

# TRATAMIENTO DE SUSTRATO DE BOVINO Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN UN BIODIGESTOR CONTINUO CON LOMBRICULTURA.

## SUBSTRATE OF BOVINE TREATMENT AND BIOGAS PRODUCTION IN A BIO-DIGESTER CONTINUED WITH VERMICULTURE.

Hugo J. Coss y León M.<sup>1</sup>, Cástulo I. Martín del Campo M<sup>2</sup>., Juana A. Loza Ll.<sup>3</sup> Luis C. Durand M<sup>2</sup>., Espicio Monteros C.<sup>2</sup>, Eduardo Lopez A.<sup>3</sup>,

[hjcm\\_coss@hotmail.com](mailto:hjcm_coss@hotmail.com) / [cilhuimar@gmail.com](mailto:cilhuimar@gmail.com) / [aloza@cucba.udg.mx](mailto:aloza@cucba.udg.mx) / [Luis.Durand@cutonala.udg.mx](mailto:Luis.Durand@cutonala.udg.mx) / [espicio3@yahoo.com](mailto:espicio3@yahoo.com) / [elopezalcocer@gmail.com](mailto:elopezalcocer@gmail.com)

Recibido: noviembre 04, 2015 / Aceptado: diciembre 16, 2015 / Publicado: diciembre 17, 2015

**RESUMEN.** El cuidado del medio ambiente toma mayor importancia cada día y la producción de biogás por medio de biodigestores continuos cuenta como una bioremediación al generar tierra fértil para el campo, sin embargo el proceso de producción de biogás y de esa tierra es largo, por ello, esta investigación lleva como objetivo principal el estudiar el Tratamiento de Sustrato de Bovino y Producción de Biogás en un Biodigestor Continuo con Lombricultura. El presente estudio se realizó en la planta de lombricultura del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, con un procedimiento metodológico de medición del pH con el fin de obtener un alimento de forma anaerobia apto para la lombriz, así como la producción de biogás para observar el comportamiento de las bacterias en conjunto al conteo de microorganismos de bacterias, hongos y actinomicetos. Se mantuvieron las mismas condiciones climáticas en dos biodigestores tipo salchicha de 5 metros de largo a temperatura ambiente y humedad interna de 75%, base húmeda para garantizar las mismas condiciones. Con 100 kg de estiércol bovino y mezclados con 300L de agua cada uno, se preparó una población de 1 kg de lombriz en un metro cuadrado de tierra como población inicial. En los resultados obtenidos se observó que el estiércol precompostado en el biodigestor fue apto para que la lombriz se alimentara, puesto que se detectó crecimiento de la población de lombriz, igualmente se encontró producción de biogás en el contenedor de control, utilizando el hydrogen sulfide meter- modelo z-900 xp en dicho tanque, además se detectó la generación de bacterias metanogénicas y termófilas por el aumento de temperatura y diferencias en el tiempo de incubación en la siembra de bacterias, de igual forma se exhibe un suelo fértil al ser rico en hongos, bacterias y actinomicetos.

**PALABRAS CLAVE:** Biocombustible, Precomposteo, Biofertilizante, Aerobeo, Anaerobeo.

**ABSTRACT.** The care for the environment takes more importance every day, and biogas production by continuous bio-digesters boasts a bioremediation to create fertile ground for the field. However the process of biogas production and ground recovering is quite long. That's why; this investigation has as the main objective to study the substrate of bovine's treatment and biogas production in a continuous bio-digester with the support of vermiculture. This study was carried out on the ground, of vermiculture of the University Center of Biological and Agricultural Sciences of the University of Guadalajara with a methodological procedure of pH measurement in order to obtain a suitable food for the earthworm in an anaerobic form, biogas production to observe the behavior of bacteria's in conjunction to the count of bacteria, fungi and actinomycetes microorganisms. The same climatic conditions were remained in two bio-digesters type 5 meters long sausage at room temperature and internal humidity of 75%, in a wet basis to ensure the same conditions. Each one with 100 kg of cattle manure mixed with 300 L of water. As initial populations a one kg of earthworm was prepared in a square meter of ground.

<sup>1</sup> Centro Universitario UNE, A.C. Plantel I133-P004-Centro Universidad de Guadalajara. Chimalhuacan No. 6, Zapopan, Jal. 45050.

<sup>2</sup> Centro Universitario de Tonalá-División de ciencias-Dto. de Ingeniería - Universidad de Guadalajara. Av. Nuevo Periférico No. 555, Tonalá, Jal. 48525.

<sup>3</sup> Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – Departamento de Ciencias Ambientales – Universidad de Guadalajara, Camino Ramón Padilla Sánchez 2100, Zapopan, JAL, 44600

The results found that precomposted manure in bio-digester was suitable for the earthworm feed. An increase in the population of earthworm was observed. As a result, a production of biogas was found in, the volume was reflected. In addition, the generation of methanogenic and thermophilic materials were detected because of the increasing temperature and differences in the time of incubation in the seeding of bacteria. Similarly, a fertile soil is displayed to being rich in fungi, bacteria's and actinomycetes.

**KEY WORDS:** Biofuel precomposted, Biofertilizer, Aerobic, and Anaerobic.

## Introducción

El estiércol ganadero generado puede provocar impactos ambientales negativos debido a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera [1], los elementos presentes en el estiércol como nitrógeno y fósforo, así como su materia orgánica, sedimentos, patógenos, metales pesados, hormonas, antibióticos y amonio pueden contribuir a la contaminación del agua y suelo, lo cual puede ser peligroso para la salud del humano, animales y plantas [2].

