

Producción de biogás y composta a partir de efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas

María Delgado, Graciela Ruiz, Álvaro Flores y Blanca Gómez

M. Delgado, G. Ruiz, Á. Flores y B. Gómez
Universidad de Guanajuato; Ascurain de Retana 5, Centro, 36000 Guanajuato, Departamento de Ingeniería Ambiental, Campus Celaya-Salvatierra, Departamento de Ciencias Ambientales
mg.delgadorgz@outlook.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

Abstract

Anaerobic digestion is a process proposed for treatment of urban wastewater effluent, in this last, products like biogas and compost are obtained. Compost has been used in the bio-fertilizer production. The integration of anaerobic digestion and composting treatments allow giving to the wastes an energetic valorization and also using the nutrients for raise the amount of them in the compost produced. Two bio-reactors with a volume of 200 L each one was made. Physicochemical characteristics of the effluent were determined either into inflow and outflow. A decrease in parameters such as COD and solids were analyzed. The gas analysis showed an important amount of methane in the biogas generated. The effluent obtained after the anaerobic digestion process was added to two compost containers to analyze the physicochemical characteristics and compare with one container using only water, getting similar results comparable to those obtained with traditional process. It has been concluded that the effluent from urban wastewaters is feasible to use for the biogas and compost production.

9 Introducción

En casi todos los procesos llevados a cabo para proveer de productos a la población se generan grandes cantidades de residuos sólidos, líquidos y emisiones al aire. Es por ello que se buscan alternativas para la gestión integral de los residuos, de manera que estas nuevas opciones ayuden en la recuperación de energía y el reuso de los mismos (Metcalf y Eddy, 2003). Entre los procesos se encuentra el abastecimiento de agua a la población como residencias, instituciones, establecimientos comerciales e industriales, generando una gran cantidad de residuos. Cuando el agua es tratada pasa por una combinación de métodos físicos, químicos y biológicos que están en función de las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual. En un sistema de tratamiento de aguas residuales se generan básicamente dos efluentes, uno de ellos es el agua tratada y el segundo los sólidos que se separan en el tratamiento primario y los que se generan y separan en el tratamiento biológico o secundario. Estos últimos residuos son conocidos como biosólidos y se generan en gran volumen y presentan importantes problemas de tratamiento y evacuación (Mahamud *et al.*, 1997).

Los biosólidos poseen algunas características que pueden usarse y aprovecharse como un beneficio entre estas se encuentran el contenido de nutrientes y materia orgánica. Aunque se requiere que los lodos tengan un tratamiento previo, estos pueden ser aprovechados como fertilizantes, mejoradores de suelo, o como cubierta en rellenos sanitarios (Castrejón *et al.*, 2000). En México no existe una cifra oficial sobre la generación de lodos orgánicos de plantas de tratamiento y son muy pocas las plantas que realizan algún proceso de estabilización, por carecer generalmente de las instalaciones necesarias. La disposición final de estos biosólidos comúnmente es la incineración o relleno sanitario debido al alto costo de instalación de reactores estabilizadores de lodos y sistemas de deshidratación, además de la transportación a los sitios de disposición final (Cardosa y Ramírez, 2002).

Una alternativa para el aprovechamiento de estos lodos es la digestión anaerobia. Es un proceso biológico que consiste en utilizar la materia orgánica, en ausencia de oxígeno en el interior de un biodigestor (Ramos y Hernández, 2007). El biodigestor contiene un sustrato que facilita el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaerobias metanogénicas, que descomponen y tratan los residuos. Se generan dos productos: uno de ellos es un gas combustible conocido como biogás o gas metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). El otro producto es un efluente líquido rico en nutrientes y materia orgánica. Considerando la crisis energética, la obtención de un subproducto (metano) con valor económico, representa una oportunidad para el desarrollo de procesos en los que se aproveche el valor energético de este combustible. Dicho combustible puede ser utilizado para generar calor o energía eléctrica, incidiendo en la reducción del consumo de combustibles fósiles (CETESB, 2002).

Una opción de uso para el efluente líquido o compost que se genera en el proceso anaerobio, es emplearlo como fertilizante, al contener una alta cantidad de materia orgánica así como de nutrientes (McCaskey, 1990). Se utilizan técnicas como el composteo y lombricompostaje para su estabilización. El composteo es un proceso biológico aerobio en el que se oxida la materia orgánica, esta oxidación es realizada por los microorganismos presentes en la misma (Ramírez y Cardoso, 2001). La actividad de los microorganismos genera calor que hace que la temperatura ascienda por arriba de los 50°C durante varios días consecutivos. Esto destruye a los patógenos y da origen a un producto estable e inocuo, de color marrón oscuro, inodoro o con color a humus, llamado composta (Crites y Tchobanoglous, 2000), usada para mejorar la calidad del suelo agrícola. Químicamente, la composta incrementa el contenido de nutrientes, al convertir las sustancias orgánicas en minerales, haciéndolos disponibles para las plantas, disminuyendo los requerimientos de fertilizantes del suelo y es una fuente importante de elementos traza (EPA, 1994). Es por ello que se propone emplear los efluentes de reactores anaerobios alimentados con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la ciudad de Irapuato para la producción de biogás, composta y lombricomposta.

