

Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café

**Denisse Andrea Balseca de la Cadena
Juan Carlos Cabrera Bastidas**

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2011

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el
Grado Académico de Licenciatura

**Denisse Andrea Balseca de la Cadena
Juan Carlos Cabrera Bastida**

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2011

Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café

Presentado por:

Denisse Andrea Balseca de la Cadena
Juan Carlos Cabrera Bastidas

Aprobado:

Alejandra Claire, B.Sc.
Asesora principal

Arie Sanders, M.Sc.
Director
Carrera de Desarrollo Socioeconómico
y Ambiente

Arie Sanders, M.Sc.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

RESUMEN

Balseca, D. y Cabrera J. 2001. Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 20 p.

En este estudio se evaluó el potencial de producción de biogás a partir de estiércol de ganado, pulpa de café, aguas mieles y agua utilizando biodigestores tipo batch que son sistemas anaeróbicos discontinuos. Estos sistemas además de generar residuos líquidos y sólidos ricos en nutrientes, genera biogás que puede ser usado como combustible alternativo y reducir el consumo de combustibles fósiles y contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero. Como parte de la investigación se realizaron 12 pruebas en 4 repeticiones por cada tratamiento de las siguientes proporciones: tratamiento 1 mezcla de estiércol 40 %, aguas miel 20 %, pulpa de café 40 %, tratamiento 2 mezcla de estiércol 40 %, agua 20 %, pulpa de café 40 %, tratamiento 3 mezcla de estiércol 70 %, aguas 30 %. Para la realización del experimento se instaló un laboratorio de campo en la carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente de la Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. En cada tratamiento la toma de datos inició a los 15 días después del llenado de los biodigestores y se continuó durante 32 días, totalizando un tiempo de retención de 47 días. La producción de biogás fue medida utilizando un manómetro y se analizaron los datos usando un diseño estadístico completamente al azar. Este diseño consiste en la asignación de los tratamientos en forma completamente aleatoria a las unidades experimentales para comparar la producción de biogás generado por cada sustrato. Para cada tratamiento se analizaron los parámetros de pH, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales y sólidos volátiles tanto de los sustratos iniciales como de los finales, luego se procesó la información y se obtuvieron los siguientes resultados expresados como producción de biogás vs. Kilogramo de sustrato: 126.88 L de Biogás por kilogramo de estiércol, 128 L de biogás por Kilogramo de pulpa de café y 126.98 L de biogás por litro de aguas mieles, con un DQO removido de -17 % para el T1, 18 % para el T2 y 69 % para el T3.

Palabras clave: Aguas mieles, biogás, DQO, metano, pulpa de café.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4. CONCLUSIONES.....	13
5. RECOMENDACIONES.....	14
6. LITERATURA CITADA.....	15
7. ANEXOS	17

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Composición de gases del biogás.....	Error! Bookma
2. Porcentaje de sustratos y cantidad de experimentos por sustrato.....	5
3. Medidas para la producción de biogás para cada uno de los tratamientos.....	7
4. ANOVA (análisis de varianza).....	7
5. Relación entre la producción de biogás y temperaturas del biodigestor a temperatura ambientes.....	8
6. Producción de biogás por sustrato.....	11
7. Resultado por tratamiento al inicio y final del experimento.	Error! Bookma

Figuras	Página
1. Proceso de la producción de metano.....	Error! Bookma
2. Efecto de las temperaturas en la producción de biogás, tratamiento 1.....	8
3. Efecto de las temperaturas en la producción de biogás, tratamiento 2	9
4. Efecto de las temperaturas en la producción de biogás, tratamiento 3.	10
5. Producción de biogás diaria en L/Kg de sustrato.....	11

Anexos	Página
1. Análisis de laboratorio inicial de abonos líquidos (nitrógeno, carbono, fósforo).	17

2. Análisis de laboratorio final de abonos líquidos (nitrógeno, carbono, fósforo)..... 18
3. Análisis inicial de aguas residuales (demanda química de oxígeno). 19
4. Análisis final de aguas residuales (demanda química de oxígeno).
..... **Er**
ror! Bookmark not defined.0

1. INTRODUCCIÓN

La crisis energética mundial comenzó en el año de 1970, donde investigaciones llevadas a cabo en países desarrollados, proyectaban que los combustibles fósiles se estaban agotando. A pesar del agotamiento de los combustibles fósiles, se estaban presentando problemas en la calidad del ambiente debido a la emisión de compuestos tóxicos, producidos por el incremento del parque vehicular y de las plantas térmicas a nivel mundial. Las actividades antropogénicas tales como la deforestación y la agricultura, producen gases contaminantes como el dióxido de carbono y otros gases que son responsables del calentamiento global. A raíz de los problemas ambientales anteriormente citados, diferentes organizaciones han comenzado a buscar métodos de tratamiento y reciclaje de los desechos industriales y agrícolas (Chynoweth *et al.* 2001).

En Honduras el uso de energías alternativas ha sido un reto, desde principios de la década de los 90, dada la elevada demanda y la baja producción de combustibles fósiles. Esto ha obligado a Honduras a encontrar nuevas alternativas de producción de energía, y de esta forma no solo disminuir el consumo de combustibles fósiles sino también disminuir el impacto ambiental causado por los mismos (International Resources Group 2009).

Según el informe anual de la Secretaria Nacional de Recursos Naturales de Honduras SERNA (2005), las distintas formas de producción de energía han comenzado a dar un verdadero cambio en Centro América no solo por las grandes transnacionales sino también por las pequeñas y medianas industrias. De acuerdo a este informe las energías renovables con mayor auge en el país han sido la hídrica, la eólica y la solar aunque también citan algunas experiencias en cuanto a la producción de energía a través de biodigestores y sus beneficios en cuanto al tratamiento de aguas residuales de la producción ganadera.

El uso de la Biomasa (cultivos energéticos y desechos orgánicos) como fuente de energía representa un equilibrado ciclo cerrado del carbono con respecto al dióxido de carbono de la atmósfera. En investigaciones desarrolladas en varios países de Latinoamérica se demostró que resulta factible implementar proyectos de biogás ya que estos no necesitan una gran inversión en infraestructura y son más fáciles de construir en comunidades rurales donde la gente no tiene fácil acceso a las fuentes de energía (Lokey 2009).

