

Comparación del rendimiento del bioabono producto del proceso de digestión anaerobia con el del vermicomposteo en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L., Brassicaceae)

¹Juan A. Villanueva Hernández, René A. Medina Espinosa

¹P.E. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Libramiento Norte Poniente 1150. Col. Lajas Maciel Tuxtla Gutiérrez, Chiapas México Edificios 15 y 16 de Ciudad Universitaria E-mail : antonio.villanueva@unicach.mx Teléfono: (961) 2548667

RESUMEN

La agricultura representa una de las principales actividades para la producción de alimentos; pero los métodos que son empleados para llevarla a cabo traen consigo problemáticas medioambientales, económicas y sociales. Este trabajo se planteó como una investigación experimental, teniendo como objetivo comparar dos alternativas para la producción de alimento en la agricultura, usando abonos naturales en un cultivo de ciclo corto, como el rábano (*Raphanus sativus* L.), obtenidos por dos procesos: vermicomposteo y digestión anaerobia. La aplicación del humus producto del vermicomposteo fue la técnica más adecuada para la fertilización, dado que de 100 % de ingreso de material a degradar, se obtiene 95 %, a diferencia de la digestión anaerobia en la que de 100 % del material de carga, únicamente se obtiene 10 % de efluente sólido.

Palabras claves: digestión anaerobia, humus, vermicomposta.

ABSTRACT

Farming represents one of the main activities for food production. But the methods that are used for achieving it are the cause of many environmental, economy, and social problems. This work was based on an experimental research. The prime aim was comparing two ways of food production by mean of natural fertilizing in a short-cycle crop, such as radish (*Raphanus sativus* L.) obtained by two processes: Vermicomposting, and anaerobic digestion. The application of humus (product of vermicomposting) was the most suitable technique for fertilization, because from 100 % of material for composting, it was gotten 95 %, meanwhile with anaerobic digestion from 100 % of material it was only gotten 10 % of solid effluent.

Key words: anaerobic digestion, humus, vermicomposting.

INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes químicos representa la opción más utilizada por el sector agropecuario para aportar nutrimentos al suelo, pero éstos degradan progresivamente la fertilidad del mismo, lo que a la larga significa la pérdida de vida de éste, teniendo que aumentar constantemente la cantidad de producto para obtener los resultados esperados. El uso extensivo de fertilizantes también puede ocasionar el aumento de los niveles de nitratos en la tierra y en el agua potable. Una de las consecuencias de la ingesta excesiva de nitratos para la salud humana es la formación de metahemoglobina, la cual disminuye la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre y que, en el caso de los niños, se conoce como síndrome del niño azul. La ingesta excesiva de nitratos también puede incrementar la formación de nitrosaminas

en el estómago, lo que tiene efectos genotóxicos (Yassi, Kjellström, Kok y Guidotti, 2002).

La generación de residuos es otro factor que debe considerarse en el sector agropecuario, debido que produce una gran cantidad de los mismos y que al carecer de información al respecto se desconocen las implicaciones que trae consigo el mal manejo de éstos, así como el aprovechamiento que podría dárseles. Priorizando, se debería promover en primer lugar la utilización de todo residuo orgánico a nivel interno de las fincas (Cubero y Vieira, 1999). Por esta razón la aplicación de técnicas de fertilización orgánica, como el uso de bioabono representa la alternativa más viable para conservar el medio ambiente y favorecer a la economía de quienes la utilicen; además presenta los siguientes beneficios: provee los nutrientes que los cultivos necesitan, mejorando la fertilidad de los suelos que han sido sobre explotados; se pueden

obtener de manera fácil y económica, aprovechando la materia prima generada diariamente, como es el caso de las excretas de animales, agua residual y/o toda clase de desechos orgánicos.

Asimismo, es necesario realizar estudios comparativos del abono obtenido de los diferentes procesos naturales, para generar resultados que brinden a la sociedad una visión clara sobre los beneficios que representan estas alternativas ecológicas sobre los métodos convencionales. Entendiéndose que las propuestas de alternativas ecológicas deben de ser económicamente viables, amigables con el ambiente, factibles y socialmente aceptables, como un principio de sustentabilidad.