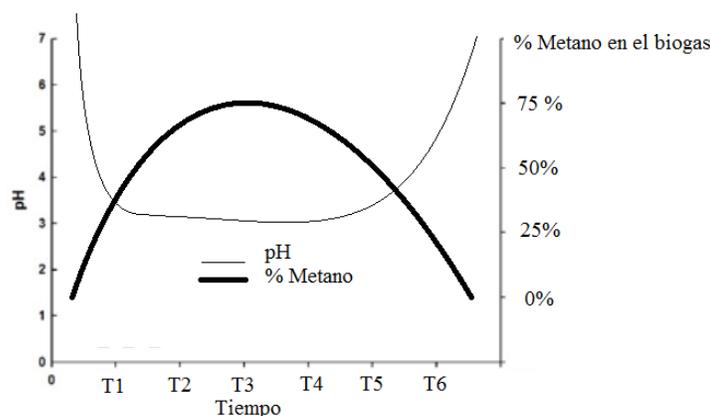
La digestión anaeróbica es utilizada como un método para el tratamiento de residuos [3]. Al minimizar la liberación de metano reduce el impacto ambiental que se genera [4]. La biodigestión anaerobia municipal e industrial de los flujos de residuos orgánicos es una práctica generalizada y se reconoce como una tecnología madura para la producción de biogás [5].

La aplicación de estiércol como fertilizante en tierras de cultivo, proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno y fósforo en el suelo para que las plantas lo usen como nutriente [6], la respuesta de los cultivos a la aplicación de vermicomposta suele ser superior a la de la composta convencional [7].

Una combinación de reciclado y recuperación de recursos a través de biogás y la lombricultura podría producir combustible (metano), fertilizantes (biogás de las plantas de efluentes), alimentación (biomasa del gusano) y lombricomposta rica en nutrientes como fertilizante para las cultivos [8]. Una forma de disponer adecuadamente el lodo de una planta de tratamiento de agua residual y darle un valor agregado es mediante su estabilización por composteo o vermicomposteo [9].

Los biodigestores discontinuos tienen un tiempo de producción útil relativamente bajo ya que solo cuentan con el sustrato alojado en ellos inicialmente. La generación de biogás del biodigestor anaeróbico tiene un comportamiento similar a la figura de una campana de Gauss conforme el tiempo pasa [10]. Los biodigestores de flujo continuo tienen un comportamiento de entrada tipo escalón y se mantienen la producción de biogás en la parte más alta, pero para lograrlo requieren de control en la agitación, temperatura, siembra de bacteria y entrada de sustrato. Lo cual es un gasto energético y tiene un tiempo de retención del sustrato extremadamente largo.

Cabe mencionar que el pH en cualquier biodigestor decae conforme la tasa microbacteriana crece, pero el pH se recupera al final de la actividad metanogénica debido a que el pH del sustrato de los biodigestores al final es de tierra fértil o  $\text{pH} = 7$ , lo que muestra una curva ideal de su comportamiento como la descrita en la Gráfica 1.



**Gráfica 1.** Enfrentamiento de la curva ideal de producción de metano con la curva ideal de pH, cuando el medio es ácido. (Venero, 2011)

Tomando en cuenta que en el último periodo cuando las bacterias dejan de producir biogás a causa de pérdida de alimento posee un pH cercano a 8 en medio alcalino o 6 en medio ácido, por lo que se considera viable darle más alimento a las bacterias del biodigestor, esto hará que regrese la acidez o alcalinidad, y el incremento de la población de bacterias al haber más alimento. Dado a que el pH de 8 o 6 no es considerado tierra de óptima calidad y nos indica posible contenido de población de bacterias, los biodigestores de tipo discontinuo y de flujo continuo preservan el sustrato hasta agotarlo completamente como alimento de las bacterias hasta dejarlo como tierra fértil [11].

En este experimento se dio como alimento a la lombriz el sustrato del biodigestor ya que su dieta indico que acepta como alimento materia orgánica de pH de 6 a 7, y pH de 7 a 9 [12], con una humedad del 40 al 60 % [13]. Esto reduce tiempo de aparición de bacterias de hidrólisis y desprendimiento de hidrógeno en la acetogénesis y así en alcanzar la máxima producción en la curva [14]. El tiempo en que las bacterias reaccionan para generar biogás en un biodigestor continuo apoyado con lombricultura se encontró que es diferente al tiempo en el que reacciona para generar biogás en un biodigestor continuo sin apoyo de lombricultura. El sustrato del biodigestor tuvo las características necesarias para alimentar a la lombriz. Esta investigación tiene como objetivo estudiar el tratamiento de sustrato de bovino y producción de biogás en un biodigestor continuo con lombricultura.

## Materiales y métodos

Se construyeron dos biodigestores con plástico de forma tubular y se colocaron cada uno sobre una cama de concreto con una dimensión de 10 metros de largo por un metro de ancho y una altura de treinta centímetros, esto con el fin de aislarlos del suelo. Cada biodigestor tiene una longitud de 5 metros, 1.40 m de ancho con una capacidad aproximada de 3.18 m<sup>3</sup>, las salida de los biodigestores en cada extremo es de 0.5 m por lo que la cama de las lombrices es de 4.0 m. Las camas de concreto tienen una pendiente aproximada de 5%, dicha inclinación permite que el agua del biodigestor se cargue a la pared de concreto y no contamine la cama de las lombrices fácilmente, además de que evita inundaciones del líquido y la filtración que la lombriz produce por sí misma.

En la Figura 1. Se observan las camas de concreto para aislar del suelo los biodigestores y el material para las lombrices, la superficie experimental total utilizada fue de 20 m<sup>2</sup>



**Figura 1.** Cama de concreto en donde se ubican los biodigestores y el espacio para las lombrices.

El biodigestor se llenó con estiércol de bovino en estado seco y posteriormente se llenó con agua para proporcionar un porcentaje de humedad adecuado para el inicio de la fermentación aeróbica y anaeróbica. Se pesaron 100 kg de estiércol y se completó la carga con 300 L de agua para obtener una humedad aproximada de 75% dentro de cada biodigestor.

El cálculo para obtener la cantidad de agua necesaria para los biodigestores se realizó por medio del siguiente procedimiento:

- 1.- Se midió el flujo de agua de una manguera y se llenó un volumen conocido de un recipiente (cubeta de 19 L).
- 2.- Una vez obtenido un flujo constante de la manguera, se llenó la cubeta y se midió el tiempo en segundos.
- 3.- Se aplicó la siguiente fórmula para calcular el tiempo de llenado de los biodigestores:

$$t_{total} = \left( \frac{t_{19L}}{v} \right)$$

En donde:

$t_{total}$  = el tiempo total en segundos que llevara llenar los 300 L

$t_{19L}$  = el tiempo en segundos en que tomo llenar los 19 L

$v$  = volumen conocido litros

Sin parar el flujo para su llenado, se ingresó la manguera y se llena el tiempo  $t_{total}$  resultado, se deja reposar y se tomó la humedad unos días después para corroborar los cálculos donde efectivamente se tuvo la humedad deseada.

