

Estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos orgánicos

Lester Alí Toruño Sotelo. lestherali08@gmail.com

Edinso Israel Lira Ruiz. edinsolira94@gmail.com

Dina Massiel Casco Dávila. massydina90@gmail.com

Edwin Antonio Reyes Aguilera edwinra11@yahoo.es

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito desarrollar un estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir del aprovechamiento y caracterización de diversos sustratos orgánicos. Este estudio se rige por el enfoque filosófico cuantitativo, según su nivel de profundidad y conocimiento es del tipo descriptivo, correlacional. Los instrumentos utilizados fueron: formato de registro de la producción de biogás y recolección de datos, hornos eléctricos, balanzas analíticas, termómetros, pH metros. Los resultados demostraron que el sustrato orgánico de Caballo y Cerdo son mejores en cuanto a sus sólidos volátiles, el sustrato de gallinaza que en la prueba presento un bajo nivel de volatilidad. Las medias de pH, temperaturas obtenidas indica que los biodigestores estaban operando con parámetros correctos; el sustrato que presenta mayor volumen de biogás generado, corresponde al de codigestión (sustratos Caballo-Ganado), en el análisis DBO₅ la gallinaza y el efluente del biodigestor con sustratos de cerdo requieren una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua. Se concluye que el biogás generado en la fermentación de los sustratos estudiados puede utilizarse en estufas convencionales, como una forma de energía sustentable que funcionan a base de dicho combustible.

Palabras clave: Biogás, Biodigestores, Anaeróbica, Sustrato orgánico

La producción de biogás por fermentación anaerobia es una práctica muy antigua, Rodríguez (2013), en el contexto histórico de la producción de biogás relata que desde el 3000 A.c los sumerios practicaban la limpieza anaerobia de residuos por lo que el uso de desechos es un tema antiguo de miles de años. Otro dato importante es que la primera anotación científica sobre el biogás se atribuye a Jam Baptista Van Helmont en la primera mitad del siglo XIX, quién determinó que de la descomposición de la materia orgánica se obtenían gases inflamables que sustentó el estudio de Chirley¹ sobre los incendios de los pantanos de la India donde se concentraba grandes cantidades de biogás.

En el contexto Nacional del país se han ejecutado diversos proyectos de producción de biogás en las zonas rurales de Nicaragua, un ejemplo de ello es Asofénix², que en conjunto con productores de comunidades rurales de Teustepe y San José de los Remates instalaron en conjunto más de 500 biodigestores para aprovechar el estiércol de ganado y mejorar las condiciones de vida de las personas y de esta manera reducir un poco la presión ejercida sobre los bosques de la zona. (Asofénix, 2008)

El presente trabajo investigativo aborda el proceso de producción de biogás a través de la evaluación de diversos sustratos orgánicos (excrementos de ganado, caballo, cerdo, gallinaza). Como investigadores en el campo de las energías renovables es una prioridad el investigar y aplicar nuevas fuentes alternas de energía para contribuir al desarrollo sostenible del país y también es una temática de interés regional.

En Nicaragua las principales actividades económica son la agricultura y la ganadería, dichas actividades económicas generan gran cantidad de residuos orgánicos que en gran parte no son aprovechados, entre los que se destacan los frutos en mal estado, la cascara de las verduras, residuos de la ganadería entre otros, en algunos casos uso se limita a la producción de abono orgánico para los cultivos agrícolas, estos se debe en algunos casos a la falta de información que promueva la tecnología de biogás o la cultura de no querer utilizar gas producido con residuos.

Actualmente el país está siendo afectado por graves problemas ambientales, Incer (2016) manifiesta que el país está perdiendo su cobertura forestal el cual atribuye como una de las causas principales el despale indiscriminado de los bosques naturales, también recalca que la leña continúa siendo el principal combustible de la mayoría de la población nicaragüense todo atribuido a los bajos ingresos de la población y por ende no puede hacer uso de los combustibles fósiles sin talar los bosques .

Así mismo, expone el caso significativo de la reserva natural de Bosawas que tiene una longitud de 30,000 km² y que ha perdido 970.8 km² de bosque, estas situaciones y otras a Nivel Nacional se reflejan en los suelos erosionados, la sequía provocados por el cambio climático que hoy en día afecta el planeta tierra.

Otra problemática es el manejo de los residuos orgánicos, ya que hay situaciones donde estos están cerca de los poblados lo cual afecta a la población causando graves enfermedades respiratorias, al no darle el tratamiento adecuado a los residuos de origen animal, esto causa graves problemas ambientales por la descomposición química de estos.

Los recursos con que cuentan fundamentalmente las poblaciones tanto rural y urbana son diversos; sin embargo, en gran proporción no son aprovechables; uno de ellos es la biomasa que es aprovechada en un mínimo porcentaje (abono orgánico o combustible); Este puede constituirse en una alternativa de generación de energía para estas poblaciones aprovechando los residuos orgánicos de las diferentes actividades agrícolas y de los residuos orgánicos del hogar.

Con la constante subida de los precios de los combustibles fósiles, unido a la crisis medioambiental que se genera, se vuelve a valorar la utilidad de los desechos orgánicos y su aprovechamiento para obtener combustibles de ellos. De esta manera empieza a entenderse así lo poco sensato que resulta importar o extraer combustibles fósiles de zonas remotas para obtener una energía la cual puede conseguirse en buena medida de los materiales que desechamos habitualmente.