El objetivo general de la investigación fue comparar el rendimiento del bioabono producto del proceso de digestión anaerobia con el del vermicomposteo de las excretas de ganado bovino en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.), mediante la evaluación del tamaño y peso de las raíces. Teniendo como objetivos específicos: evaluar la estabilidad del sustrato en los procesos de digestión anaerobia y de vermicomposteo, mediante el monitoreo de parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, sólidos volátiles y humedad), para la determinación de su estabilidad. Caracterizar el suelo de siembra mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, sólidos volátiles y humedad). Preparar el suelo para la siembra del cultivo. Todo esto desde una investigación experimental, estableciendo dos parcelas de prueba por cada uno de los abonos orgánicos y dos parcelas de cultivo control.

MÉTODOS

Los métodos se estructuraron dadas las características propias de la investigación, desde un diseño cuantitativo de tipo experimental. El estudio se realizó en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, ubicada en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, con una precipitación media anual de 1 005.1 mm y una temperatura media anual de 31.6°C. El área total de ensayo fue de 8.64 m², el área por cama de siembra fue de 3 m² (3x1) con un área útil de 1 m² por cada división, en donde se realizaron dos pruebas a diferentes dosis.

Método por digestión anaerobia

Primera etapa: caracterización del sustrato

Para esta etapa se midió la temperatura del sustrato de manera directa con ayuda de un vernier digital LabQuest. Además, se tomó una muestra del sustrato y se procedió a

determinar la humedad y los sólidos volátiles, de acuerdo con la NMX-AA-016-1984 y NMX-AA-18-1984, respectivamente. Midiendo el pH de manera directa utilizando un potenciómetro marca HI 3,220 pH/mv/temperatura HANNA instruments.

Segunda etapa: carga del digestor

El proceso de digestión anaerobia se realizó en un biodigestor tipo Batch de plástico polietileno tipo bidón, con una capacidad de 50 litros, que consta de un sistema de entrada "influyente" y una salida "efluente", una salida para la recuperación de biogás y otra para la toma de muestras; para la primera carga se utilizó un volumen de 36 litros de excretas de ganado bovino, manejándose una relación 1:1 (18 litros de excretas y 18 litros de agua). En la segunda carga el digestor se llenó con 33 litros de influyente con las mismas condiciones de la primera carga. En la segunda carga el volumen ingresado al digestor fue menor, dado que éste se dejó con 10 % de inóculo obtenido del primer proceso, con el fin de facilitar el desarrollo del proceso de digestión.

Tercera etapa: evaluación de la estabilidad del sustrato

La evaluación de la estabilidad del sustrato se realizó monitoreando los siguientes parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, humedad y sólidos volátiles); se ejecutó una vez por semana, con excepción de la temperatura que se monitoreó diariamente. La temperatura interna del sustrato se midió directamente con ayuda de un vernier digital LabQuest, en horario de 12:00 pm. La humedad y los sólidos volátiles se midieron de acuerdo con las NMX-AA-016-1984 y NMX-AA-18-1984, respectivamente. El pH se midió directamente utilizando un potenciómetro marca HI 3,220 pH/mv/temperatura HANNA instruments.

Método por vermicomposteo

Primera etapa: acondicionamiento de sustrato

En las dos cargas realizadas las excretas de ganado bovino se sometieron a un precomposteo, dado que este tipo de sustrato no puede incorporarse de manera directa, el proceso consistió en secar las excretas durante tres semanas, dando vueltas a la pila para uniformizar el secado y después de secar se regó diariamente a las 07:00 hrs. con agua durante una semana.

Segunda etapa: caracterización del sustrato

Para la caracterización del sustrato se midió la temperatura directamente con un termómetro de mercurio y el

pH utilizando un potenciómetro marca HI 3,220 pH/mv/temperatura HANNA instruments, de acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2007. Se tomó una muestra del sustrato y se procedió a determinar la humedad y los sólidos volátiles, de acuerdo con las NMX-AA-016-1984 y NMX-AA-18-1984.

Tercera etapa: inoculación del sustrato

La primera carga se inoculó con un kilo y medio de lombrices californianas (*Eisenia foetida*) usando una cama de madera de 3x1x1 m³ (largo x ancho x alto), en la cual se colocaron 10 cm de sustrato (excretas de ganado bovino), a lo largo y ancho. Para la segunda carga no fue necesaria la inoculación dado que las excretas se añadieron a la cama en donde se inició el proceso.