Para medir la humedad se tomó una muestra y se dejó en un plato metálico para horno de 1g de peso, se pesa

en una balanza analítica, se anota el resultado y se somete a 75 °C por 3 días en un horno de secado a peso constante, se vuelve a pesar y se determina el porcentaje de peso perdido o su porcentaje de humedad, por medio de la siguiente fórmula:

$$\%_{Humedad} = 100\% - \left( \frac{P_2 * 100\%}{P_1} \right)$$

En donde:

$P_1$  = Peso en gramos de la muestra antes de entrar al horno de secado.

$P_2$  = Peso en gramos de la muestra de secarse en el horno de secado.

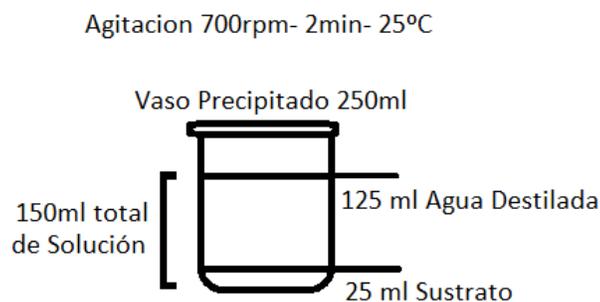
#### Control de pH

El pH permite conocer la acidez que tiene el sustrato al salir del biodigestor, es necesario identificar este parámetro en todo momento para la alimentación óptima de las lombrices, ya que el rango de pH que pueden utilizar debe de estar entre pH 6 y pH 9.

También es un indicador de la calidad de la tierra generada por la lombriz, el proceso de medición de pH se mantuvo durante la experimentación, con el fin de controlar la acidez en la acumulación del sustrato en conjunto con las lombrices. En general, se observó una buena aceptación de las mismas, ya que al final del proceso, el pH = 7.

La medición de pH se realizó con un potenciómetro de la marca “CONDUCTRONIC”. Para el medio se colocó el sustrato dentro de vasos de precipitado de 250 mL, tomando 25 mL de muestra y añadiendo 125 mL de agua destilada, mezclado a temperatura de 25°C y con una agitación de 700 rpm en un tiempo de 2 minutos como se muestra en la Figura 2, en un agitador de laboratorio magnético, con calibración del potenciómetro cada 2 mediciones por medio de un buffer de pH 7.0. La muestra se tomó en mililitros ya que el sustrato se encuentra en un medio con un contenido de humedad del 75 % y si se seca puede afectar la medición del pH.

La Figura 2 señala el procedimiento para homogenizar las muestras y hacer posible las mediciones de pH



**Figura 2.** Dilución de la muestra para la medición de pH. La forma estandarizada de medición de pH para poder medirlo con el potenciómetro.

El potenciómetro se lavó utilizando una pizeta, empleando una ligera carga de agua destilada a presión mínima, para lavar la punta después de cada lectura, esto evita la acumulación de restos para la siguiente

medición.

### Gases producidos

Se determinaron los gases que se producen en los biodigestores con el fin de comparar el comportamiento, la pureza y la cantidad de metano producido, fue un indicador de la calidad del combustible así como su potencial para producir energía eléctrica al ser sometido a combustión.

El biogás metano puro tiene un valor calorífico de  $9.100 \text{ kcal/m}^3$  a  $15.5^\circ \text{ C}$  a una atmósfera de presión, el valor calorífico del biogás varía de  $4.800 - 6.900 \text{ kcal/m}^3$ . En términos de equivalentes de energía,  $1.33-1.87$ , y  $1.5$  a  $2.1 \text{ m}^3$  de biogás son equivalentes a un litro de gasolina y diésel, respectivamente. El biogás tiene una gravedad específica de aproximadamente  $0.86$  (aire =  $1.0$ ), y un factor de velocidad de la llama de  $11.1$  [15].

Se empleó un medidor de ácido sulfhídrico “Hydrogen Sulfide Meter- Modelo Z-900 XP” con un rango nominal de  $0-200 \text{ ppm}$  y operable a una temperatura de  $20^\circ \text{ C}$  a  $40^\circ \text{ C}$ , para determinar la presencia de gas sulfhídrico y a su vez la de gas metano por la relación de producción que existe. Este dispositivo se conectó en una salida instalada en la parte superior de la tubería, por medio de una válvula de gas con niple, la cual salía del biodigestor para evitar la acumulación de humedad a la hora de la medición, dicho acomodo se ilustra en la Figura 3 de a continuación.



**Figura 3.** Válvula de gas 1/4 con niple. Esta válvula sirvió para la medición de gas.

La válvula se conectó a la manguera que sale del dispositivo “Hydrogen Sulfide Meter- Modelo Z-900 XP”, y se tomó la medición.

### Cantidad de lombrices o población

Las lombrices se alimentaron con el residuo del biodigestor en una cantidad de aproximadamente  $1.000 \text{ kg/m}^2$ , cuando se determinó la cantidad real de las lombrices, se obtuvo una densidad real de  $1.095 \text{ kg/m}^2$ . Después se observó su desarrollo a las seis semanas obteniendo un crecimiento de  $3.150 \text{ kg/m}^2$ .

La muestra para el conteo de las lombrices, se realizó tomando un cuadrante con una superficie de  $16 \text{ cm}$  de lado, considerando un área total de  $256 \text{ cm}^2$  y de  $10 \text{ cm}$  de alto como se muestra en la Figura 4, se debe dejar que la lombriz se distribuya en la tierra para que la medición sea exacta, se dejaron pasar  $24$  horas. Después de su traslado, el cual debe realizarse por la mañana o tarde noche, cuando la radiación solar no sea muy fuerte, la tierra se debe humedecer y tapar con cartón.