El biogás puede ser un subproducto del tratamiento anaeróbico de desechos orgánicos y aguas residuales; optando por ser utilizado a nivel familiar para la cocción de alimentos, energía eléctrica o calentamiento de agua, y la producción de biol, compuesto generalmente utilizado como fertilizante orgánico. La composición promedio del biogás es dado por gases como el metano, dióxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno y sulfuro de

hidrógeno, siendo el metano el componente energético útil. La producción de combustible que realiza el biodigestor depende de la cantidad de metano a ser producido según el tipo de sustrato. En el Cuadro 1 se presenta cómo está distribuido el volumen de los gases dentro de un biodigestor (Herrero 2005).

Cuadro 1. Composición de gases del biogás

Componentes	% de volúmenes
Metano ()	55-65
Dióxido de Carbono ()	34-45
Nitrógeno ()	0-3
Hidrógeno ()	0-1
Sulfuro de Hidrógeno ()	0-1

Fuente: (Vera 1996)

Durante el proceso de producción de biogás intervienen bacterias anaeróbicas que se encargan de descomponer los compuestos orgánicos complejos. Para esto ellas deben de vivir en la ausencia de oxígeno. En este proceso como podemos ver en la figura 1 ocurren cuatro de fases (Drapcho 2008).

La primera fase es la *hidrólisis* donde el alto peso molecular de los polímeros insolubles como polisacáridos, proteínas y grasa son demasiado grandes para poder ser transportadas por la membrada de la célula bacteriana. En la hidrólisis se utilizan enzimas diferentes que son sintetizadas dentro de las células bacterianas en pequeñas cantidades y se secretan en el medio ambiente que rodea a la bacteria hasta que ellos entran en contacto con el polímero. Polisacáridos como la celulosa y la hemicelulosa son hidrolizados a glucosa y xilosa por enzimas de celulosa y hemicelulosa. La proteasa y lipasa hidrolizan las proteínas y lípidos a su constituyente amino ácido y ácidos grasos de cadena larga. Estos compuestos entran a la célula por transporte pasivo, una vez que la bacteria siente un incremento en la degradación del producto, los genes que producen esta enzima regulan un incremento en la cantidad de enzimas que están siendo secretadas por el ambiente. Así evitamos que la bacteria no gaste energía celular generando energía. La tasa de hidrólisis se mide por pH, composición de sustrato y tamaño de las partículas .

La segunda fase es la *acidogénesis* en este proceso comienza con la fermentación que es la transformación de monómeros de azúcar a piruvatos y ATP, estos son transportados por NADH. Luego esta bacteria de fermentación convierte el piruvato y amino ácido en una serie de cadenas cortas de ácidos orgánicos. Durante la reacción de fermentación, el NADH es oxidado para producir NAD, mientras que los intermediarios orgánicos de la vía de fermentación son reducidos

La tercera fase es la *acetogénesis* donde la bacteria acetogénica ayuda en la fermentación de ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Para que ocurra esto se debe de fermentar las cadenas cortas de ácidos orgánicos y ácidos grasos producto de la hidrólisis de los lípidos.

La cuarta y última fase es la metanogénesis aquí el metano es producido por dos caminos y por dos grupos microbianos diferentes. Este paso es el más importante porque los grupos microbianos utilizan acetato para remover la fuente de acidez y consumen hidrógeno para que pueda seguir creciendo la bacteria *syntrophic bacterium*, si esta deja de crecer las cadenas cortas de ácido orgánico se acumularán y se producirá una disminución de pH y el ambiente se vuelve desfavorable para el crecimiento de la bacteria metanogénicas.

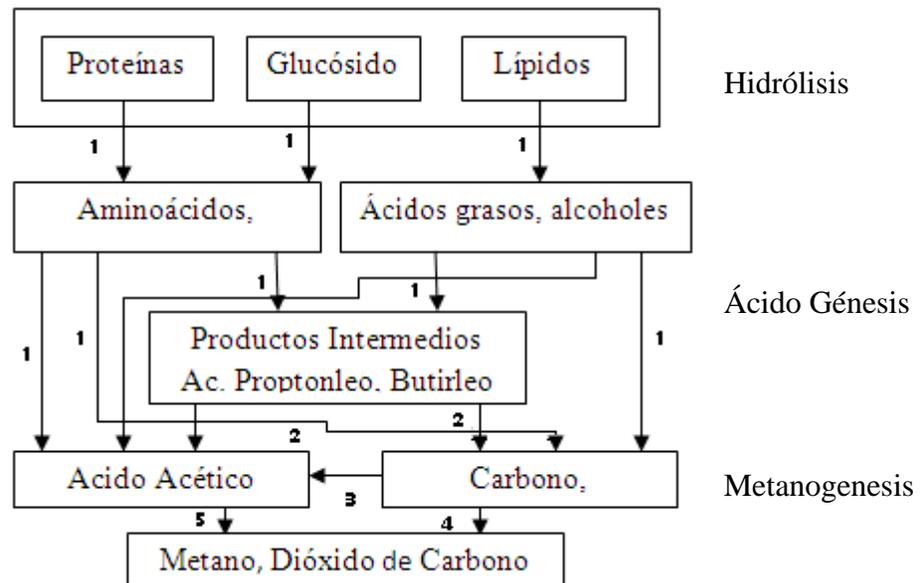


Figura 1. Proceso de la producción de metano.

Fuente: Aprovechamiento energético de residuos ganaderos (Flotas *et al.* 1997)

Por cada dólar que Honduras exporta 53 centavos son aportados por productos agrícolas. De acuerdo con un informe anual de IHCAFE, la producción de café se encuentra dentro del rango de los productos con mayor ingreso de divisas registrando en el 2010. De toda esta producción cafetalera, el municipio de Güinope ubicado dentro del departamento del Paraíso de donde se obtuvieron las muestras para la investigación, representa QQ 6,800 de café oro y de 10.40 de productividad QQ Oro/M, lo que le ubica dentro del departamento del Paraíso en uno de los principales proveedores de café oro para la región. Toda esta producción es generada no solo por la grandes compañías sino también por las medianos y pequeños productores de café del municipio (IHCAFE, 2009). Dado que el municipio de Güinope no posee obras de alcantarillado para el manejo de residuos industriales, la mayor cantidad de desechos y aguas mieles derivadas de la producción de café son vertidos en las fuentes de agua provocando altos índices de contaminación y malos olores durante la temporada de corte de café.