Cuarta etapa: evaluación de la estabilidad del sustrato

La evaluación de la estabilidad del sustrato se realizó monitoreando parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, humedad y sólidos volátiles). Se llevó a cabo una vez por semana, de igual manera que para el proceso de digestión anaerobia, la temperatura se monitoreó de manera diaria a las 12:00 pm. La temperatura del sustrato se midió directamente utilizando un termómetro de mercurio y el pH utilizando un potenciómetro marca HI 3,220 pH/mv/temperatura HANNA instruments de acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2007. La humedad y los sólidos volátiles se midieron de acuerdo con las NMX-AA-016-1984 y NMX-AA-18-1984, respectivamente.

Método para la caracterización del suelo de siembra

El suelo de siembra se caracterizó midiendo la temperatura directamente con un termómetro de mercurio y el pH con un potenciómetro marca HI 3,220 pH/mv/temperatura HANNA instruments. Se tomó una muestra de sustrato y se procedió a determinar la humedad y los sólidos volátiles, de acuerdo con las NMX-AA-016-1984 y NMX-AA-18-1984.

Preparación del suelo y siembra

Se trazaron dos camas de 1 m de ancho por 3 m de largo, las cuales se dividieron en tres secciones para la aplicación del humus y el abono obtenido del digestor, así como el espacio para el testigo. Después del trazo de las camas, con la ayuda de un pico se procedió a remover el suelo a una profundidad aproximada de 25 cm, se retiraron las piedras más grandes, así como hojas o ramas esto con la finalidad de permitir el buen desarrollo de las plantas. En la primera siembra se aplicaron dos kilogramos de

bioabono por metro cuadrado, el cual se esparció por toda el área y con la ayuda de cultivadores se homogeneizó completamente con la tierra, con excepción de los espacios destinados para el testigo.

Para la segunda siembra se aumentó la cantidad de bioabono por metro cuadrado, se aplicaron cuatro kilogramos y se realizó el mismo procedimiento que para la primera siembra. Posteriormente a la aplicación del bioabono en el suelo de siembra se procedió a realizar las actividades de nivelación, trazo de surcos para siembra a una distancia aproximada de 5 cm entre punto y punto; con la ayuda de los dedos se hicieron hoyos de aproximadamente 1 cm de profundidad, en los cuales se depositaron de 2 a 3 semillas, y se recubrieron con tierra. Posteriormente a la siembra, las camas se cubrieron con hojas de plátano por tres días, esto para proteger las semillas del viento, lluvia y conservar una humedad adecuada.

El cultivo requirió de cuidados durante el periodo de crecimiento, los cuales consistieron en: uno) el riego diario por la tarde para evitar la evaporación y conservar la humedad; dos) el aclareo de los espacios donde germinó más de una planta, se arrancaron aquellas que eran más pequeñas, dejando una sola por punto, para evitar que compitieran por la luz, los nutrientes, el agua y espacio; tres) el deshierbe y el aporque, que consistieron en arrimar la tierra al tronco de las plantas, para proteger las raíces y para que la planta pueda sostenerse y crecer; cuatro) el control de plagas, para evitar que el cultivo fuera afectado por plagas, se aplicaron infusiones de ajo y cebolla, de manera directa sobre las plantas, con la ayuda de un atomizador, dos veces por semana. Posteriormente a esto se realizó la cosecha del cultivo a los 30 días después de la siembra, se removió la tierra manualmente para aflojar la raíz y esta pudiera arrancarse.

Para la evaluación del rendimiento del bioabono se registró el diámetro, longitud y peso del cultivo; posteriormente realizó un análisis estadístico, conocido como test de Kruskal-Wallis, para comparar los resultados obtenidos en cuanto al peso de las raíces, utilizando el software statgraphic 5.1 plus. Este test compara las medianas en lugar de las medias, debido a que existe una diferencia superior de 3 a 1 entre la desviación típica más pequeña y la más grande, en cuanto al peso de los rábanos; y esto puede causar problemas si se utilizara un análisis de varianza; puesto que el análisis de la varianza asume que las desviaciones típicas en todos los niveles son iguales.