9.1 Método

Producción de Biogás en Reactores a Escala Semi-Piloto: Una vez que se demuestre la producción de biogás a nivel laboratorio, se realizará otro experimento a escala semi-piloto. Lo anterior para evaluar de una mejor manera, la factibilidad de utilizar los lodos de la planta de tratamiento de aguas. Se construirán dos biodigestores de flujo continuo tipo pistón de 200 L considerando lo propuesto por Alvarez-Villafaña y Camarena-Aguilar (2005 y 2006). Los biodigestores se montaron en el Área Experimental para la Sustentabilidad del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Guanajuato. Se establecerán dos tratamientos con diferentes relación lodo-agua en base a los resultados logrados a nivel laboratorio: 1) efluente-agua 2:3 y 2) efluente-agua 1:3. Se empleó el agua potable disponible en el Área. Además se compararon los valores generados con respecto a un biodigestor anaerobio alimentado con estiércol de vaca. Se efectuaron diferentes análisis fisicoquímicos tanto al afluente como al efluente de los reactores con lodos a diferentes tiempos. Esto para establecer las variaciones en su comportamiento a lo largo del tiempo.

Preparación de Composta Adicionada con Efluente de los Biodigestores: Se montó un experimento para comprobar la factibilidad de usar los efluentes de los reactores alimentados con lodos residuales para la producción de compostas. Se trabajó con tres camas con la siguiente composición: paja gruesa (10 cm), paja molida (10 cm), estiércol de vaca (5 cm). Esta composición se repitió hasta casi alcanzar la altura de la cama. Las camas son de cemento y tienen una altura de 40 cm, 1.74 m de largo y 61 cm de ancho. Dichas camas tienen salida para los lixiviados y están a la intemperie, expuestas a los cambios climáticos. Las camas se regarán con efluentes de los reactores de lodos de la PTAR. La cama 1 se irrigará con efluentes del reactor en lote, la cama con la mezcla de los efluentes de los dos reactores de flujo continuo y se contó con una cama como control, esta fue humedecerá con agua. La cantidad de efluente y agua será alrededor de 10 a 15 litros respectivamente, se regaron las camas tres veces a la semana durante 132 Días.

Análisis Físicoquímico:Determinación de Humedad para los Efluentes. Se tomó un volumen del efluente y se filtró a través de un papel filtro (Whatman no. 40) a peso constante. Este se secó a 100 °C durante 24 h en una estufa y se volverá a pesar. Se consideró la diferencia de peso y el volumen para establecer la cantidad de agua presente en las muestras. Análisis de pH. El valor de pH se midió directamente del efluente con ayuda de un medidor de pH. Para el caso de las compostas, se midió a partir de un extracto de composta-agua 1:10. Contenido de Materia Orgánica y Carbono Orgánico para Efluentes y Afluentes. La determinación de materia orgánica y carbono orgánico se realizó a través del método de Walkley y Black (Jackson, 1976). Nitrógeno por Kjendahl. Este se efectuó por el método propuesto por Kjendahl (Cotín, 1976). Sólidos Volátiles Totales y Sólidos Totales. Para esta prueba se utilizó el método que establece la Norma NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de DQO. El análisis se efectuó utilizando un Kit de Hanna por combustión química. Análisis de Gases. Los gases que se producen en el reactor se analizaron a través de un cromatógrafo de gases Clarus 580 Perkin Elmer, que cuenta con una columna: Elite-GC GS Moleiseve (largo 30m, diámetro interno 0.53 mm, diámetro externo 50 mm). Contenido de Materia Orgánica y Carbono Orgánico en las Compostas. La determinación de materia orgánica se realizó a través del método de materia orgánica por ignición (CCREF, 2002).

9.2 Resultados y discusiones

Producción de biogás en reactores a escala semi-piloto: Es importante conocer las características de los lodos a la entrada y la salida del biodigestor anaerobio, la disminución en parámetros de materia orgánica como la DQO y los sólidos volátiles, establecerán si el tratamiento fue efectivo. Además de la concentración de metano en el biogás generado. Se tomaron muestras a los 20 y 40 días de arrancado los biodigestores. Para el caso de la muestra a los 20 días, el % Carbono Orgánico y el de % Materia Orgánica para los dos reactores de lodos, comparados con el reactor de estiércol, observamos que fueron mucho mayores en el reactor de estiércol, comparado con los otros, al alcanzar valores cercanos al 1000%. A diferencia de los reactores de lodos, donde esta cantidad fue menor (alrededor de 12-15% de carbono orgánico y un 22-25% de materia orgánica).