Los biodigestores plásticos son cámaras de digestión anaeróbica donde la descomposición de los desechos orgánicos se da por acción de las bacterias. Estas bacterias toman como alimento el carbono (para producir energía) y el nitrógeno (construcción de estructuras

celulares) y lo transforman para producir metano, anhídrido carbónico, monóxido de carbono y anhídrido sulfuroso. Esta tecnología procesa las excretas animales y vegetales para producir combustible (biogás) y abono orgánico (biol) (Herrera 2005).

El objetivo de este estudio consistió en identificar la producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café ejecutando cuatro repeticiones a partir de tres diferentes mezclas de sustrato. Se determinó la eficiencia del uso de aguas mieles de café para la producción de biogás en términos de cantidad de sustrato vs. biogás producido. También se verificó el potencial del uso de los biodigestores para: el tratamiento de aguas residuales mediante análisis de laboratorio de DQO, nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), coliformes totales (CT) y fecales (CF) al inicio y al final de la investigación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio del aprovechamiento de biomasa para producir energía se realizó en un laboratorio de campo montado en la carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Se utilizaron muestras de pulpa de café y aguas mieles recolectadas durante el mes de febrero en la zona cafetalera de Güinope, dado que la actividad cafetalera se intensifica en los meses de enero a marzo. Además se utilizó estiércol de ganado lechero (Zamorano) como fuente de inóculo de bacterias metanogénicas.

Se utilizaron biodigestores tipo batch que son tanques herméticos donde el biogás es producido en un medio anaeróbico. Este tipo de biodigestores, conocidos también como sistemas discontinuos; se basan en la teoría todo adentro todo afuera. Esto quiere decir que se carga de materia orgánica una sola vez y la descarga (biol) se efectúa una vez que se ha terminado de producir el gas metano (Botero 1987). Se utilizaron 12 biodigestores con capacidad de 18,92 litros cada uno. Se llenaron al 70 % de su capacidad y se sellaron con masilla epóxica para evitar fugas potenciales de biogás.

Antes de realizar los tratamientos se realizó una titulación para regular el pH a un rango entre 6.5-7.5 que es el que necesitan las bacterias metanogénicas para trabajar. Posteriormente se ajustó el pH a 7 diluyendo hidróxido de sodio en muestras de 500 ml de sustrato. Se realizó este proceso para mejorar las condiciones del medio donde se desenvuelven las bacterias, si el pH baja y se vuelve más ácido la acción de las bacterias metanogénicas puede inhibirse y, esto puede ocasionar el aumento de la proporción de gas carbónico en el biogás (Botero 1987).

Se construyó un manómetro con hojas milimetradas para medir la presión y volumen del biogás producido y así poder calcular el volumen de metano potencial generado por los diferentes sustratos. Se utilizaron tres combinaciones de sustrato con cuatro repeticiones, las cuales se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Porcentaje de sustratos y cantidad de experimentos por tratamiento

Tratamiento	Pulpa de Café	Aguas Mieleles	Agua	Estiércol
T1	40	20		40
T2	40		20	40
T3			30	70

Se midió la temperatura de los biodigestores con un termómetro electrónico de temperatura de superficies. Esta variable es necesaria tomarla en cuenta ya que la producción de biogás es directamente proporcional a la temperatura. La digestión anaeróbica se da a temperaturas de 30°C y 70°C, pero la mayor eficiencia de conversión de sustrato en biogás se obtiene en el rango mesofílico de 30°C a 40°C y termofílico de 55°C a 60°C.

Luego de regular el pH y tomar la temperatura de los sustratos se tomó una muestra de los tratamientos. Luego se procedió analizar las muestras al principio y al final del experimento en los siguientes parámetros: NPK realizados en el laboratorio de suelos de Zamorano; pruebas de sólidos volátiles, DQO (demanda química de oxígeno) y sólidos volátiles, realizadas por el laboratorio UNILAB de la universidad UNITEC; y los análisis de sólidos realizados en el laboratorio de aguas de la Carrera de DSEA.

Los análisis de relación Carbono: Nitrógeno fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de Zamorano. En un biodigestor esta relación debe ser óptima para el desarrollo de los microorganismos y bacterias responsables de la producción de metano, y debe estar comprendida entre los valores de 9:1 y 25:1 (Joannon 1983). De igual manera se conoce que una relación baja, es decir una cantidad excesiva de nitrógeno, causará que grandes cantidades de nitrógeno se produzcan en el biodigestor en la forma de amoníaco lo que hará que la presencia de metano sea mínima y no se tendrá una producción de gas para quemarlo como biocombustible.

Para el análisis de sólidos totales (ST) se tomó una muestra de 50ml de cada uno de los sustratos y se pesó junto al recipiente. Luego se metió al horno a una temperatura de 75°C con un tiempo de retención aproximado de 24 horas, hasta que la muestra se evaporó. Una vez evaporada, se pesó y se sacó el peso del total de los sólidos totales después de la evaporación de los compuestos líquidos. El análisis de sólidos totales permite medir principalmente la concentración de materia orgánica y la cantidad de sólidos totales en los biodigestores. Idealmente para tener una buena producción de gas los ST deben ser mayores al 33 % del compuesto o sustrato vertido (GTZ e ISAT s.f.).

El análisis de DQO en los biodigestores es un indicador de la calidad de agua, generalmente es usado para identificar si el sistema de tratamiento de agua esta funcionando, ya que nos indica si ha ocurrido un aumento o una disminución de contaminantes en los residuos. Según la Norma Técnica de Calidad de Agua de Honduras, el valor de este parámetro para ser vertido en la fuente debe ser inferior a 200 ml/L.

El análisis estadístico que se aplico para analizar la diferencia de medias de producción de biogás entre los tres tratamientos fue ANOVA (análisis de varianza), usando el programa de SPSS.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de un tiempo de retención de 47 días, la producción promedio diaria de biogás en el tratamiento 1 (aguas mieles, estiércol, pulpa de café) fue de 0.03 m³, en el tratamiento 2 (estiércol y agua) fue de 0.04 m³ y en el tratamiento 3 (estiércol y agua) fue de 0.03 m³ Cuadro 3).

Cuadro 3. Medias (\pm ds) para la producción de biogás para cada uno de los tratamientos.