La producción de biogás a partir de diversos sustratos orgánicos como excrementos de animales, desechos cárnicos, cascara de frutas y verduras o descomposición de estas , tiene como como propósito coadyuvar la reducción de gases que provocan el efecto invernadero del planeta, pero también es una alternativa que permite obtener energía para cubrir las necesidades de combustible en los hogares sobre todo de la zona rural de nuestro país, en granjas pecuarias y resolver problemas como la disposición final de desechos, malos olores, fauna nociva, transmisión de enfermedades y contaminación de mantos freáticos. Además de que se puede obtener biofertilizantes a partir de los lodos residuales.

Con esta investigación se pretende evaluar el potencial energético generado en diferentes sustratos orgánicos y de esta forma puedan implementarse tecnologías para reducir los despales indiscriminados generados por el alto consumo de leña, así mismo permitirá reducir enfermedades y por ende contribuir a la calidad de vida de las personas.

Así como también la presente Metodología de caracterización y evaluación servirá de base para futuros investigadores en esta línea de investigación que es esencial en el campo de las energías renovables.

Trabajo de campo

OE1. Caracterizar las propiedades básicas de la materia orgánica que permita la determinación de la energía que se puede obtener en el proceso de conversión.

La caracterización de las propiedades básicas de la materia se basa en la norma UNE 77030:1982, esta nos da las pautas para establecer la relación causa y efecto de los sustratos a evaluar a través de la periodicidad de la realización de los experimentos, y el contar con una normativa de evaluación es esencial en el estudio de un fenómeno, con una serie de pasos por lo que se llega a percibir mayor objetividad en el proceso de investigación, un componente esencial para el investigador.

- **Determinación de sólidos volátiles:**

Primeramente, se pesaron los sustratos orgánicos (cuatro muestras de 100g cada una) que posteriormente se introdujeron a un horno eléctrico en capsulas de porcelana, a una temperatura de 105°C durante un tiempo que oscila entre 18 a 24 horas, se realizaron cuatro repeticiones para poder establecer con un grado de confianza la relación causa y efecto lo que se logra a través de la periodicidad de las mediciones.



Figura 1. Sustrato a 105°C

Luego se enfriaron a temperatura ambiente y posteriormente se aplicó el proceso de pesado en la balanza analítica para conocer el porcentaje de humedad y masa seca respectivamente, para luego ser introducida nuevamente en el horno a una temperatura de 550°C durante 6 horas. Una vez concluido el proceso de secado se procedió a la extracción de las muestras, pesándolas para conocer el porcentaje de cenizas y el contenido de sólidos volátiles presente en las muestras.

El porcentaje de humedad: se determina mediante la siguiente ecuación N°1.

$$M_b = M_h + M_s$$

ec.1

Donde: M_b es la masa bruta o total, M_h masa húmeda, M_s masa seca. El secado a 105 °C durante 18 h se realiza para asegurar la evaporación del agua contenida en el material. A partir de la ec.1 se determinan los porcentajes contenidos de masa húmeda, que se pierde por evaporación tras el secado, y de masa seca, por medio de:

$$M_{rh}\% = \frac{M_h}{M_b} * 100\% \quad \text{y} \quad M_{rs}\% = \frac{M_s}{M_b} * 100\% \quad \text{ec. 2}$$

- **Determinación de las cenizas:**

Para realizar este procedimiento se necesitan temperatura mayor o igual a 550°C en dicho horno donde se rompen los enlaces de la materia orgánica, pasando por un proceso de pirolisis, hasta su gasificación casi total.



Figura 2: Sustrato a 550°C

Al suceder el proceso de determinación de cenizas, la masa se separa en dos partes: sólidos volátiles y cenizas. Cabe destacar que durante la gasificación de la materia las cenizas quedan, y los sólidos volátiles se escapan en forma de gas. Una vez finalizada la combustión del material se procederá a medir la masa de la ceniza. La diferencia a la masa seca menos la de cenizas es la masa de sólidos volátiles:

$$M_{sv} = M_s - M_c \quad \text{ec. 3}$$

Una vez encontrado los porcentajes de contenido de la masa se calculan los pesos para los sólidos volátiles y las cenizas en base seca por medio de la siguiente ecuación:

$$M_{rsv}\% = \frac{M_{sv}}{M_s} * 100\% \quad \text{y} \quad M_{rc}\% = \frac{M_c}{M_s} * 100\% \quad \text{ec. 4}$$

OE2. Evaluar los parámetros ambientales y operacionales de funcionamiento en el proceso metanogénico de la producción de biogás.

Una vez cargado los biodigestores con su respectiva mezcla y relaciones se procedió la medición de los parámetros que se menciona a continuación.

- **Grado de Acidez:**

Recolectando líquido de la mezcla a través de la válvula que se situará en la parte inferior del biodigestor portátil, se introduce el instrumento digital PH-metro. Para ver en qué valor está ya que el valor óptimo para la digestión metanogénica es de 6.5 a 7.5, cuando baja de 5 o sube de 8 puede inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo.



Figura 3: Medición de pH

- **Rango de Temperatura:**

Para la obtención de los datos de este parámetro se dispuso de un termómetro digital insertado directamente en la parte superior del biodigestor para conocer el régimen de operación de los biodigestores, si es Psicrófilas Menos de 20°C, Mesófilas Entre 20°C y 40°C, Termófilas más de 40°C.



Figura 4: Medición de temperatura

La única manera disponible para analizar el biogás fue quemarlo se hizo la prueba de la llama en una cocina que se encuentra en el área solar, Una vez en combustión debe apreciarse la llama color azul, lo que nos indicará la existencia de metano en el biogás producido debido a que la combustión



Figura 5: Prueba de la llama

con exceso de oxígeno es en general completa y si es lo contrario es un gas de mala calidad.