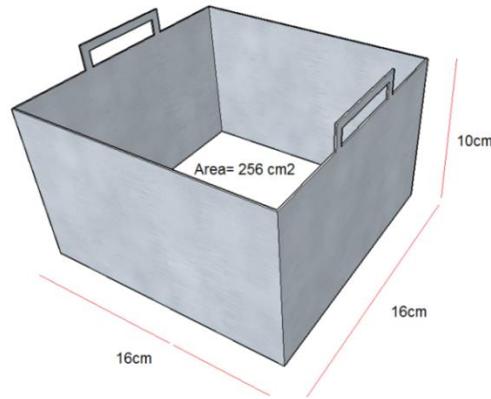


Figura 4. Cuadrante empleado para la toma de muestra de población de lombriz

La muestra se trasladó en una caja de plástico para la separación de las lombrices del resto de la biomasa, estas muestras se pusieron en un pedazo de papel previamente pesado en una balanza analítica tal como se aprecia en la Figura 5.



Figura 5. Biomasa separada para su peso.

Se puede observar en esta imagen la separación de las lombrices del resto de la biomasa para determinar su peso por metro cuadrado obtenido.

Al resultado obtenido se le resta el peso del papel, este resultado es la cantidad de lombriz en gramos que existen en 256 cm<sup>2</sup> de área superficial, para saber cuánta población se tiene en un metro se sigue la siguiente fórmula:

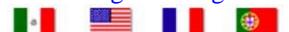
$$Po_{m^2} = \frac{\left(\frac{P_{MO}}{256cm^2} * 10000cm^2\right) + \left(\frac{P_{MC}}{256cm^2} * 10000cm^2\right)}{2} \left(\frac{1Kg}{1000g}\right)$$

Dónde:

$Po_{m^2}$  = Población en Kilogramos por metro cuadrado

$P_{MO}$  = Peso muestra de la orilla en g.

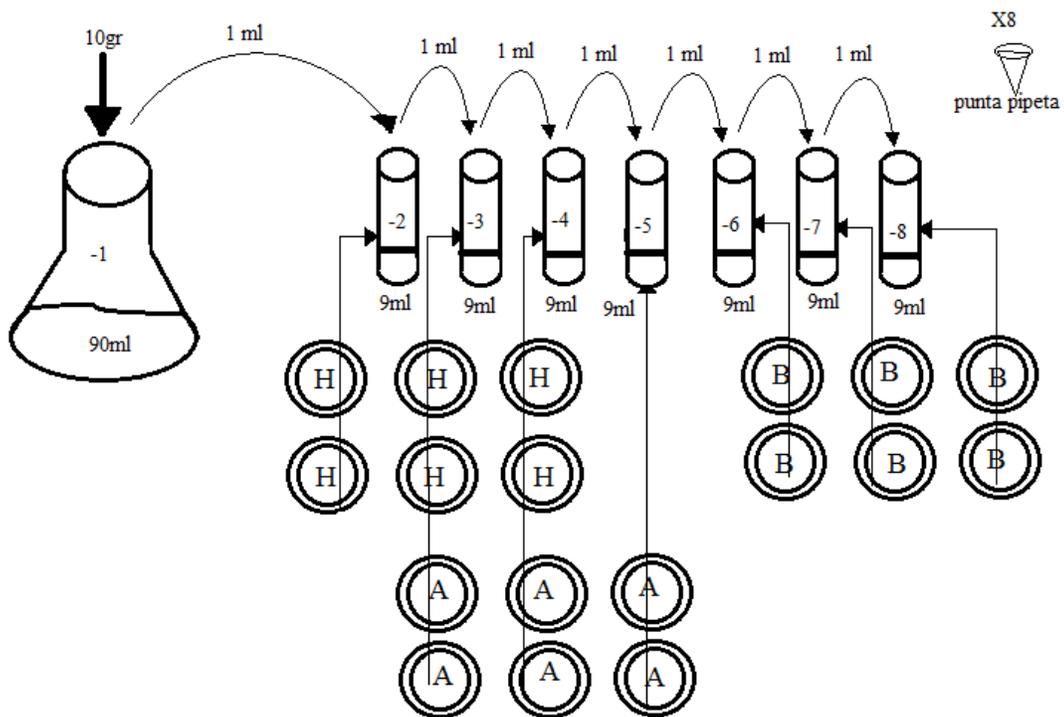
$P_{MC}$  = Peso muestra de la orilla en g.



Cantidad de hongos, bacterias y actinomicetos.

La medición de la calidad de suelo y la proliferación de bacterias permitió saber si hubo diferencia en los biodigestores y la calidad de la tierra que se extrae. Para esta medición se utilizó el siguiente material esterilizado por cada muestra, el cual esta expresado en la Figura 6, para hongos se realizó una disolución de la muestra con potencia a la -2, -3 y -4, en el caso de los actinomicetos se preparó una disolución de la muestra con potencia a la -3, -4 y -5, y para las bacterias se disolvió la muestra a una potencia de -6, -7 y -8, cada uno por duplicado. La disolución se hizo en tubos de ensayo con 9 mL de agua esterilizada, agregando 1mL de una disolución anterior, empezó con 10 g de la muestra diluida en 90 mL de agua destilada y esterilizada, el cambio se hizo por pipeteo dentro de una campana de flujo laminar para evitar contaminación de agentes en el aire.

La siembra se hizo en cajas de Petri por medio de pipeteo, en donde se ingresó a la caja 0.1 mL de la disolución y se llenó 20 mL de medio de cultivo con temperatura entre 25°C y 30°C, para que no se solidifique, se preparó 20 mL de medio por caja, es decir 120 mL por muestra y un total de 240 mL de medio necesario más 20 mL de respaldo, con un total de 260 mL por medio, a lo que se llenó 260 mL de agua destilada esterilizada y se tapó los matraces con algodón.



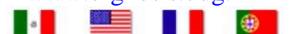
**Figura 6.** Material a utilizar por muestra para siembra de bacterias, hongos y actinomicetos.