Tratamientos	PB (m ³)	DE	pH	T (°C)	Días
T 1	0.03	0.04	6.86	30.33	47
T 2	0.04	0.04	6.88	30.78	47
T 3	0.03	0.04	6.90	30.62	47

PB = producción promedio diario de biogás; T = temperatura, T1 = mezcla de 40 % pulpa de café 20 % aguas mieles 40 % estiércol; T2 = mezcla de 40 % pulpa de café 20 % agua 40 % estiércol; T3 = 30 % agua 70 % estiércol. Tiempo de retención: 47 días.

La media de pH se encuentra en los rangos estimados de 6 a 7 y el rango de temperatura ambiente fue 30 C a 40 C, lo que indica que existió un medio ideal para la producción bacteriana.

Cuadro 4. ANOVA (análisis de varianza)

	Suma de cuadrados	Gl	Media de Cuadrados	F	Sig.
Entre Grupos	0.001	2	0.001	0.392	0.677
Dentro de los Grupos	0.237	138	0.002		

Gl= grados de libertad; F= estadístico de la prueba, Sig.= nivel de significancia.

Se aplicó la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA), obteniendo un valor de significancia de 0.677, mayor a 0.05, lo que indica que no hubo una diferencia significativa entre los tratamientos. Cabe recalcar que en los tres tratamientos hubo parámetros adecuados para que las bacterias pudieran actuar y poder producir biogás.

La temperatura en la producción de biogás fue uno de los parámetros más determinantes que se evaluó para la generación de biogás. En el Cuadro 4 se puede ver los valores de

temperatura de los biodigestores, temperatura ambiente máxima y mínima obtenida en los tratamientos T1, T2, T3 y como éstas han influenciado en la producción de biogás. Se observa que el tratamiento 1 (aguas mieles, pulpa de café y estiércol) obtuvieron valores cercanos al tratamiento 3 (agua y estiércol) y el tratamiento 2 (pulpa de café, agua y estiércol) produjo menos cantidad de biogás.

Cuadro 4. Relación entre la producción de biogás y temperatura del biodigestor y la temperatura ambiente para cada uno de los tratamientos.

Trat.	TB	TAP	TAMax.	TAMin.	Biogás(L)
T1	30.33	38	26	14.66	1.68
T2	30.78	38	26	14.66	1.4
T3	30.62	38	26	14.66	1.68

Trat.= tratamiento; TB= temperatura del biodigestor; TAP= temperatura ambiente promedio, TAMáx.= temperatura ambiente máxima, L = litros, TAMin.= temperatura ambiente mínima.

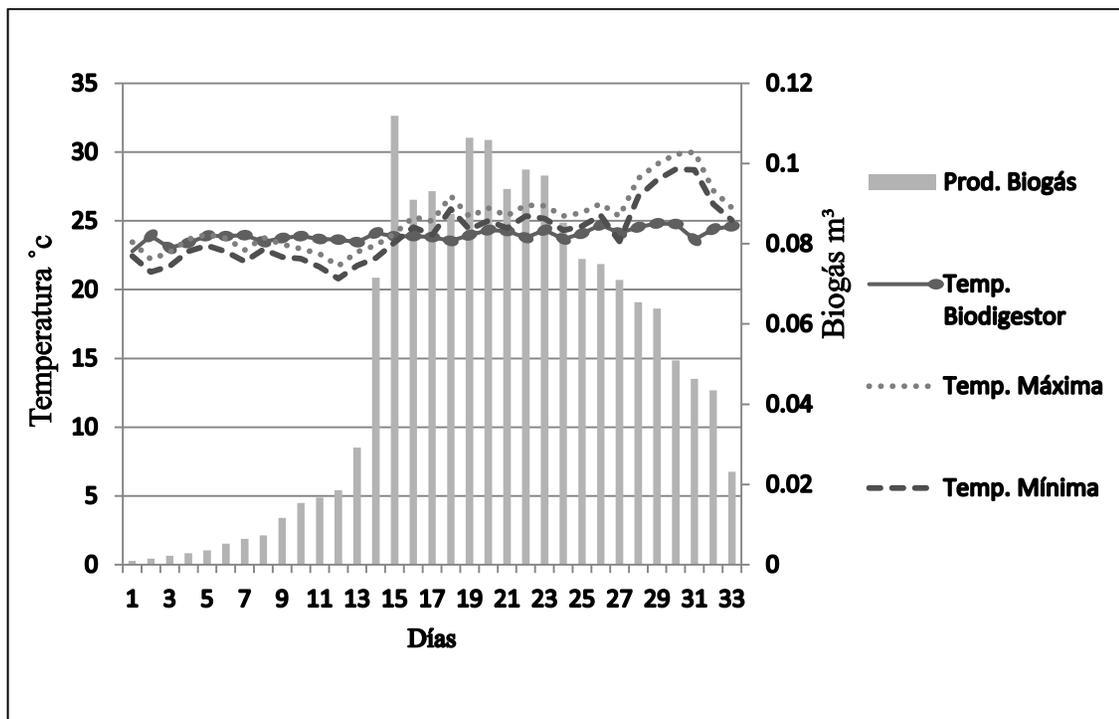


Figura 2. Efecto de las temperaturas en la producción de biogás para el tratamiento 1 (aguas mieles, pulpa de café y estiércol)

La producción de biogás incrementó entre los días 14 al 29, alcanzando niveles de producción de biogás mayores a 0.06 m^3 y luego comenzó a descender pero nunca llegó a

cero, sino manteniéndose en una producción de 0.02 m^3 . La temperatura del biodigestor obtuvo valores similares a la temperatura ambiente máxima y mínima, encontrándose en el rango de 25 C y 30 C (Figura 2).