La llama de los artefactos es el signo visible de una reacción química donde el gas natural se combina con el oxígeno y produce energía calorífica al iniciarse la combustión desde una fuente de ignición. (Organización Marítima Internacional (OMEI), 2011)

A la vez la OMEI (2011) afirma que si la llama es de color azul (intenso en el centro y más claro en el exterior), indica la combustión correcta del gas. Si es amarilla o naranja, indica la presencia de monóxido de carbono ya que el fluido se quema en forma incorrecta.

En cuanto a los análisis físicos químicos estos se realizaron en el Laboratorio de Capacitación y Desarrollo Ambiental (CIDEA) de la Universidad Centroamericana (UCA), trabaja con un sistema de Gestión de la Calidad basado en la NTON 04 001-01, equivalente a la ISO/IEC 17025 aplicada por los laboratorios de ensayo y calibración con el objetivo de demostrar que son técnicamente competentes y que sus resultados son veraces. La prueba de demanda bioquímica de oxígeno es una prueba que permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores y se realiza en un periodo de 5 días.

Para la recepción de las muestras primeramente se extrajo un litro de agua residual de los cuatro sustratos mencionados anteriormente, con su respectivo envases sellados y colocados en un termo con hielo para mantener la calidez de las misma y entregarla en un período estipulado antes de las 24 horas.



Figura 6: Extracción de las muestras

OE3. Determinar la producción de biogás de los diversos sustratos orgánicos en función del rendimiento de cada una de las muestras que se sometan a dicho proceso.

Esta etapa consistió en la construcción de la unidad experimental que consta de 5 biodigestores, con capacidad de 20 litros, en cada uno de ellos se perforó la parte frontal y se conectó una válvula de seguridad, además cuenta con una línea de entrada y sus respectivas llaves de abre y cierre tanto para la carga y descarga de los biodigestores.

Para el almacenamiento del metano se colocó un sistema de manguera que va conectado al neumático, cada uno de ellos de manera independiente, cabe destacar que cada una de las líneas cuenta con un filtro de purificación de gas para que la llama sea volátil ya que si no se coloca el filtro esta es de color amarillo siendo un gas de menor calidad con una combustión incompleta.



Figura 7: Unidad Experimental

Una vez contruidos los biodigestores, se procedió a la recolección de los sustratos orgánicos estos se encontraron en pequeñas fincas cercanas a la Ciudad de Estelí procedente de las actividades Ganadera, crianza de cerdo y de gallinas, lo que facilitó la obtención de la misma y por ende un sustrato fresco para facilitar la digestión anaerobia.



Figura 8: Recolección de los sustratos

Para cargar los reactores de materia orgánica tipo batch se procedió a aplicar las relaciones de (sustrato agua) con valores específicos que se determinaron una vez iniciado la fase experimental. Se aplicó la relación 2:1, es decir por cada 2 kilogramos de sustrato, un litro de agua, los reactores tienen capacidad de 20 litros, se utilizó el 75% para la cámara gaseosa y el 25%



Figura 9: Llenado de los reactores

(almacenamiento de biogás), cuya relación se describe a continuación:

- Muestra 1: Se agregó 15 libras de estiércol de ganado más 7 litros de agua.
- Muestra 2: Se le agregaron 15 libras de estiércol de Vaca más 7 litros de agua
- Muestra 3: Una codigestión de 7 libras de estiércol de caballo más 8 libras de estiércol de vaca más 7 litros de agua.
- Muestra 4: Se agregó 15 libras de gallinaza más 7 litros de agua.
- Muestra 5: Se agregaron 15 libras de estiércol de Cerdo más 7 litros de agua



Figura 10: Unidad experimental de Biodigestores

La cantidad de biogás se midió aplicando el método de desplazamiento de agua esta se realizó a los 15 días una vez que los reactores empezaron a producir biogás y los neumáticos se cargaron de gas.



Figura 11: Neumático cargado

Para la realización de esta prueba se hizo uso de instrumentos de laboratorio siendo estos bases soporte, nuez doble, y una probeta graduada de 500 mL este método consiste en introducir la probeta en un recipiente con agua y dentro de la probeta se coloca la manguera de salida del gas hasta la parte superior.



Figura 12: Método de la probeta

Una vez abiertas las válvulas el gas hace que el nivel del agua en la probeta se desplace hacia abajo, por lo tanto, se mide la cantidad de biogás obtenida en cada uno de los sustratos, recordando que los biodigestores tuvieron un tiempo de retención de 7 días luego de 15 día empezaron a generar biogás y por ende realizamos las respectivas mediciones que se reflejan en el formato de producción de biogás Este parámetro es esencial para la realización de los tipos de correlaciones teniendo en cuenta la producción de biogás de cada uno de los sustratos que es la temática de prioridad del presente trabajo investigativo.

Etapa IV. Procesamiento de la información

Una vez que concluido el trabajo de campo en el laboratorio se organizó la información recopilada en las notas de campo, datos experimentales obtenidos a través de las mediciones que se realizan las cuales se detallan anteriormente dentro de las operacionalización de las variables.

