrógeno Total	0.4 mg/L	132 mg/L
Fósforo Total	1.18 mg/L	3.70 mg/L
pH	7.17	6.93
Conductividad	146.7 μ S/cm	12,120 μ S/cm
Temperatura	19 °C	19 °C

Fuente: datos experimentales

Tabla no. 12 Análisis de Metales que pueden ser inhibidores en la producción de biogas en sustratos

Elemento	Agua de lavado de pulpa de café (mg/L)	Glicerina (mg/L)
Potasio	38000.00	3.8
Cobre	< 0.35	<0.35
Magnesio	< 0.35	< 0.35
Hierro	< 1.5	2.02
Calcio	3.61	< 2.0

Fuente: datos experimentales

Tabla no. 13 prueba a la llama en biodigestores de 12 galones

No. Experimento	Temperatura 75 días	Prueba de llama
1T	Ambiente	No
2T	Ambiente	Si
3T	Ambiente	Si
4T	Ambiente	Si
5T	Ambiente	Si
6T	Ambiente	no

Fuente: datos experimentales

Tabla no. 14 Prueba a la llama en biodigestores de 1 L

No.de Experimento	Temperatura °C 16 días	Prueba de llama
1	45	No
2	45	Si
3	45	Si
4	45	Si
5	45	No
6	45	No
7	45	No
8	45	No
9	45	No
10	45	No
11	45	No
12	45	No
13	45	No
14	45	Si
15	45	Si
16	45	Si
17	45	Si
18	45	Si
19	45	No