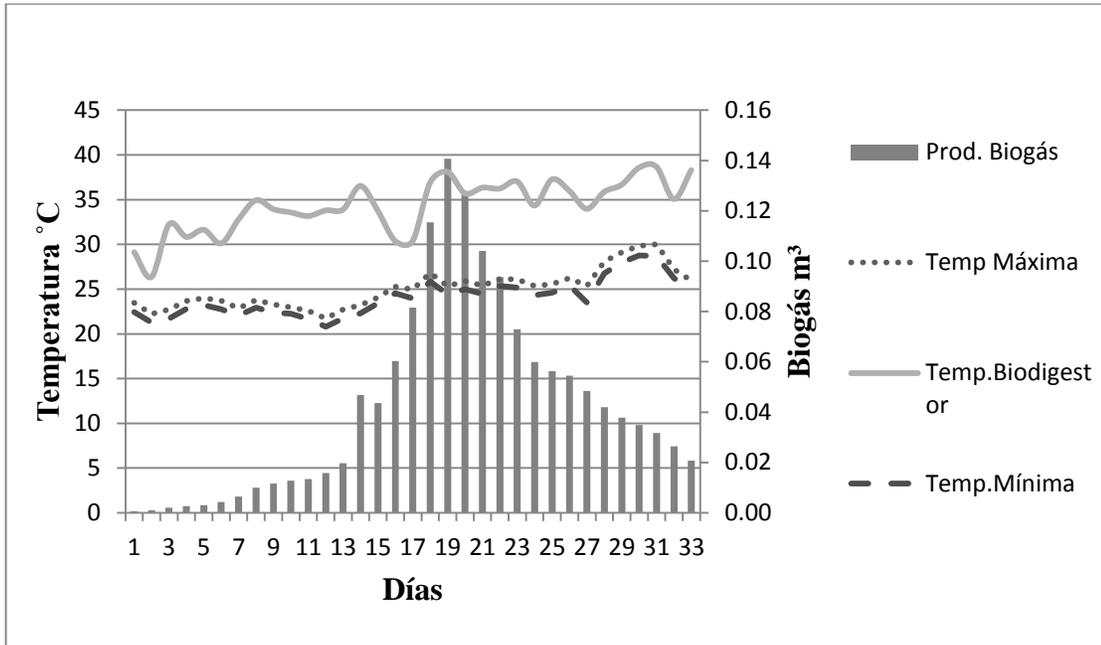


Figura 3. Efecto de las temperaturas en la producción de biogás, tratamiento 2 (pulpa de café, agua, estiércol)

En el segundo tratamiento se observó un incremento de la producción de biogás desde el día 16 al 25 (días 31 al 40 desde el inicio del experimento). A diferencia del tratamiento 1, la temperatura promedio de los biodigestores del tratamiento 2 fue mayor (30 C a 40 C) dado a la ubicación de los biodigestores en el laboratorio (la luz solar llegaba con mayor intensidad). Este factor produjo una temperatura media mayor por biodigestor, donde se obtuvieron picos más altos de producción de biogás durante los días 18 al 20, si afectó levemente el volumen total de biogás producido (Cuadro 4).

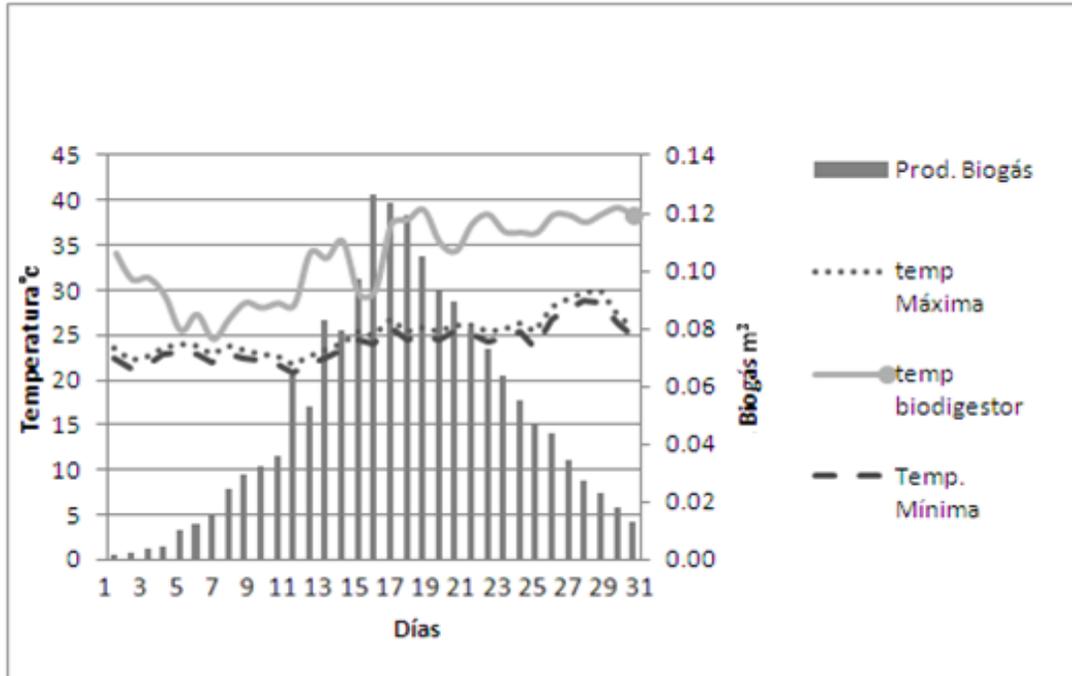


Figura 4. Efecto de las temperaturas en la producción de biogás, tratamiento 3 (agua y estiércol).

En la Figura 4 se observa que el tratamiento obtuvo la mayor producción de biogás desde el día 12 al 24 (días 17 al 39 desde el inicio del experimento) y produjo más de 0.12 m^3 de biogás/día. De igual forma la temperatura de los biodigestores fue más alta que la temperatura ambiente, esto se debe a que los biodigestores del tratamiento 3 tenían mayor acceso al sol y por ende un mayor incremento en su temperatura.

Al comparar la producción de biogás con la temperatura ambiente máxima y mínima, se observó que estas variables tuvieron un impacto en la producción de biogás. Se observó una relación directamente proporcional entre la producción de biogás y la temperatura ambiente entre los días 16 al 30 (31 al 45 de inicio del experimento). Sin embargo, como se encontró en estudios previos (Williamet *et al.* 1995), según cómo va avanzando el tiempo del experimento estos van incrementados y las cantidades empiezan a disminuir cuando la fase metanogénica ha concluido. La temperatura interna de cada biodigestor es mayor que la temperatura ambiente generado por la interacción de las bacterias, la transmisión calorífica y la transmisión de fluidos que afectan directamente al biodigestor elevando su temperatura a sus rangos metanogénicos (Figuras 2 y 4).