La preparación de cantidad de medio por cada matraz con 260 mL de agua destilada y esterilizada acorde a la cantidad de medio por litro es la siguiente:

Hongos (Agar Dextrosa ® BDBioxon)

$$\frac{260\text{mL} * 39\text{g Agar}}{1000 \text{ mL}} = 10.14 \text{ g Agar}$$

Actinomicetos (Agar Czapek Dox ® BDBioxon)



$$\frac{260\text{mL} * 50\text{g Agar}}{1000\text{ mL}} = 13\text{ g Agar}$$

Bacterias (Agar Nutritivo ® BDBioxon)

$$\frac{260\text{mL} * 23\text{g Agar}}{1000\text{ mL}} = 5.98\text{ g Agar}$$

Después se dejó incubar a una temperatura constante de 28 °C, por 72 horas, y se hizo el conteo de unidades formadoras de colonias por placa. Esta cuenta debía tener datos lógicos (se eligió las que están en rango), estadísticos (se consideró los duplicados y el mayor número posible de datos) y funcionales (a falta de datos representativos, se tomaron los mejores disponibles) [16].

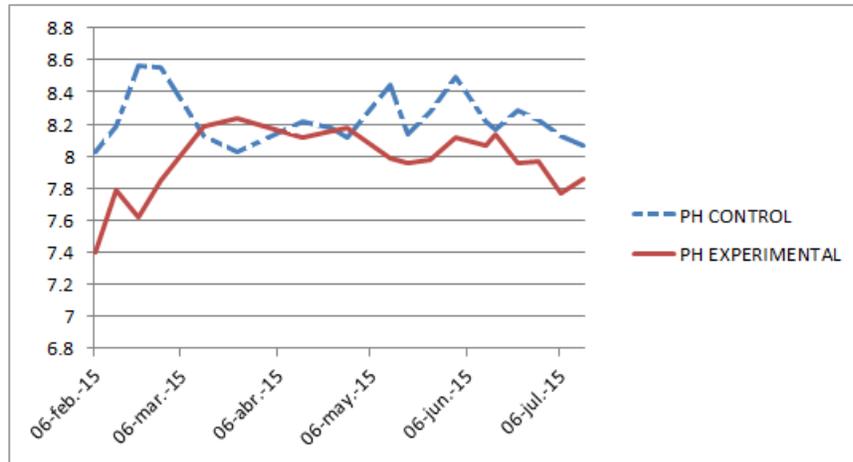
## Resultados

Como puede apreciarse en la Tabla 1 se hizo medición de pH a los biodigestores, al medio en donde se encuentra la lombriz y el estiércol del mismo tipo sin tratamiento con lombrices. En donde “PH CONTROL” es el pH del biodigestor sin apoyo de lombricultura, “PH EXPERIMENTAL” es el pH del biodigestor que tuvo la modificación para alimentar lombrices, “PH LOMBRIZ” el pH del medio original de las lombrices sin ingreso de alimento, “PH BIO-AMB-LOMBRIZ” es el pH del alimento dado a las lombrices en medio aeróbico tras sacarlo del biodigestor

**Tabla 1.** Muestra general de los pH medidos.

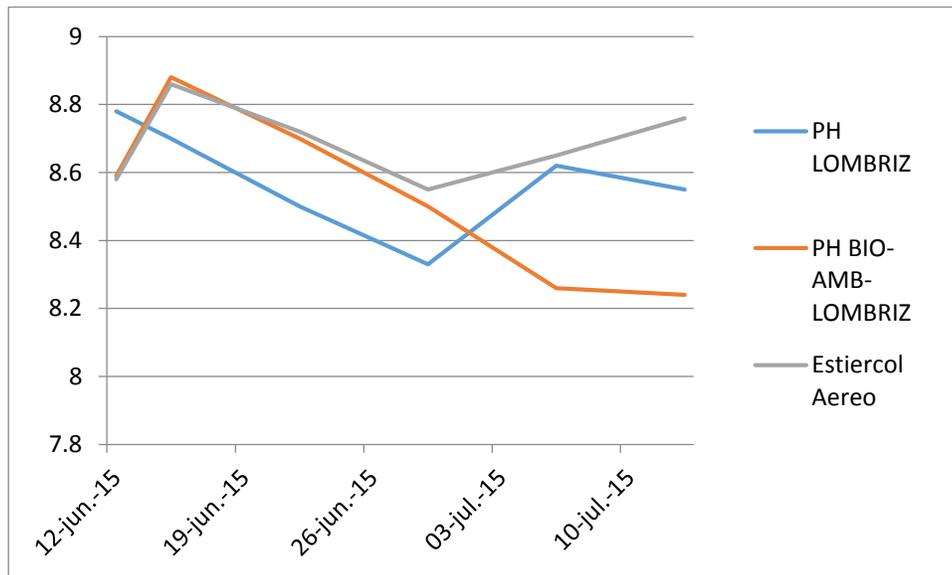
Fecha	PH CONTROL	PH EXPERIMENTAL	PH LOMBRIZ	PH BIO-AMB-LOMBRIZ	Estiercol Aereo	Observaciones
06-feb-15	8.03	7.4				
13-feb-15	8.19	7.79				
20-feb-15	8.56	7.62				
27-feb-15	8.55	7.85				
13-mar-15	8.13	8.19				
24-mar-15	8.03	8.24				
14-abr-15	8.22	8.12				
23-abr-15	8.18	8.16				
28-abr-15	8.12	8.18				
12-may-15	8.44	7.99				
18-may-15	8.14	7.96	PH LOMBRIZ	PH BIO-AMB-LOMBRIZ	Estiercol Aereo	Observaciones
25-may-15	8.28	7.98	9.23			
02-jun-15	8.49	8.12	8.8			
12-jun-15	8.22	8.07	8.78	8.59	8.58	Sacaron 200 kg e Ingresaron 50 kg con 150 L agua
15-jun-15	8.17	8.14	8.7	8.88	8.86	
22-jun-15	8.29	7.96	8.5	8.7	8.72	
29-jun-15	8.23	7.97	8.33	8.5	8.55	
06-jul-15	8.13	7.77	8.62	8.26	8.65	
13-jul-15	8.07	7.86	8.55	8.24	8.76	

Las muestras de los biodigestores fueron clasificadas en Muestra 1 y Muestra 2 o M1 y M2 respectivamente, en donde M1 es la muestra de “Control” tomada del biodigestor sin modificación y M2 es la muestra “Experimental” tomada del biodigestor en el cual se tomó sustrato de su interior para alimentar lombrices.