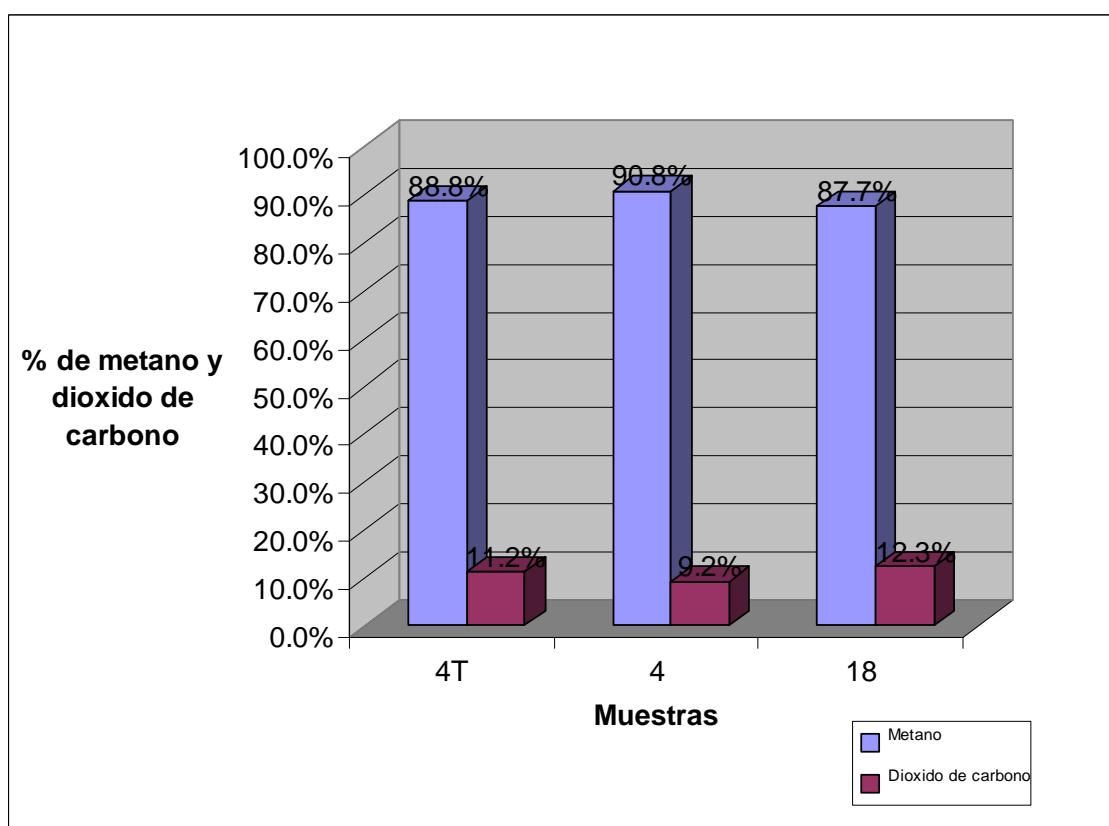
Fuente: Experimentales

Tabla no.15 Relación de metano y dióxido de carbono

No. DE MUESTRA	TCD 25u*Vs		Relación CO ₂ y CH ₄		% metano y dióxido de carbono	
	CO ₂	CH ₄	Dióxido de carbono	Metano	dióxido de carbono	metano
4T	385.15	3043.76	1	7.90	11.2%	88.8%
4	277.96	2732.57	1	9.83	9.2%	90.8%
18	335.16	2385.84	1	7.12	12.3%	87.7%

Fuente: datos experimentales

Figura No.6 Grafica de relación CH₄ y CO₂ por cromatografía de gases



Fuente: Datos experimentales

X. DISCUSION DE RESULTADOS

El biogás es una mezcla de gases formados a partir de material orgánico mediante la fermentación anaeróbica. En este estudio se utilizó como materia orgánica estiércol de cerdo el cual fue recolectado en una granja de cerdos donde su dieta es a base de concentrado. La glicerina fue obtenida del subproducto de la elaboración de biocombustible, la cual se tuvo que neutralizar con HCl porque estaba como glicerato, agua de lavado de pulpa de café y agua normal. Los sustratos que se utilizaron para el primer experimento (biodigestor de 1L) proporciones de sustratos según tabla No.8 y segundo experimento (biodigestores de 12 galones) proporciones de sustratos según tabla No. 8, fueron los mismos, a estos se realizaron análisis fisicoquímicos y de metales que son inhibidores para la producción de biogás como se puede observar en las tablas no. 11 y 12. Según los antecedentes todos los inhibidores están dentro de los parámetros, para favorecer el crecimiento bacteriano y de esta manera la reacción metanogénica dentro de los biodigestores, pero el potasio está elevado en el agua de lavado de pulpa de café ya que en el proceso de la elaboración de café a las plantaciones se les aplican fertilizantes que contienen potasio para una mejor producción. Además el biodiesel usa como catalítico KOH por lo que se encuentra presente en la glicerina.

En los dos experimentos se utilizó un volumen constante de estiércol de cerdo para que la concentración de microorganismos anaerobios metanogénicos fuera constante.

El primer experimento se llevó a cabo en un biodigestor de flujo discontinuo de 12 galones al cual se colocó una llave de gas, para poder tomar la muestra, como se puede observar en la figura no. 18. Se puede ver en la tabla No. 13 que las muestras 2T, 3T, 4T, 5T dieron positivas a la prueba de la llama a los 92 días a temperatura ambiente, lo cual no es viable ya que se pretende producir biogás en el menor tiempo posible. Se tiene que tomar en cuenta que en la época que se llevó a cabo el experimento (diciembre 2008 a febrero 2009) es una temporada muy fría que afecta el crecimiento de las bacterias y al proceso de metanogénesis por lo que se tienen que controlar la temperatura del biodigestor para una mejor producción de biogás con respecto al tiempo. Otro problema que afectó a la producción de biogás es que no hubo una agitación de los biodigestores por lo que las bacterias no utilizaban toda la materia orgánica.

En el segundo experimento se realizó a menor escala de (1L) observar Figura No. 21, 22 y se estudiaron los sustratos por separado como se observa en la tabla no. 14. También con los datos obtenidos en el primer experimento se determinó que la temperatura afecta en el tiempo

de obtención de biogás. En este segundo experimento se colocaron los biodigestores en un baño de maría a 45°C observar figura No. 20, lo cual ayudo a reducir el tiempo de producción de biogás a 15 días. Se escogió esta temperatura ya que esta es la optima para favorecer las bacterias para la metanogénesis. También se agito diariamente por cinco minutos para que la carga bacteriana estuviera homogénea y de esta manera fuera más efectiva la fermentación metano génica en todo el sustrato.

Después de que cada experimento diera positivo a la prueba de la llama según tabla No. 13 y 14, esta se llevaron a realiza un análisis cualitativo, los muestreadores en los dos experimentos fueron bolsas de pepxiblex de suero observar figura No. 24, las cuales se aseguro que no tuvieran fugas de biogás.