Cuadro 5. Producción de Biogás por sustrato

Sustrato	Producción (Litros de Biogás/Kg de sustrato)
Estiércol	126.88
Pulpa de Café	128.00
Aguas Mieles	126.98

En relación a la producción de biogás producido por kilogramo de sustrato, la pulpa de café produjo mayor volumen de biogás en comparación con los otros dos sustratos. De acuerdo a Dinsdale (1996), el contenido de metano que puede contener la pulpa de café varía entre los valores de 61 a 70 %, mientras que Botero (1987) y Ntengwe *et al.* (2010) reportan un valor de 50 % - 70 % de contenido de metano para el estiércol de ganado vacuno. Estos valores no indican que la producción de biogás fuera la misma en los tratamientos, ya que la producción de metano estará condicionada tanto al tipo de sustrato, como a la interacción de las bacterias en las diferentes fases que ocurren en el proceso de generación de biogás.

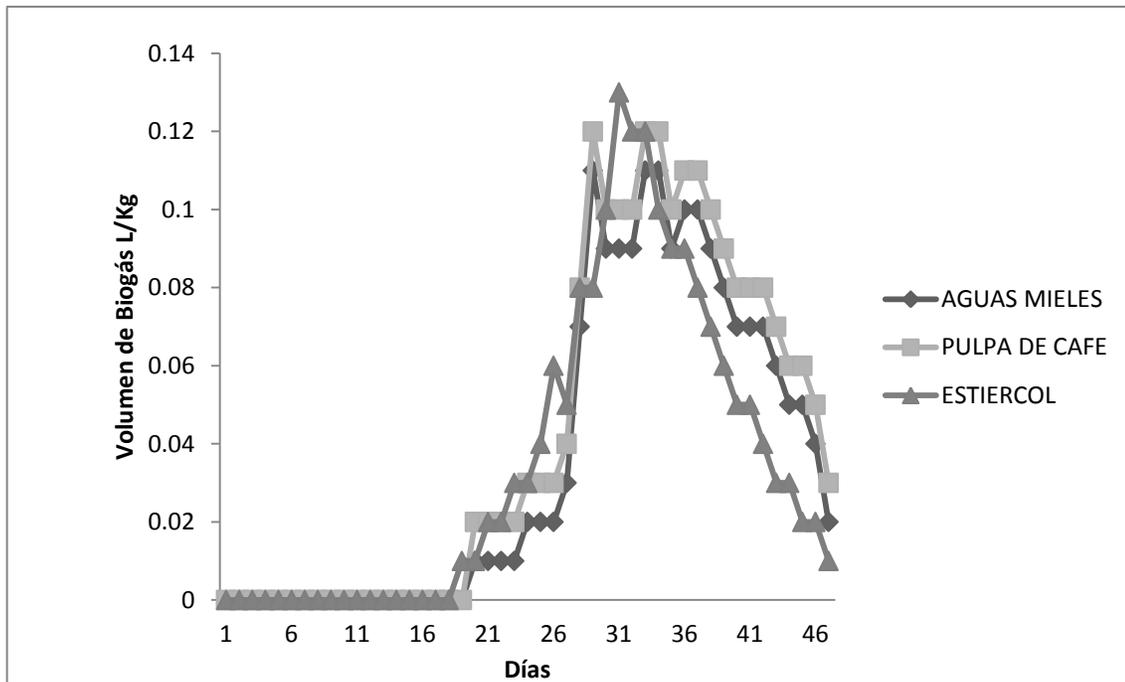


Figura 5. Producción diaria de Biogás en L/Kg de sustrato.

La producción de biogás está definida por la cantidad de sustrato, pero no se observaron diferencias en la producción de biogás entre los distintos tipos de sustratos (Figura 5), además aquí se puede ver que el error estándar de ± 0.04 en todos los tratamientos es igual, ya que no hubo gran diferencia en la producción de biogás, lo que nos dice que producir con ganado lechero y aguas mieles y pulpas de café es rentable para ganaderos y caficultores, con esto ellos están obteniendo una nueva fuente de energía y a su vez

reduciendo sus costos. Otros parámetros considerados en la producción de biogás fueron el efecto de la DQO, sólidos volátiles, sólidos totales y relación C:N.

Cuadro 6. Resultado tratamiento al inicio y final del experimento

	Inicial			Final		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
DQO (mg/L)	40,089	44,436	19,320	46,927	36,448	5,922
SV (mg/L)	4,013	38,420	56,290	28,465	16,438	3,600
pH.	7.0	7.0	7.0	6.2	5.9	6.4
C/N	3.82	8.22	1.17	14.05	8.79	9.98

Remoción	Tratamientos		
	T3	T2	T1
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	69 %	18 %	-17 %
Sólidos Volátiles (SV)	94 %	57 %	-103 %
Sólidos Totales (ST)	-0.35 %	-0.09 %	-0.20 %

Se observó que en el T3 (tratamiento con estiércol), hubo una remoción de DQO de 69 % a diferencia del T1 cuya remoción es negativa e indica que en vez de haber disminuido los contaminantes, estos aumentaron. Esto se debió a que al principio del experimento la pulpa de café al ser sólida no pudo homogeneizarse con el resto de sustratos causando que su DQO inicial sea menor a su DQO final y de -17 % de remoción. La remoción negativa significa que aumentó la carga orgánica del tratamiento 1 ya que la descomposición de la pulpa de café tarda 45 días en un medio anaeróbico (Clifford 1990). Esto se debe a las propiedades químicas que posee la pulpa. La lignina es un compuesto con polímeros insolubles que se encuentra en las paredes celulares de la pulpa de café, esta contiene 52 % de lignina y la hace resistente a la biodegradación bacteriana, además el exceso de su contenido reduce la digestibilidad de los polisacáridos fibrosos (Barahona 1999). Por estas características la cantidad de DQO al principio de la producción de biogás fue menor en relación a la DQO final. Este mismo efecto hace que haya un aumento de presencia de sólidos totales y volátiles en los análisis finales en la muestra T1.

En cuanto a los parámetros de DQO para el tratamiento T2 se obtuvieron porcentajes de remoción del 18 % lo cual son relativamente bajos aunque se acerca a los valores encontrados (Dindsdale 1996). Tanto el T1 como el T2 contenían pulpa de café. En cuanto a la relación carbono nitrógeno, en cada uno de los tratamientos observamos que se tiene una relación bastante baja al inicio del experimento. Sin embargo, los valores encontrados en las muestras finales, nos indican que las bacterias contaron con suficiente material disponible para la producción de biogás una vez que se inició el proceso de descomposición de la materia orgánica dentro de los biodigestores.