**Gráfica 2.** Comportamiento grafico del pH de los biodigestores.

Se puede observar en la gráfica 2 que existe un acercamiento en los valores obtenidos en la fechas de comienzo de marzo entre los valores de pH de los distintos tratamientos, lo cual indica una estabilización del pH entre los 2 biodigestores, después se nota un decaimiento en la curva experimental el 28 de abril, lo cual indica poca producción de metano al tenderse a estabilizarse, es entonces cuando el día 2 de junio se hace el cambio experimental, se observa un pequeño aumento del pH y después decae de la misma forma que el pH de control.



**Gráfica 3.** Comportamiento gráfico del pH de la lombriz.

Pudo verse en la gráfica 3 un decaimiento continuo en el pH de sustrato usado como alimento, lo que demostró su aceptación y procesamiento por parte de las lombrices, se puede observar que el pH de su medio original permanece por debajo del pH del estiércol tratado aeróbicamente o por composteo simple, lo que nos indica que el mejor tratamiento de este tipo de sustrato es el de la lombricultura.

**Tabla 2.** Experimento de Alimentación de las Lombrices con Excretas de Bovino Precompostado en el Biodigestor

FECHA	UBICACIÓN	NIVEL	PESO en g en 256 cm <sup>2</sup>	PESO en g por m <sup>2</sup>	FAUNA ACOMPAÑANTE	OBSERVACIONES
22-may-15	Central	1 (0-10cm)	16.57	647.265625	<i>Colembolos</i>	El peso promedio de 506.05 g/m <sup>2</sup> no es el requerido para la realización de la experimentación
22-may-15	Borde	1 (0-10cm)	9.34	364.84375	<i>Colembolos</i>	
27-may-15	Central	1 (0-10cm)	45.05	1759.76563	<i>Colembolos, Armadillidium opacum</i>	El peso promedio de 1095.68 g/m <sup>2</sup> se adapta a las especificaciones que se buscan para la experimentación
27-may-15	Borde	1 (0-10cm)	10.06	392.96875	<i>Colembolos, Armadillidium opacum</i>	
14-jul-15	Central	1 (0-10cm)	64.48	2518.75	<i>Colembolos, Armadillidium opacum, Aracnidos</i>	El resultado de la alimentación con sustrato del biodigestor es una población de 3150.39 g/m <sup>2</sup> , es decir, 2.87 veces más
14-jul-15	Borde	1 (0-10cm)	96.82	3782.03125	<i>Colembolos, Armadillidium opacum, Aracnidos</i>	

Tras obtener la población de lombrices de 1.095 kg por metro cuadrado requerida para el experimento como se observa en la tabla 2, se procedió a alimentarlas y a las 6 semanas se observa un crecimiento 3.150 kg por metro cuadrado, encontrando una relación y proporción de 2.87 veces con respecto a la población inicial de 1.095 kg por metro cuadrado, lo que demuestra que la cantidad de excretas de bobino precompostado en el biodigestor fue aceptado como alimento y sirvió para el aumento de la población de lombrices.

**Tabla 3.** Unidades formadoras de colonias (UFC).

Fecha	Muestra	Unidad Formadora de Colonia de Hongos X10 elevado a la			Unidad Formadora de Colonia de Actinomicetos X10 elevado a			Unidad Formadora de Colonia de Bacterias X10 elevado a la			Resultado de UFC Hongos	Resultado de UFC Actinomicetos	Resultado de UFC Bacterias	Observaciones
		-2	-3	-4	-3	-4	-5	-6	-7	-8				
05-may	1	70	75	41	10	5	1	1	0	0	3X10 <sup>5</sup>	4X10 <sup>3</sup>	<1X10 <sup>6</sup> Valor estimado	"sensibilidad del método"
	1	93	42	25	10	3	0	0	0	0				
	2	31	37	18	8	4	0	0	0	0				
02-jun	2	59	51	11	15	6	2	0	0	0	10X10 <sup>4</sup>	5X10 <sup>4</sup>	Valor estimado	
	1	6	3	4	6	2	5	3	0	0	6X10 <sup>2</sup>	5X10 <sup>3</sup>	1X10 <sup>6</sup>	
	2	35	4	5	5	9	8	1	3	0	4X10 <sup>3</sup>	8X10 <sup>4</sup>	1X10 <sup>6</sup>	
08-jun	2	38	3	2	11	1	5	1	0	0	4X10 <sup>3</sup>	8X10 <sup>4</sup>	1X10 <sup>6</sup>	
	1	8	2	0	15	7	1	1	1	0	1X10 <sup>3</sup>	1.2X10 <sup>4</sup>	1.5X10 <sup>6</sup>	
	1	9	1	0	15	15	1	2	1	1	1X10 <sup>3</sup>	1.2X10 <sup>4</sup>	1.5X10 <sup>6</sup>	
22-jul	2	7	1	2	6	7	3	3	0	0	5X10 <sup>2</sup>	5X10 <sup>2</sup>	4X10 <sup>6</sup>	
	2	3	5	2	22	10	2	5	0	1	5X10 <sup>2</sup>	5X10 <sup>2</sup>	4X10 <sup>6</sup>	
	1	11	1	0	5	2	1	39	3	2	10X10 <sup>3</sup>	3X10 <sup>3</sup>	4X10 <sup>7</sup>	
	1	8	2	0	2	0	0	46	5	2	10X10 <sup>3</sup>	3X10 <sup>3</sup>	4X10 <sup>7</sup>	
	2	15	0	0	8	0	0	3	0	0	11X10 <sup>2</sup>	9X10 <sup>3</sup>	3.5X10 <sup>6</sup>	
	2	7	0	0	11	0	1	4	1	0	11X10 <sup>2</sup>	9X10 <sup>3</sup>	3.5X10 <sup>6</sup>	