RESULTADOS

Resultados obtenidos en el proceso de digestión anaerobia

Parámetro	Carga 1	Carga 2
pH	8.18	8.15
Humedad (%)	81.25	81.36
Sólidos volátiles (%)	82.52	82.65

TABLA 1

Resultados de la caracterización del sustrato.

En la tabla 1 se observa que, en las dos cargas, el porcentaje de sólidos volátiles SV (fracción orgánica), se encontraba en los niveles normales de composición de las excretas; de acuerdo con Botero y Thomas (1987), que exponen: la materia orgánica es componente de 80 % de las excretas.

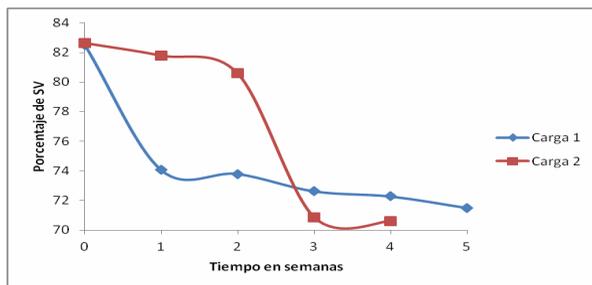


FIGURA 1

Comportamiento de la degradación de la materia orgánica.

En la figura 1 se muestra la diferencia en el comportamiento de la degradación de la materia orgánica. En la primera carga se observa que la mayor degradación se presentó en el transcurso de la primera semana; para la segunda carga, la mayor degradación se presentó en la tercera semana. Posteriormente la degradación fue mínima; lo que nos indica que la mayoría del material ha sido degradado llegando a la estabilización del mismo (Cabañas Vargas, D.D.; Sánchez Monedero, M.A.; Urpilainen, S.T.; Kamilaki, A.; y Stentiford, E.I., 2005). La segunda carga requirió menor tiempo de retención del sustrato debido a la implementación de inóculo contenido procedente de la primera carga, lo que permitió que el proceso de estabilización se obtuviera en menor tiempo.

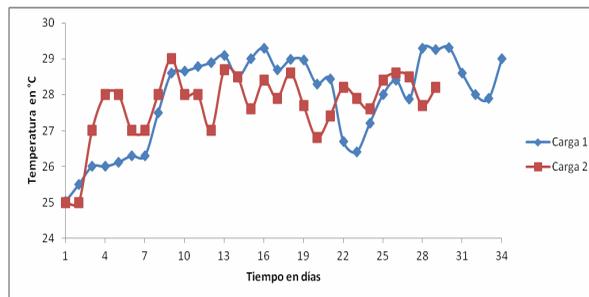


FIGURA 2

Comportamiento de la temperatura (°C).

En la figura 2 se muestra el rango de temperatura presente en el sustrato; al interior del biodigestor fue de 25-30°C en las dos cargas, con ciertas variaciones en el transcurso de los días; este rango de temperatura, de acuerdo con Martí (2006) es conocido como mesofílico (25 y 45°C) y es en el cual se puede llevar a cabo la digestión anaerobia.

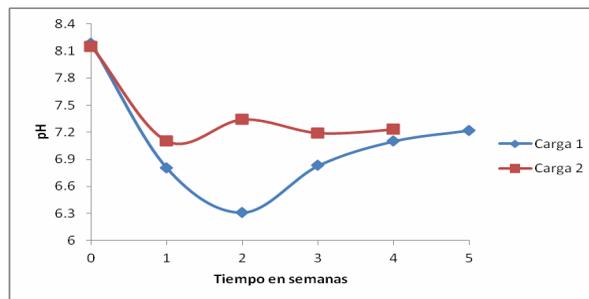


FIGURA 3

Comportamiento del pH.

Los registros de pH se representan en la figura 3, en la que se puede observar que el pH de inicio fue de 8.1 en las dos cargas, disminuyó al entrar al digestor y posteriormente tendió a la neutralidad. El pH obtenido es favorable para el desarrollo de grupos bacterianos metanogénicos, en el rango de 6.5 y 7.5 (Martí, 2006). De igual manera Piedrahita (2000), expone: un rango óptimo de pH para el proceso de digestión está entre 7 y 8, pero también en operaciones correctas podría estar entre 6.5 y 7.5. Con lo anteriormente expuesto se demuestra que el proceso de digestión anaerobia se llevó a cabo de manera correcta, presentándose las condiciones adecuadas durante el tiempo de retención hidráulico del sustrato.