4. CONCLUSIONES

- Los tratamientos tenían una producción de biogás similar, demostrados en la prueba de ANOVA, donde el nivel de significancia fue mayor a 0.5, sin embargo esto no quiere decir que hayan producido igual cantidad de metano. No se descarta el uso de estos subproductos como el biol y estiércol como fuente energética y aprovechamiento de las materias primas en la actividad cafetalera, ya que de realizar un manejo adecuado (regulación de los parámetros en forma diaria), puede constituirse en una actividad rentable que ayuda a disminuir los costos de energía que tienen los caficultores mientras aprovechan sus desechos orgánicos.
- La producción de Biol generada por las aguas mieles y pulpa de café se las puede utilizar como bio-fertilizante en las fincas cafetaleras, esto da un resultado económicamente importante pues reduce la compra y consumo de productos químicos hechos con petróleo, además esto reduce los costos de producción. Hoy en día el mercado de insumos alimenticios está teniendo una tendencia hacia lo orgánico y natural.
- Con el uso de biodigestores se logra un porcentaje de DQO de 18 % y de 57 % de sólidos volátiles lo que hace factible para los caficultores el uso de este sistema como un sistema de reducción de las emisiones de contaminantes y tratamiento de agua, ya que está reduciendo el 18% de contaminación generada por la producción de café.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el laboratorio donde se encuentran los biodigestores tipo batch tenga una infraestructura cerrada donde se pueda controlar la temperatura con camisas temperadas a fin de regular ciertas variables que intervienen en el proceso de biodigestión. Estas camisas son recubrimientos de plástico o caucho dentro del cual existen varios tubos por los cuales circula agua para homogenizar la temperatura.
- Se recomienda el uso de recipientes con tapón hermético para que no existan fugas de biogás durante la realización del experimento. Igualmente, se recomienda la incorporación de un agitador o paletas de mezclado plástico dentro del biodigestor para que los gases contenidos entre las capas de los diferentes sustratos puedan ser medidos y así evitar la subestimación de la producción de biogás.
- Se recomienda picar la pulpa de café antes de ingresarla al biodigestor, además es necesario realizar una evaluación beneficio-costos de esta actividad frente a utilizarla directamente como abono orgánico.

6. LITERATURA CITADA

Aliaga, L. 2006. Evaluación de producción de biogás utilizando desechos porcícolas de Zamorano, Tesis Lic. Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 64p.

Barahona, R. 1999. Study of their nutritional impact Condensed tannins in tropical forage legumes: their characterization and from the standpoint Department of Agriculture, the University of Reading. 26p

Botero, R; Preston TR. 1987. Biodigestores de Bajos Costos para la Producción de Combustibles y Fertilizantes a partir de Excretas. Manual Para su Instalación, Operación y Utilización. Edición 1987. 20p.

Chynoweth, P; Legrand R. Owens M. 2001. Renewable methane from anaerobic digestion of biomass. Texas, United Estates. 8p.

Clifford N; Ramirez. J. 1991. Tannins in wetprocessed coffee beans and coffee pulp. Food Chem. 191-200p.

Draco Nhuan MP. Walker H. 2008. Biofuels Engineering Process Technology. México, Mexico DF. 371P.

FAO (Organization Food Alimentation) PNUD UNO. 1984. Curso Nacional de Biogás para Energía Rural. Secretaria de Recursos Naturales. Comayagua, Honduras. 48p.

Herrera T. ; Sobalvarro A. 2005. Construcción y uso de biodigestores tubulares plásticos, Guía técnica # 7. Universidad nacional agraria. Managua, Nicaragua. 22 p.

IICA (Centro Interamericano de Información Agrícola) y OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) .1981. Biogas .Quito, Ecuador. 174p.

Instituto Hondureño del Café, 1990. Manual del Café , Operación y Utilización. Edición 1997. 20p.

International Resources Group, 2009. Environmental Fabrics IncMethane to Markets. Monterrey, México Doc 3. 2p.

Lokey, E. 2009. Renewable Energy Project Development Under the Clean Development Mechanism: A guide for Latin America. Department of geography and the Enviroment, University of Richmont. Richmont, VA. 348p.

Medina, I. Luna, J. 2009. Estudio de pre factibilidad para el aprovechamiento del biogás con fines energéticos a partir del estiércol de ganado bovino en la Unidad de Ganado Lechero de Zamorano. Tesis Lic. Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 35p.

Moscoso, D. 2010. Potencial de la digestión anaerobia en la unidad de ganado lechero de Zamorano. Tesis Lic. Ing. Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 58p.

Savran, V. 2005. Una solución energética ambiental para reducción de contaminantes agropecuaria, como contribución al manejo integrado de la cuenca Zaza. Tesis M.Sc. Gestión Ambiental y Protección de los Recursos Naturales. Matanzas, Cuba, Universidad Camilo Cienfuegos. 64p.

Schullz, H. ; Miherleitner, H. 2002. Agricultural Biogas Plants and the use of slurry as Fertilizer in the Federa. Biogas Projector . Medetich, Alemania. 13p.

Shuzo, T. Toshio, K. Ken-ichi K.1998. Effects of thermo chemical pretreatment on the anaerobic digestion of waste activated sludge. Tailandia. 12 p.

Sosa, R. 199. Construcción y evaluación de un biodigestor tubular de polietileno. Tesis M.Sc Ciencias del Agua. Tegucigalpa, Honduras CNIC. DECA. 69p.

Silva, L. 1991. Desenvolvimento de un secador de café (*Coffea arabica*) intermitente de flujos contra-corrientes. M.Sc Tesis., MG, Brasil, Universidad Federal de Viçosa . 74p.

Vera, A. 1996. Fundamentos Básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos, Producción de gas y saneamiento de efluentes. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. 64 p.

Werner Kossman. 2000 .Biogas./ISAT at Information /Volumen I :4y 13p.