Se realizó un experimento en un Diseño completamente aleatorio (DCA) con cuatro repeticiones, los tratamientos surgen de un arreglo factorial, debido a la dependencia de la variable respuesta (Sólidos volátiles), se utilizaron como covariables: Masa seca y Cenizas. Los supuestos de normalidad y homocedasticidad se probaron usando gráficos de diagnóstico (QQ Plot y diagramas de dispersión de residuos versus predichos respectivamente y diagramas de caja), también se realizó comparaciones múltiples del tipo LSD de Fisher (Diferencia mínima significativa) para evaluar diferencias entre los sustratos. Los análisis se realizaron usando modelos lineales generales y mixtos en R (R core developing team 2016), a través de la interface implementada en Infostat.

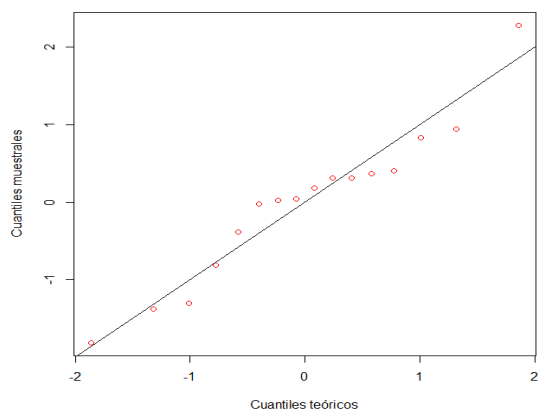
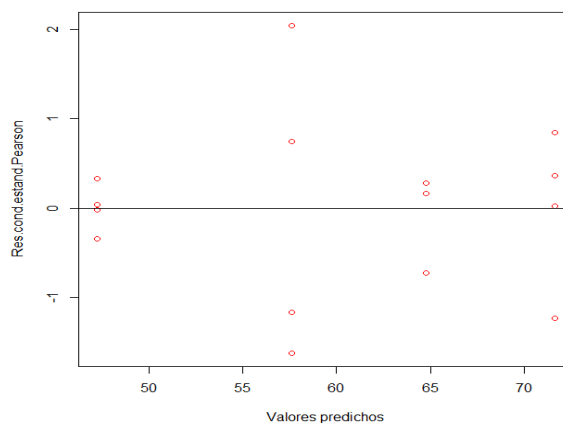
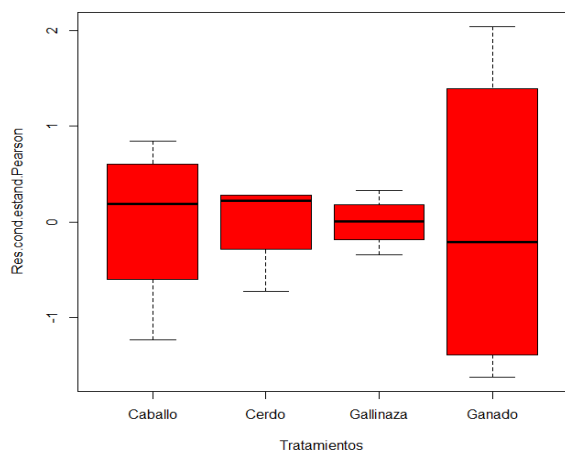
La prueba de hipótesis estadística H_0 : La producción de biogás depende directamente de los parámetros ambientales como: Temperatura y pH, se realizó mediante la ***correlación de Pearson*** para demostrar si existe o no correlación de significancia de la temperatura y pH sobre la variable respuesta ***producción de biogás***.

Una vez concluida la investigación los resultados se divulgarán en la revista científica de la universidad a través de un artículo científico donde los alumnos y docentes podrán indagar los aspectos esenciales en la producción de biogás, así mismo de ser posible se podría presentar en congresos nacionales.

Resultados

ROE1: Caracterizar las propiedades básicas de la materia orgánica que permita la determinación de la energía que se puede obtener en el proceso de conversión.

Se realizó un experimento en un Diseño completamente aleatorio (DCA) con cuatro repeticiones, los tratamientos surgen de un arreglo factorial, debido a la dependencia de la variable respuesta (Sólidos volátiles), se utilizaron como covariables: Masa seca y Cenizas. Los supuestos de normalidad y homocedasticidad se probaron usando gráficos de diagnóstico (QQ Plot y diagramas de dispersión de residuos versus predichos respectivamente y diagramas de caja), también se realizó comparaciones múltiples del tipo LSD de Fisher (Diferencia mínima significativa) para evaluar diferencias entre los sustratos. Los análisis se realizaron usando modelos lineales generales y mixtos en R (R core developing team 2016), a través de la interface implementada en Infostat.



Gráficos de diagnóstico generado con el programa

Podemos afirmar categóricamente que se cumple con el supuesto de normalidad de los residuos que examina si el grado de asociación que existe entre los residuos y la función normal, la cual es linealizada mediante la función log. la cual se realiza **mediante el gráfico del QQ**, para la variable respuesta tratamiento.

El grafico de dispersión o de independencia de los residuos de diagnostico nos permite visualizar una tendencia de respuesta o patrón de comportamiento de los datos, para diagnosticar la hipótesis nula de H_0 : Los errores tienen varianzas homogéneas. Para que se demuestre la Homogeneidad de Varianza el resultado debe ser: No debe observarse ningún patrón o tendencia de respuesta de los residuos (Casanoves, 2007). se observa claramente que no hay patrón o tendencia de respuesta de los residuos.

El grafico de caja aporta a simple vista que el sustrato orgánico de gallinaza es el que menos aporta en sólidos volátiles, por ello se hizo necesario el sustento estadístico de que esto es cierto, para lo cual se corrió el modelo siguiente.