Resultados obtenidos en el proceso de vermicomposteo

Parámetro	Carga 1	Carga 2
Temperatura (°C)	30	27
pH	8.30	8.04
Humedad (%)	73.19	74.59
Sólidos volátiles (%)	74.98	70.32

TABLA 2 Resultados de la caracterización del sustrato.

En la tabla 2 se exponen los resultados obtenidos en el análisis del sustrato previamente precompostado. En la primera y segunda carga se puede observar que la humedad y el pH del sustrato eran adecuados para suministrar como alimento a las lombrices; y el porcentaje de sólidos volátiles SV (fracción orgánica), presentaban un cierto nivel de degradación, esto atribuido a la acción bacteriana en el proceso de precomposteo.

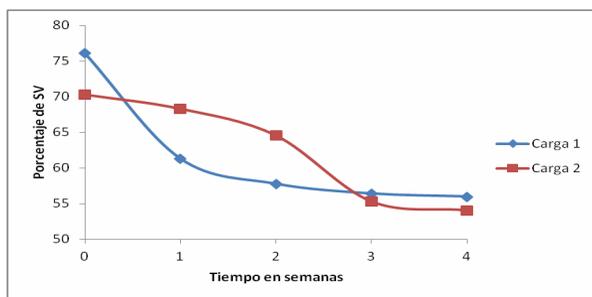


FIGURA 4 Comportamiento de la degradación de la materia orgánica.

Como se muestra en la figura 4, los sólidos volátiles se redujeron en 20 % en la primera carga y 16 % en la

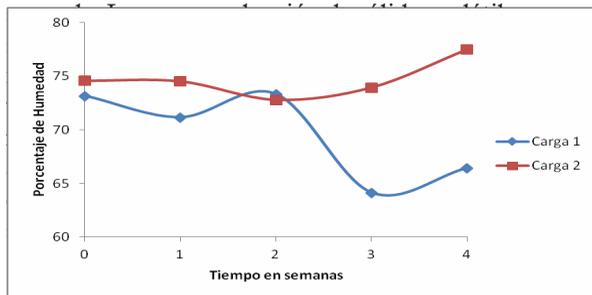


FIGURA 5 Comportamiento de la humedad (%).

Como se muestra en la figura 5, el porcentaje de humedad en el sustrato de las dos cargas se mantuvo en un rango de 65-80 %, el cual se encuentra dentro de los valores óptimos para el correcto desarrollo de las lombrices. Esto de acuerdo con Riquelme y Briceño (2005), que exponen: las condiciones más favorables para que la lombriz produzca y se reproduzca se presentan a una humedad de 80 % y es aceptable hasta 60 %.

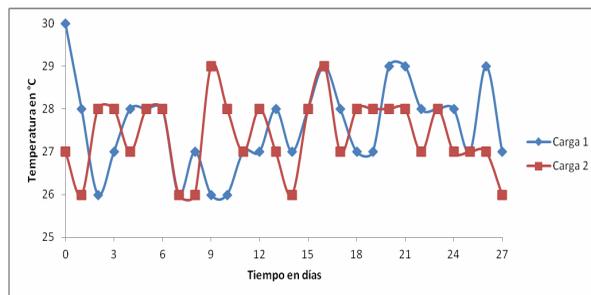


FIGURA 6 Comportamiento de la temperatura (°C).

La temperatura es uno de los parámetros más importantes para el desarrollo adecuado de las lombrices. Como se muestra en la figura 6 en el transcurso del proceso el rango varió entre 26-29°C con algunas leves

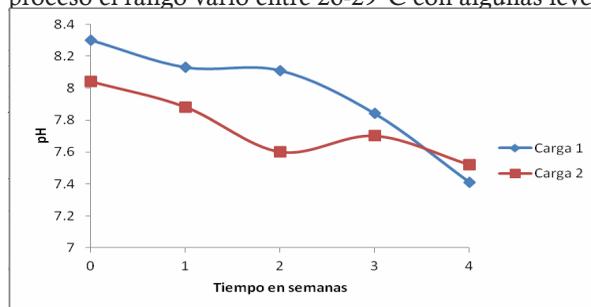


FIGURA 7 Comportamiento del pH.