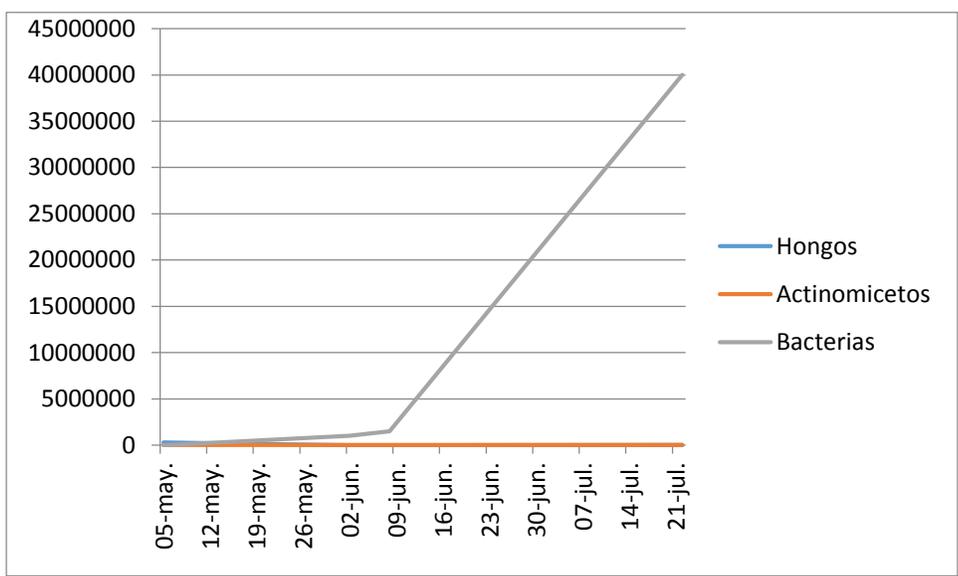


Se puede apreciar en la tabla 3 un crecimiento en la cantidad de bacterias que va de  $<1 \times 10^6$  UFC a  $3 \times 10^3$  UFC para la muestra 1 y para la muestra 2  $<1 \times 10^6$  UFC a  $9 \times 10^3$  UFC, en contraparte se observa un decaimiento en la cantidad de hongos, de  $3 \times 10^5$  UFC a  $10 \times 10^3$  UFC para la muestra 1 y para la muestra 2  $10 \times 10^4$  UFC a  $11 \times 10^2$  UFC, esto se debió al medio anaeróbico utilizado, lo que hace más difícil el crecimiento de cierto de los hongos.

**Tabla 4. UF C de la muestra 1.**

	Hongos	Actinomicetos	Bacterias
05-may	300000	4000	10
02-jun	600	5000	1000000
08-jun	1000	12000	1500000
22-jul	10000	3000	40000000

Muestra las Unidades formadoras de Colonias encontradas en la muestra del tanque de Control.



**Gráfica 4.** Comportamiento de las UFC de la muestra 1.

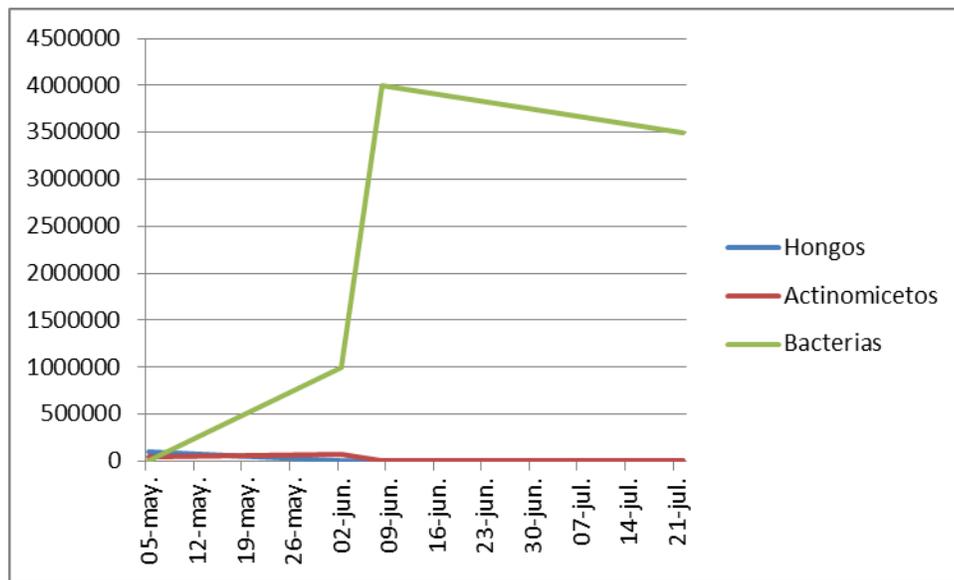
Con la gráfica 4 se puede ver un aumento de la presencia de bacterias, esto gracias al medio anaeróbico dentro del tanque de control, el cual puede compararse con la gráfica 5 correspondiente al tanque experimental, al observarse un decaimiento de población debido al cambio de sustrato y a la regresión de fase que se lleva, en cambio en el tanque de control se muestra las UFC en crecimiento.



**Tabla 5. UF C de la muestra 2.**

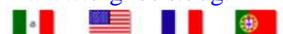
	Hongos	Actinomicetos	Bacterias
05-may	100000	50000	10
02-jun	400	80000	1000000
08-jun	500	500	4000000
22-jul	1100	9000	3500000

Muestra las Unidades formadoras de Colonias encontradas en la muestra del tanque Experimental.



**Gráfica 5.** Comportamiento de las UFC de la muestra 2.

El resultado de las pruebas de gas nos arrojó un porcentaje de dióxido de carbono de más del 90%, el cual se componía mayoritariamente de biogás, al hallarse nulo el sulfuro de hidrogeno, por lo cual solo se observó el volumen de gas que ocupaba, el biogás solo apareció en el tanque de control, para la fecha de finalización del experimento el día 22 Julio, lleno un máximo de un 30% de volumen total del tanque como se ilustra en la Figura 7.





**Figura 7.** Tanque con biogás al 30%. El biogás solo se presentó en el biodigestor control debido a la calidad de sustrato.