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

Resultados para el modelo: modelo.010_Solidos.volatiles_REML

Variable dependiente: Sólidos volátiles

Medidas de ajuste del modelo

<u>N</u>	<u>AIC</u>	<u>BIC</u>	<u>logLik</u>	<u>Sigma</u>	<u>R2_0</u>
----------	------------	------------	---------------	--------------	-------------

<u>16</u>	<u>89.24</u>	<u>92.15</u>	<u>-38.62</u>	<u>8.90</u>	<u>0.72</u>
-----------	--------------	--------------	---------------	-------------	-------------

AIC y BIC menores implica mejor

Al realizar la comparación de modelos observamos que los AIC y BIC (criterios de verosimilitud) nos permite observar que el último modelo (0.10) ajustado es mejor y por lo tanto la interpretación de las pruebas de hipótesis debe basarse en este último.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	<u>numDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	1356.29	<0.0001
Tratamientos	3	34.47	<0.0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	<u>numDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	4160.06	<0.0001
Tratamientos	3	34.47	<0.0001

Las pruebas de hipótesis secuenciales dan los mismos resultados que las marginales en este caso porque los datos son balanceados.

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent....Parámetros de la función de varianza

Parámetro Estim

Caballo 1.00

Cerdo 0.29

Sólidos volátiles - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamientos

LSD Fisher (Alfa=0.05)

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>E.E.</u>	
Caballo	71.65	4.45	A
Cerdo	64.75	1.29	A B
Ganado	57.63	4.45	B
<u>Gallinaza</u>	<u>47.25</u>	<u>1.29</u>	<u>C</u>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La prueba LSD Fisher, **con un Alfa = 0.05**, permitió demostrar que, el sustrato orgánico de Caballo y Cerdo son mejores en cuanto a sus sólidos volátiles, esto también quedo demostrado al hacer la prueba de la llama esta encendía rápidamente al acercarle la llama de un cerillo, sin embargo si existen diferencias estadísticamente significativas con el sustrato de gallinaza que en la prueba presento un bajo nivel de volatilidad, de igual forma quedo demostrado en la prueba de la llama el cual necesitaba más tiempo para su combustión.

ROE2: Evaluar los parámetros ambientales y operacionales de funcionamiento en el proceso metanogénico de la producción de biogás.

a) Temperatura

Uno de los factores ambientales más importantes dentro del proceso de digestión anaerobia es la temperatura de operación de los biodigestores, además de ser considerado un parámetro principal para el diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de la digestión anaerobia. Existen tres rangos de temperatura en los que se puede llevar a cabo la digestión anaerobia, los Psicrófilicos que se encuentran por debajo de los 25°C, los mesófilicos (25 y 45°C) y termófilicos (45 y 65°C). (Martí Ortega, 2002) . La tabla N°4 recoge los valores promedios de este experimento.

Biodigestores	Temperatura °C
Caballo	32
Ganado	32.2
Gallinaza	33
Cerdo	33.4
Codigestión (Caballo-Ganado)	32.5

Tabla 4: Valores prom. temperatura

La media de temperatura obtenida a través del programa Infostat, nos indica que los biodigestores estaban operando en régimen mesofílico (25 y 45°C), no se detectaron variaciones bruscas de temperatura dentro del digestor lo cual esto no provocó desestabilización total en el proceso, por tal motivo se considera excelente la temperatura obtenida.

El grafico N°1 muestra las temperaturas obtenidas en los cinco biodigestores de la unidad experimental, se muestra que desde el inicio de la puesta en operación de los biodigestores se mantuvo en el rango normal de operación mesofílico alcanzando mayores temperaturas los días trece y catorce.