En la figura 7 se muestran los valores de pH registrados en el proceso, los cuales mostraron una tendencia a la neutralidad, debido a la actividad metabólica de las lombrices que tiene la característica de contribuir a la regulación del equilibrio ácido –básico. Lo que nos indicó que las lombrices no fueron afectadas por este comportamiento. La lombriz acepta sustratos con pH 's de 5 a 8.4 disminuidos o pasados. En esta escala la lombriz entra en una etapa de dormición (Riquelme y Briceño, 2005).

Resultados obtenidos en la caracterización del suelo de siembra

Parámetro	Suelo 1	Suelo 2
Temperatura (°C)	24	22
pH	7.52	7.65
Humedad (%)	27.78	23.56
Sólidos volátiles (%)	4.29	7.60

TABLA 3

Resultados de la caracterización del suelo.

En la tabla 3, se puede observar que la cantidad de materia orgánica contenida en el primer suelo de siembra es menor que la del segundo, esto permitió un mejor desarrollo del cultivo en la segunda siembra, debido a que el suelo presentaba mejores condiciones iniciales.

Resultados obtenidos de la evaluación del rendimiento

Evaluación del rendimiento de la primera cosecha

	Tamaño Muestral	Rango Medio
Testigo	32	58.48
Testigo repetición	32	54.28
Digestor	36	108.74
Digestor repetición	37	87.27
Humus	41	156.81
Humus repetición	38	164.61

Estadístico = 103.96 P-valor = 0.0

TABLA 4

Resultados obtenidos del test.

Puesto que el p-valor es inferior a 0.05, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95 % (tabla 4). Para determinar cuáles son las medianas significativamente diferentes entre sí, se presenta una gráfica de caja y bigotes.

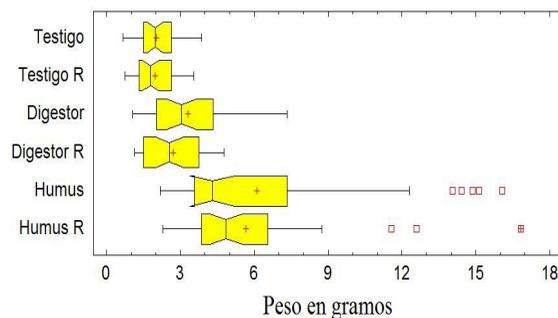


FIGURA 8

Comparación del rendimiento del bioabono de la primera cosecha.

En la figura 8 se interpreta que la distribución de los datos es asimétrica en la mayor parte de los casos, así como que los bigotes indican que los datos con mayor valor se encuentran en los cultivos a los que se aplicó humus de lombriz. También destaca la existencia de valores atípicos en el extremo superior de los resultados registrados en el humus, lo que demuestra la presencia de rábanos con un peso muy alto en ese cultivo.

De igual manera la muesca mediana nos permite apreciar de mejor manera la diferencia existente en cada uno de los cultivos en cuanto a la variable de respuesta (peso de los rábanos), y se puede apreciar que los valores más altos en cuanto a la mediana se encuentran en el cultivo proveniente del humus, con valores entre 4 y 5 gramos.

Evaluación del rendimiento de la segunda cosecha

	Tamaño Muestral	Rango Medio
Testigo	34	57.18
Testigo repetición	37	28.30
Digestor	60	137.86
Digestor repetición	58	141.72
Humus	65	249.06
Humus repetición	66	237.71

Estadístico = 229.46 P-valor = 0.0

TABLA 5

Resultados obtenidos del test.

Puesto que el p-valor es inferior a 0.05, hay diferencias estadísticamente significativas entre las medianas a un nivel de confianza del 95 % (tabla 5). En la figura 9 se pueden observar los resultados en cuanto a la evaluación de la mediana en los datos obtenidos de la evaluación del peso.