Williams, B.A; Tamminga, S. 1995. The use of cumulative gas production to determine the effect of steam explosion on the ferment ability of two substrates with different cell wall quality. J. Sci. Food Agric. 69p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de laboratorio inicial de abonos líquidos (nitrógeno carbono y fósforo)

ZAMORANO LABORATORIO DE SUELOS CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCION AGROPECUARIA

Zamorano tels. (504) 776-6140 al 50 ext. 2316 Fax: (504) 776-6242
Cel. 9969-6846

Fecha: 28 2011

Resultado de análisis foliar de

Procedencia de la muestra: ZAMORANO

Solicitante: Juan Carlos Cabrera DSEA

Metodos:

N: Metodo de Kjeldahl

K, Ca, Mg, cu, Fe, Mn, Zn: Digestion humeda con H_2SO_4 y H_2O_2 , determinados por Absorcion atomica

P: Digestion humeda con H_2SO_4 y H_2O_2 , determinado por espectrofotometria (colorimetria)

# Lab.	Muestra	%			
		N	P	K	R C/N
11-0-526	Abonos Liquidos (T1)	0.09	0.02	0.21	3.82
11-0-527	Abonos Liquidos (T2)	0.07	0.02	0.20	8.22
11-0-528	Abonos Liquidos (T3)	0.05	0.02	0.09	1.17
Rango Suficiente					

Anexo 2. Análisis de laboratorio final de abonos líquidos (nitrógeno carbono y fósforo)

ZAMORANO LABORATORIO DE SUELOS
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCION AGROPECUARIA

Zamorano tels. (504) 22872000 al 50 ext. 2316 Fax: (504) 776-6242

Cel. 9969-6846

Fecha de entrega: 18/Abril/2011

Solicitante: Alejandra Claire

Resultado de análisis de:

Procedencia de la muestra:

Metodos:

N: Metodo de Kjeldahl

% M.O. : Metodo de Walkley & Black

P: Solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetria

K, Solución extractora Mehlich 3, determinado por espectrofotometria de absorción atómica

# Lab.	Muestra	% mg/Kg (extractable)			
		N	P	K	R-CN
11-O-0842	T1	0.22	0.02	0.28	14.05
11-O-0843	T2	0.17	0.01	0.32	8.79
11-O-0844	T3	0.08	0.04	0.14	9.98

Rango medio	0.20	13.00
	0.50	30.00

Responsable: _____

Interpretación: _____

Anexo 3. Análisis inicial de aguas residuales (demanda química de oxígeno)

INFORME DE RESULTADOS No. 4771

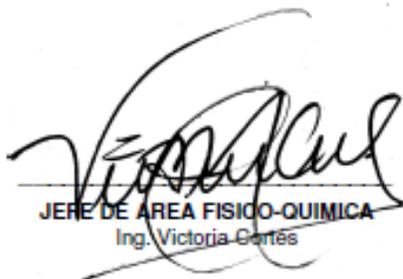
Identificación de muestra: AGUA RESIDUAL
 Tipo de muestra: AGUA RESIDUAL Cantidad: 1.5 L
 Procedencia: ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA EL ZAMORANO
 Dirección: EL ZAMORANO, VALLE DEL YEGUARE, CARRETERA DE ORIENTE
 Solicitado por: ING. ALEJANDRA CLAURE
 Responsable toma de muestra: LA EMPRESA DE PROCEDENCIA
 Lote N°: ----- Elaboración: ----- Vencimiento: -----
 Toma de muestra: 11/04/2011 Fecha ingreso: 11/04/11; 11:00 AM
 Fecha de análisis: 11/04/11 – 14/04/11 Fecha entrega: 15/04/11

Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
TRATAMIENTO 1 (ESTIERCOL-AGUAS MIELES-PULPA DE CAFE)			
Sólidos Totales Volátiles	28465,0 mg/L	N/A	-----
DQO	46926,8 mg/L	N/A	-----
TRATAMIENTO 2 (ESTIERCOL-AGUA-PULPA DE CAFE)			
Sólidos Totales Volátiles	16438,3 mg/L	N/A	-----
DQO	36448,0 mg/L	N/A	-----
TRATAMIENTO 3 (ESTIERCOL-AGUA)			
Sólidos Totales Volátiles	3600,0 mg/L	N/A	-----
DQO	5922,8 mg/L	N/A	-----
----- ULTIMA LINEA -----			

Descripción de la muestra: Líquido de color café con abundantes partículas en suspensión.

Condiciones de la muestra: La muestra se recibió a temperatura ambiente, en frascos plásticos proporcionados por el cliente.

Observaciones: * k=2 Límite de confianza 95% ** Referencia de valores normales al reverso. N/A = No aplica.


 JEFE DE AREA FISICO-QUIMICA
 Ing. Victoria Cortés


 DIRECCION TECNICA
 Ing. Victoria Cortés

Anexo 4. Analisis final de aguas residuales (demanda quimica de exigeno)

Código: RT-02
Quinta versión

INFORME DE RESULTADOS No. 4690

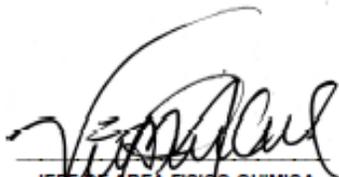
Identificación de muestra: AGUA RESIDUAL
 Tipo de muestra: AGUA RESIDUAL Cantidad: 1.5 L
 Procedencia: ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA EL ZAMORANO
 Dirección: EL ZAMORANO, VALLE DEL YEGUARE, CARRETERA DE ORIENTE
 Solicitado por: DENISSE BALSECA
 Responsable toma de muestra: LA EMPRESA DE PROCEDENCIA
 Lote N°: _____ Elaboración: _____ Vencimiento: _____
 Toma de muestra: 25/02/2011 Fecha Ingreso: 25/02/11; 4:15 PM
 Fecha de análisis: 25/02/11 – 03/03/11 Fecha entrega: 04/03/11

Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
T1			
Sólidos Totales Volátiles	14 013 mg/L	N/A	-----
DQO	40 089 mg/L	N/A	-----
T2			
Sólidos Totales Volátiles	38 420 mg/L	N/A	-----
DQO	44 436 mg/L	N/A	-----
T3			
Sólidos Totales Volátiles	56 290 mg/L	N/A	-----
DQO	19 320 mg/L	N/A	-----
----- ULTIMA LINEA -----			

Descripción de la muestra: Líquido de color café con abundantes partículas en suspensión.

Condiciones de la muestra: La muestra se recibió bajo condiciones de refrigeración.

Observaciones: * k=2 Límite de confianza 95% ** Referencia de valores normales al reverso. N/A – No aplica.


 JEFE DE ÁREA FÍSICO-QUÍMICA
 Ing. Victoria Cortés


 DIRECCIÓN TÉCNICA
 Ing. Victoria Cortés