## Discusiones

El pH mostrado en la gráfica 3 del composteo de manera Aeróbica se mantiene en los parámetros de pH igual a 8.5 y 8.9, lo que indica que se estabiliza y no bajara su pH a 7, hasta que pase un largo periodo de tiempo esto se compara al estudio realizado por Díaz [17]. Estos nos indica que el medio o sustrato original de la lombriz y el pH del alimento van decayendo reafirmando que el tratar los residuos con lombriz es más rápido que el medio aeróbico como los especifica el estudio de Gutiérrez, Juárez, Mondragón y Rojas [18].

El aumento en la producción de lombrices fue significativamente alto, como lo muestra la tabla 2, dicho crecimiento de 2.85 veces mayor con respecto a la población inicial, se debió a que el alimento tiene como origen excretas de ganado bobino precompostado en el biodigestor.

Los biodigestores de Converti donde tuvieron la composición de biogás casi constante [5], igual que la encontrada en estos biodigestores, varió en la composición de metano y dióxido de carbono, donde los porcentajes oscilaron de manera contraria, siendo de mayor cantidad el metano en el caso de los biodigestores de Converti. Sin embargo el propósito del experimento era dejar menor tiempo el sustrato y emplearlo como alimento para la lombriz en lugar de producir la mayor cantidad de metano.

## Conclusiones y Recomendaciones

- 1.- Con el presente estudio se contribuye a mejorar la eficiencia de los biodigestores, tanto en la producción de biogás como en el tratamiento del sustrato por medio de lombricultura, acelerando la incorporación de la materia orgánica como fertilizante y acortando el tiempo en la producción de biogás.
- 2.- El trabajo propuesto tiene como objetivo la generación de biogás por medio de un biodigestor continuo apoyado con lombricultura cumpliéndose en su totalidad al utilizar como alimento para lombriz el sustrato de bovino.
- 3.- Como resultado del tiempo en que las bacterias reaccionan para generar biogás en el biodigestor continuo utilizando la lombricultura, se encontró que el tiempo estimado fue menor al biodigestor en que no se utilizó la lombricultura en la generación de biogás, además, su comportamiento también difiere mucho por el sustrato, aunque este provenga del mismo sitio.
- 4.- En suma, el uso de la lombricultura como una alternativa para la generación de tierra fértil, es una opción

viable que permite acelerar el proceso de descarga del biodigestor y contribuir a equilibrar el ecosistema.

## Bibliografía

- 1 Pinos, R. J. M., García, L. J. C., Peña, A. L. Y., Rendón, H. J. A., González, G. C. y Tristán, P. F. (2012). ENVIRONMENTAL REGULATIONS AND IMPACT OF MANURE GENERATED BY LIVESTOCK OPERATIONS IN SOME AMERICAN COUNTRIES, Publicado como ENSAYO en *Agrociencia* 46
- 2 Andriulo, A., Sasal, C., Améndola, C. y Rimatori, F. (2003). “Impacto de un sistema intensivo de producción de carne vacuna sobre algunas propiedades del suelo y del agua. INTA, Argentina”. 32 (3): 27-56, Argentina
- 3 McCarty, P. L. (1982). *Anaerobic Digestion* 1981 Hughes, D. E., et al., eds., Elsevier, Amsterdam, 3-22.
- 4 Lee, J.G. y Jun, J.H. (2007). Biogas purifying for fuel cell power plant. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*.,21(4),p. 440-444
- 5 Converti, A. (2009). Biogas production and valorization by means of a two-step biological process, *Bioresour. Technol.* 100 5771–5776
- 6 Miner, J. R., Humenik, F. J. y Overchash, M. R. (2000). *Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality*. Environmental Quality. Iowa State Univertisy Press. Ames, IA, USA. pp: 318.
- 7 Santamaría, R. S., Ferrera, C. R., Almaraz, S. J. J., Galvis, S. A., Barois B. I. (2001). DYNAMICS AND RELATIONSHIPS AMONG MICROORGANISMS, C-ORGANIC AND N-TOTAL DURING COMPOSTING AND VERMICOMPOSTING, ARTÍCULO en *Agrociencia* 35: 377-384. México, D.F.
- 8 Krishnamoorthy, R. V. y Vajranabhaiah, S. N. (1986). Biological activity of earthworm casts: an assessment of plant growth promotor levels in the casts. *Proc. Indian Acad. Sci. (Anim. Sci.)*, 95 (3), 341-51.
- 9 De La Rosa, M.V., Pérez, L. M. E., Medina, H. E. Y Martínez, P. M. A (2011). PRODUCCIÓN DE COMPOSTA Y VERICOMPOSTA A PARTIR DE LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN RASTRO. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27(3) 263-270. México. Durango
- 10 Varnero, M. M. T. (2011). *MANUAL DE BIOGÁS*. p 1-115. ISBN 978-95-306892-0. Chile. Santiago de Chile.
- 11 Hilbert, J., Eppel, J. (2007). *Desafíos y Estrategias para Implementar la Digestión Anaeróbica en los Agrosistemas*. Argentina.
- 12 Oliver, G. R. y Taboada, S. M. (2004). La lombricultura, una propuesta al medio rural Huitzilac, Morelos, estudio de un caso. En. *I congreso Internacional de Lombricultura y Abonos orgánicos: inocuidad alimentaria y ambiente sano*, p 45-47, México, Jalisco.

- 13 Naranjo, C. C. M. (1984). EL USO DEL COMPOST COMO MEJORADOR DEL SUELO EN LA AGRICULTURA. Folleto N° 1- SARH - INIA - CIAB - CAEAJAL.
- 14 Martí, H. J. (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. GTZ-Energía. ISBN: 978-99954-0-339-3. Bolivia
- 15 Metcalf y Eddy. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse (4 ed.). Nueva York, Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill.
- 16 Camacho, A., Giles, M., Ortigón, A., Palao, M., Serrano, B. y Velázquez, O. (2009). Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- 17 Díaz, E. (2002). Guía de lombricultura. Lombricultura una alternativa de producción. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio Capital de la Rioja. Argentina, Buenos Aires
- 18 Gutiérrez, V. E., Juárez C. A., Mondragón, A. J., Rojas S. A. L. (2007). Dinámica poblacional de la lombriz *Eisenia foetida* en estiércol composteado y fresco de bovino y ovino. REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504, Volumen VIII Número 6, México, Michoacán.