Temperatura de Biodigestores

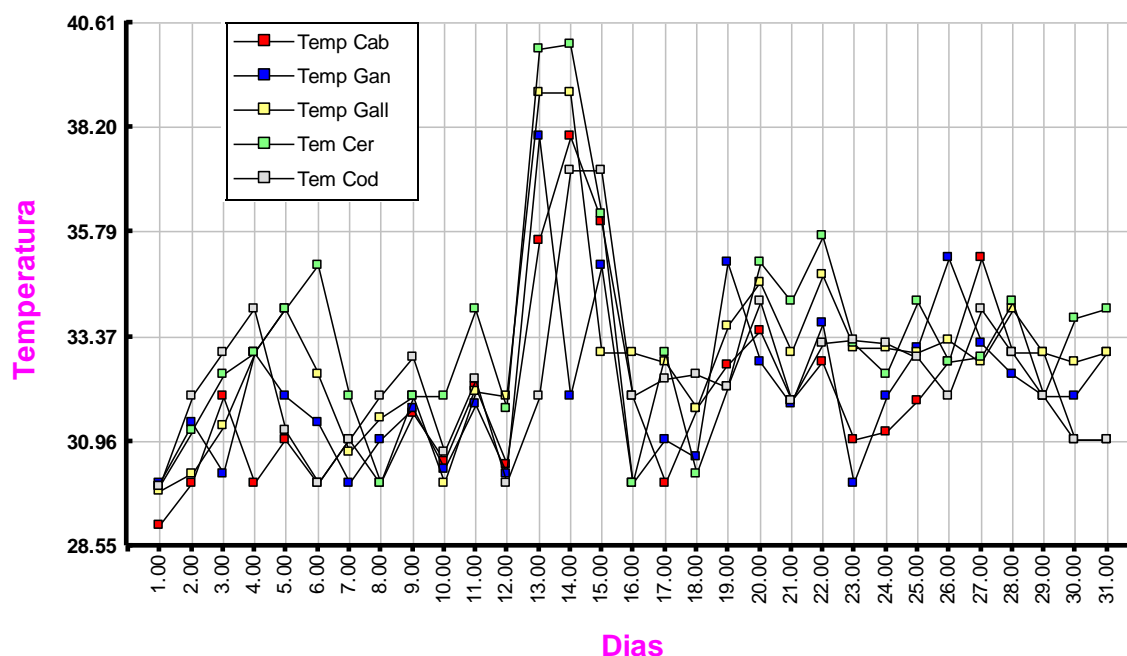


Gráfico 1 Temperatura de biodigestores

b) pH y Alcalinidad

El valor de pH en los digestores no sólo determina la producción de biogás si no también su composición, el descenso del pH por debajo de 6 genera un biogás muy pobre en metano y por consecuencia tiene menores cualidades energéticas.

El rango óptimo del pH para lograr una mayor eficiencia en la biodigestión es entre 6 a 8 (McCarty, 2013). La tabla N°5 recoge los valores promedios de este experimento.

Biodigestores	pH
Caballo	6.75
Ganado	6.60
Gallinaza	6.51
Cerdo	6.52
Codigestión (Caballo-Ganado)	6.54

Tabla 5. Valores promedio de Ph

La media de pH obtenida a través del programa Infostat, nos indica que los biodigestores estaban operando correctamente. El equilibrio ácido-base que tiene lugar en la operación de los biodigestores anaerobios es muy importante por la presencia de los diversos tipos de microorganismos que están en el medio y que requieren ser neutralizados para restituir el pH.

El grafico N°2 muestra que en los primeros días el pH se mantuvo por debajo del rango normal de operación en nivel ácido, estabilizándose en nivel neutro a partir del día trece manteniéndose en el rango hasta el día en que finalizó la experimentación.

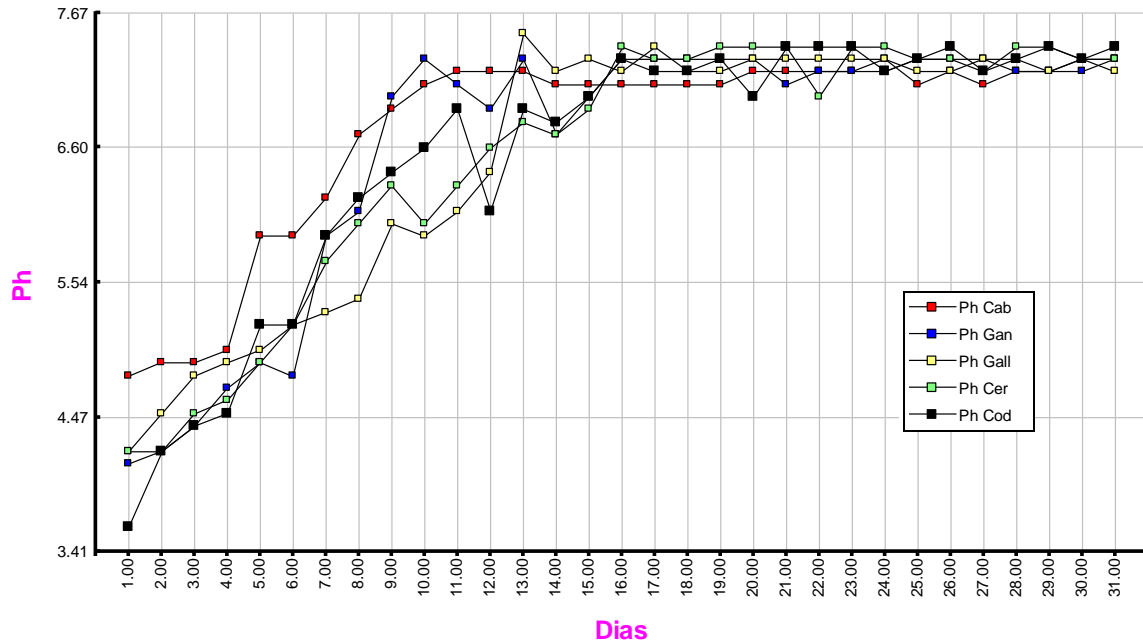


Gráfico 2 : pH - días

c) La demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Las muestras debidamente rotuladas en frascos de un litro fueron enviadas al laboratorio CIDEA, ubicado en la Universidad Centro Americana (UCA) donde se realizó la prueba que permite conocer la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en la muestra de agua residual de los biodigestores, expresado en miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua.

Los resultados obtenidos en la tabla N°6 indican que el DBO elevado, requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua, en este caso la gallinaza y el efluente del biodigestor con sustratos de cerdo los cuales no tienen una diferencia significativa, requieren de esta consideración por haber obtenido mayor DBO₅.

Análisis	Método	Sustratos	Resultados	Unidad de medida
DBO ₅	5210B de 5 días	Ganado	695.4	mg/L
		Caballo	661.2	
		Gallinaza	697.5	
		Cerdo	697.3	

Tabla 6. Demanda bioquímica de oxígeno

ROE3: Determinar la producción de biogás de los diversos sustratos orgánicos en función del rendimiento de cada una de las muestras que se sometan a dicho proceso.

En la gráfica N°3 se aprecia los valores referentes a la producción de biogás conforme a los días de operación de los reactores tipo Batch, donde se observa la máxima cantidad producida en ml de cada sustrato, así como también los niveles en el que el volumen producido de biogás comienza a decaer hasta finalizar su producción.