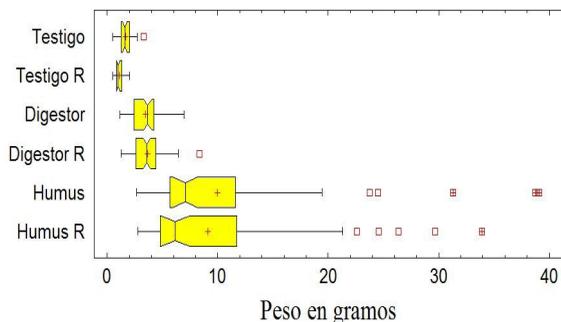


FIGURA 9

Comparación del rendimiento del bioabono de la segunda cosecha.

Analizando la figura 9, es posible observar que la distribución de los pesos, al igual que en la primera cosecha, es asimétrica. Además se puede observar la presencia de valores atípicos, que representan rábanos con un gran peso. Asimismo, los bigotes nos indican que los datos están más agrupados en sus valores superiores, este fenómeno es más evidente en el cultivo fertilizado con humus de lombriz, en el cual los valores de la mediana se encuentran cercanos a 6 y 7 gramos.



FIGURA 10

Comparación de los productos obtenidos en la cosecha del cultivo de ciclo corto (*Raphanus sativus* L.)

En la figura 10 se comparan los productos obtenidos en la cosecha del cultivo corto (*Raphanus sativus* L.). Es posible observar la diferencia de tamaño de acuerdo con los métodos implementados.

CONCLUSIONES

En cuanto a la evaluación de la estabilidad del sustrato en ambos procesos, el comportamiento de la degradación de materia orgánica es similar tanto para el proceso de digestión anaerobia como el de vermicomposteo, dado que el mayor porcentaje de degradación se presentó en las primeras semanas y posteriormente se logra apreciar la estabilidad. En el caso del vermicomposteo es posible observar mayores reducciones en la degradación de materia orgánica, del porcentaje inicial, 20 % para la primera carga y 16 % para la segunda; en comparación con el porcentaje de reducción en el caso de la digestión anaerobia, de 11 y 12 % para las dos cargas respectivamente.

Los resultados obtenidos permiten tener un panorama amplio con respecto a las alternativas de fertilización de las cuales se puede hacer uso, para poder elegir el método que mejor se adapte a las necesidades de los consumidores, demostrándose que la aplicación de humus de lombriz producto del vermicomposteo resulta la técnica más adecuada para fertilización, no solamente por los beneficios que representan para el cultivo, sino porque es una técnica muy fácil de llevar a cabo, desde el control de sus variables como el pH, humedad y la temperatura, hasta la obtención del abono, dado que de 100 % de material ingresado para degradar, se obtiene 95 %, a diferencia de la digestión anaerobia en la cual de 100 % de material cargado, únicamente se obtiene 10 % de efluente sólido además de que las variables que garantizan el buen desarrollo del proceso como el pH y la temperatura, son difíciles de controlar.

LITERATURA CITADA

- BOTERO, B., THOMAS, R. 1987.** *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización.* Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- CABAÑAS VARGAS, D.D.; SÁNCHEZ MONEDERO, M.A.; URPILAINEN, S.T.; KAMILAKI, A.; STEN-TIFORD, E.I. 2005.** Assessing the stability and maturity of compost at large-scale plants. *Revista Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México* 9 (2): 25-30.
- CUBERO, D. Y M. VIEIRA, 1999.** Abonos orgánicos y fertilizantes químicos. ¿Son compatibles con la agricultura? XI Congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de Suelos. *Conferencia* 70: 61-67.
- GÓMEZ-TOVAR L., 1998.** *Manual de lombricultura.* Agricultura sustentable. Instituto Nacional del Sector Agropecuario, Inca Rural, A. C.
- MARTI, N., 2006.** *Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process.* Copyright, Boca Raton, Florida. USA, ISBN 1-58112-332-9.
- PIEDRAHITA, D., 2000.** *Elementos para una tecnología sobre producción de biogás.* Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 137 pp.
- RIQUELME, A. Y R. BRICEÑO, 2005.** *Guía de lombricultura.* Agricultura en el desierto: Desde sus orígenes al futuro. COCEDECITE. Universidad Arturo PRAT. Iquique, Chile.
- YASSÍ, A., T. KJELLSTRÖM, T. KOK Y T. GUIDOTTI, 2002.** *Salud Ambiental Básica.* Primera edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: 319-371.