Las muestras se analizaron en un cromatógrafo Agilent 6890 con una columna HP-Plot/Q Porapak Q, y se corrieron en los detectores TCD y FID en forma secuencial. Se tiene que tener en cuenta que no es un análisis cuantitativo por que no se tenía un estándar de metano para comparar, ya que no se contaba con el recurso para adquirirlo y de esta manera poder cuantificar el metano de las muestras. Por lo que tuvo utilizar las áreas de los picos del las figuras No. 7 -16 y calcular las relaciones de los productos para determinar así los porcentajes de metano y dióxido de carbono respectivamente en cada una de las muestras.

Como se puede observar en la grafica No 6 y tabla No. 15 las muestras T4, 4 y 18 muestran un mejor porcentaje de metano y menor dióxido de carbono, debió a que las relaciones de sustratos que se usaron en cada una de las muestras fueron las mas adecuadas para ayudaron el proceso catabólico de oxidación dentro de los biodigestores.

XI. CONCLUSIONES

- Las condiciones optimas en el proceso de fermentación metanogenica fueron pH 7, temperatura 45°C , relación de sustrato 2 : 1 (agua hervida/ -agua de pulpa de café).
- El potasio fue un agente inhibidor de la metanogénesis.
- La mejor producción de biogás se obtuvo utilizando un rango de temperatura de 40 a 45 °C que a temperatura ambiente.
- No todas las mezclas de sustratos utilizadas generan biogás.
- El diseño de biodigestores utilizados, tuvo un desempeño aceptable, ya que ninguno presento fugas de biogás.

XII. RECOMENDACIONES

- Utilizar un estándar de gas metano para poder expresar resultados cuantitativos del biogás generado.
- Hacer una prueba a mayor escala con las condiciones que presentan un mayor porcentaje de rendimiento de metano.
- Determinar la concentración bacteriana óptima para producir biogás, con los sustratos de este estudio.
- Realizar un análisis del perfil de biogás para obtener porcentajes los elementos químicos presentes en el biogás.

XIII. REFERENCIAS

1. Camacho Nassa C. Caracterización de la cadena del café de Guatemala. Disponible en: www.grupochorlavi.org Fecha de revisión: 25 octubre 2007.
2. Castañeda Zamora HO. Guatemala 1984. Estudio comparativo entre diferentes digestores de alta productividad empleados en procesos de fermentación utilizando jugo de pulpa de café como sustrato. Universidad San Carlos de Guatemala. (tesis de graduación, facultad de ingeniería), 72p. (p.27-35).
3. Cofiño CR. 2004. producción de Biogás a partir de la cachaza en un asentamiento cañero. Disponible en: <http://www.energia.holguin.cu> Fecha de consulta: 3 de septiembre 2007.
4. Método Calorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001
5. Montanaro R. Producción de biogás en granjas porcinas en confinamiento Córdoba – Argentina. Disponible en: <http://www.engormix.com> Fecha de consulta 11 de septiembre 2007.
6. Pérez FR. Guatemala 1985. Metodología para la elaboración de un estudio de factibilidad técnico- económico para la construcción de biodigestores en una comunidad. Universidad San Carlos de Guatemala. (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería), 86 p. (p. 23 – 34).
7. Quindio Q. Colombia 2005. Biodigestores una alternativa a las autosuficiencias energetica y de biofertilizantes. Fundacion habitat, 33p. (p 3- 31).
8. Van Praag E. Guatemala 2004. Asistencia para desarrollar un servidor de mapas en internet para el mercado y certificación de café especiales en Guatemala,12 p. (p. 4 – 8).
9. Varnero Moreno MT. Producción de biogás y abonos en Chile. Proyección basada en materias primas y temperaturas atmosféricas. Disponible en: <http://www.methanetomarkets.org> Fecha de consulta 3 de octubre 2007.
10. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 20th. Edition 1998. 3111 B. Direct Air-Acetylene Flame Method.
11. Weiland SE. Estados Unidos 2001. Effect of substrate concentration and temperature on the anaerobic digestion of piggery waste in a tropical climate. *Process Biochemistry*, 489p. (p.237-241).

XIII. ANEXOS