Los valores de producción se han obtenido realizando mediciones en intervalos de 5 días, obteniendo el volumen total de producido de cada sustrato correspondiente a los días de medición, que conllevaron a obtener la producción total de los mismos, mediante el desplazamiento de agua mencionado en la metodología.

El sustrato que presenta mayor volumen de biogás generado, corresponde al de codigestión (sustratos Caballo-Ganado), con una producción total de 20900 ml, equivalente a 20.9 litros de biogás, seguido sucesivamente por los sustratos Gallinaza: 1400 ml, Cerdo: 8075 ml, Ganado: 4150 ml, Caballo: 2150 ml.

Se observa la disminución gradual de producción a partir del día 15, siendo la gallinaza el sustrato que disminuye considerablemente hasta el punto de converger con el sustrato de cerdo el día 25, el sustrato de ganado no resultó con gran rendimiento en su producción, pero se mantuvo a un nivel casi constante de producción, los dos sustratos con menos producción al combinarse resultaron con el mayor rendimiento productivo tal y como se muestra en el gráfico.

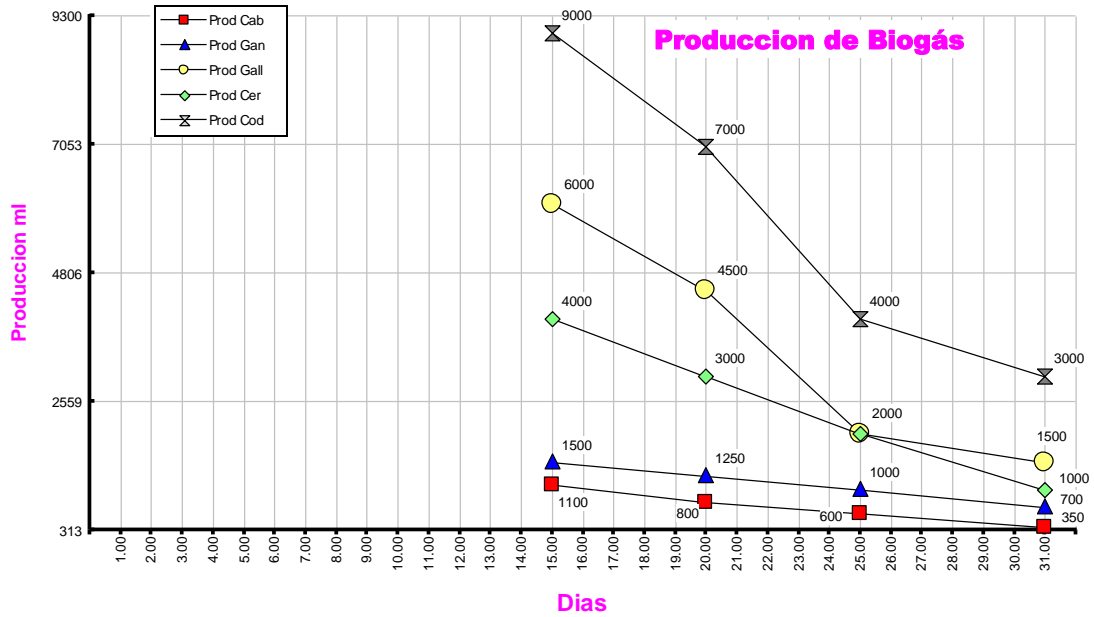


Gráfico 3: Producción de biogás

Prueba de hipótesis estadística

Ho: La producción de biogás depende directamente de los parámetros ambientales como: Temperatura y pH

F:\BDDDBiogas2.IDB2

Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
Prod Cod	Prod Cod	4	1.00	<0.0001
Prod Cod	Tem Cod	4	0.97	0.0326
Prod Cod	Ph Cod	4	-0.95	0.0459

La realización de esta prueba de correlación de Pearson, dado el resultado obtenido se puede afirmar que se acepta la **H₀: La producción de biogás depende directamente de los parámetros ambientales como: Temperatura y pH**, con la obtención de un $p = 0,0326$ y $p = 0,0459$, el cual es menor que el nivel crítico de comparación establecido de $\alpha = 0,05$. Claramente se ve que existe un *efecto significativo*, lo cual demostró que existe una correlación de significancia de la temperatura y pH sobre la variable respuesta *producción de biogás*.

Conclusiones

La Caracterización de las propiedades básicas de la materia orgánica utilizada en el estudio realizada mediante modelos lineales generales y mixtos permitió demostrar que, el sustrato orgánico de Caballo y Cerdo son mejores en cuanto a sus sólidos volátiles, esto también quedo demostrado al hacer la prueba de la llama esta encendía rápidamente al acercarle la llama de un cerillo, sin embargo si existen diferencias estadísticamente significativas con el sustrato de gallinaza que en la prueba presento un bajo nivel de volatilidad, de igual forma quedo demostrado en la prueba de la llama el cual necesitaba más tiempo para su combustión.

El proceso de digestión anaeróbico en los cinco biodigestores se realizó de manera satisfactoria, el comportamiento del pH se presentó de una forma estable y dentro de la neutralidad, reduciendo las posibilidades de inhibición por acidificación de la materia.

El comportamiento promedio de la temperatura interna de los biodigestores, se mantuvo dentro de un rango mesofílico en toda la unidad experimental no se detectaron variaciones bruscas de temperatura dentro de los biodigestores.

La prueba de DBO₅ aplicada a los efluentes de los biodigestores con sustratos de gallinaza y cerdo requieren una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua.

La implementación del sistema de cuantificación de la producción de biogás generado en los biodigestores de la unidad experimental mediante el método de desplazamiento de agua resultó eficiente, se demostró que el biodigestor en codigestión anaerobia (mezcla de ganado y caballo) obtuvo mayor rendimiento productivo de la unidad experimental.

La investigación se concluye de manera satisfactoria; el biogás generado en la fermentación de los sustratos estudiados puede utilizarse en estufas convencionales, como

una forma de energía sustentable que funcionan a base de dicho combustible son una más de las alternativas energéticas sustentables en comunidades rurales.

La llama obtenida en la quema del biogás generado por los biodigestores era completamente azul, debido a que a los biodigestores se les instaló un filtro o trampa con agua y cal (solución acuosa), que permitió absorber el CO_2 y los H_2S , el biogás de cuatro biodigestores respondió rápidamente a la quema, no así el biodigestor cargado de gallinaza el cual se apaga rápidamente, esto queda demostrado en los datos de volatilidad en el cual este sustrato resultó ser el gas más pobre energéticamente.

Recomendaciones

Las recomendaciones descritas a continuación para futuras investigaciones surgen debido a no haber dispuesto del tiempo suficiente para realizar una investigación que pueda desarrollarse completa.

- Realizar de cuatro a ocho repeticiones en la unidad experimental para obtener valores de mayor significancia.
- Realizar diferentes tipos de mezclas en las relaciones de los sustratos para mejorar rendimientos en cuanto a la producción de biogás aplicando relación 2:1, 3:1, 4:1.
- Instalar manómetros para medir la presión del gas y por tanto cuantificar la cantidad de biogás producido.
- Investigar el aprovechamiento de sustratos pocos estudiados para la generación de biogás.

Bibliografía

- American Psychological Association. (2010). Manual de Publicaciones. Washington Dc: El manual moderno ,S.A. de c.v. Recuperado el 13 de Junio de 2016
- Asofénix. (2008). *Instalación de Biodigestores en Comunidades de Teustepe y San Jose de los Remates*. Managua : Asofenix. Recuperado el Mayo de 2016
- Casanoves, F. (2007). *Curso internacional de técnicas de Análisis Multivariado*. CATIE. Turrialba,, Costa Rica.
- Contreras, L. (2006). *Producción de biogás con fines energéticos . De lo histórico a lo estratégico*.
- FAO. (2013). Producción de biogas por metanogénesis. *Aprovechamiento de residuos sólidos*, 42-47. Recuperado el 5 de Mayo de 2016
- Focae. (2002). Fortalecimiento para la capacidad en energías Renovables. Manuales sobre energía renovable . Biomasa. San Jose, Costa Rica: Bunca CA. San Jose, Costa Rica.
- García Garrido, S. (2009). *Centrales Termoeléctricas de Biomasa*. Madrid: RENOVETEC.
- García Gutiérrez, G. d., Mondaca Fernández, I., Meza Montenegro, M. M., Fuentes, A. F., Balledera Cortez, J. d., & Gortarez Moroyoqui, P. (Julio de 2012). *Ideas@ CONCYTEG*. Obtenido de http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85_1_GUTIERREZ_GARCIA_ET_AL.pdf
- García, P. S. (2006). *La biomasa y la energía*. México DF .
- Google Earth. (Julio de 2016). *La información geográfica del mundo en tus manos*. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de <https://www.google.com/earth/>
- Hilbert., J. A. (2007). *Manual para la producción de biogás* . México DF: Castelar .
- Incer, B. ,. (2016). *Situación de los recursos forestales en Nicaragua* . Managua.
- Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azucar (ICIDCA). (2014). La digestión Anaerobia. pp.35-48.

Jarauta, L. (2005). *Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos . El caso de Perú*.
Barcelona, España: Escuela Técnica de Ingeniería Industrial.

L, C. (2006). *Producción de Biogás con fines energéticos . De lo histórico a lo estratégico*.

La Prensa. (4 de Mayo de 2014). *Nicaragua apuesta por el biogás para energía en zonas rurales*.
Recuperado el 12 de Mayo de 2016, de
<http://www.laprensa.com.ni/2014/05/04/nacionales/193122-nicaragua-apuesta-por-el-biogas-para-energia-en-zonas-rurales>

Lugones, B. (2001). *Análisis de biodigestores en funcionamiento* . Habana, Cuba.

Martí Ortega, N. (2002). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. (I. 1-581112-332-9, Ed.) Florida, Usa .

Mathieu, L. (2014). Biomasa Clasificación y uso. En *Aplicaciones de la Biomasa* . Madrid, España.

O, R. S. (2010). *Biodigestores : Factores químicos , físicos y biológicos relacionados con su productividad* . Alemania .

Organización Marítima Internacional (OMEI). (2011). *Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos*. Madrid: Librería denautica . Recuperado el Octubre de 2016

Pedroza, M. (2014). Conferencias In curso de Fundamentos de Experimentación . II Módulo.Mediante FAREM Carazo. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua . Managua,, Nicaragua.

Piura, J. (2007). Introducción a la Metodología de la Investigación Científica. Managua, Nicaragua.

Raul, V. T. (2000). *Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica de motores estacionarios* . Perú .

Rodriguez, M. (2013). historia del biogás , primeros pasos. *Ciencia y sociedad*, 72-77.

Sandoval, A. (2006). *Manual de tecnologías limpias en Pymes*. Perú .

Valdivia, T. R. (2000). *Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica mediante un motor gasolinero estacionario modificado*. Lima, Perú.