También se notó que en estos dos reactores se está presentando una disminución de la cantidad inicial de materia orgánica a diferencia del reactor con estiércol.

A los 40 días se encontró una ligera disminución de estos parámetros, con un porcentaje de remoción de materia orgánica entre el 2 y 5 %. Otro parámetro importante que nos habla de la reducción o consumo de materia orgánica durante la digestión anaerobia, es la cantidad de sólidos presentes en la alimentación y efluentes de los reactores. Es importante saber entonces su porcentaje para determinar su reducción en el tratamiento. Las Figuras 1 y 2 muestran la reducción de sólidos totales (ST) y sólidos volátiles totales (SVT) a los 20 días.

En el grafico 9 que representa la cantidad de sólidos totales de los reactores 1 y 2 con respecto al reactor de estiércol (RE), cabe resaltar que la cantidad de ST que ingresan al reactor es mínima con valores menores al 2%, al contrario del reactor de estiércol donde se manejan cantidades cercanas al 60%. En la figura 2 se cuantificaron las cantidades de SVT las cuales, tienen una relación directa con la cantidad de ST presente, mostrando valores menores al 1%, mientras que el control alcanzó un 37%. Si bien la cantidad de sólidos debe disminuir después del tratamiento de la digestión anaerobia, observamos que en este experimento un aumento de los ST adjudicado a la producción de metabolitos intermedarios en el proceso (Rodríguez, 2004). La cantidad de ST a los 40 días de tratamiento muestra una disminución en la cantidad de los mismos. Si bien no existe una gran cantidad de sólidos si hay una reducción después del tratamiento. Se notó una disminución de los SVT a los 40 días de alrededor del 30% para el Reactor 2. El Reactor 1 nuevamente no presentó reducción en este parámetro. La humedad es un parámetro relacionado a la cantidad de sólidos que alimentan al reactor y se reducen después del tratamiento, como la cantidad de sólidos es baja, la humedad de los lodos es alta con valores del 99% para los reactores 1 y 2 y un 95%.

Grafico 9 Comparación del contenido de Sólidos Totales (mg/L) a los 20 días de los Reactores 1 y 2 (lodos residuales) contra el reactor de estiércol

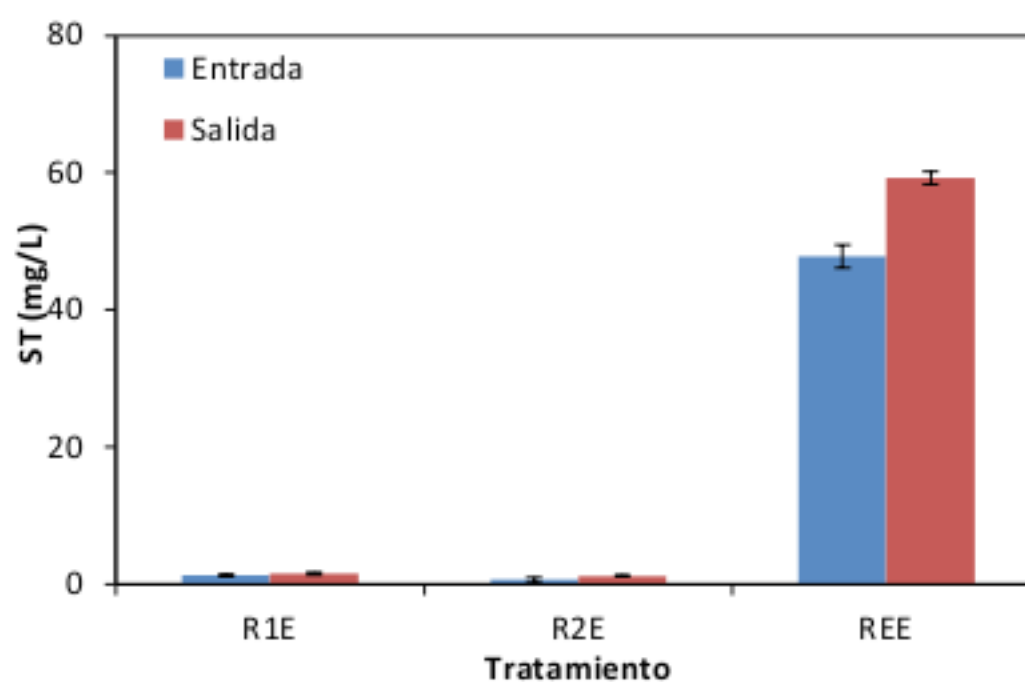
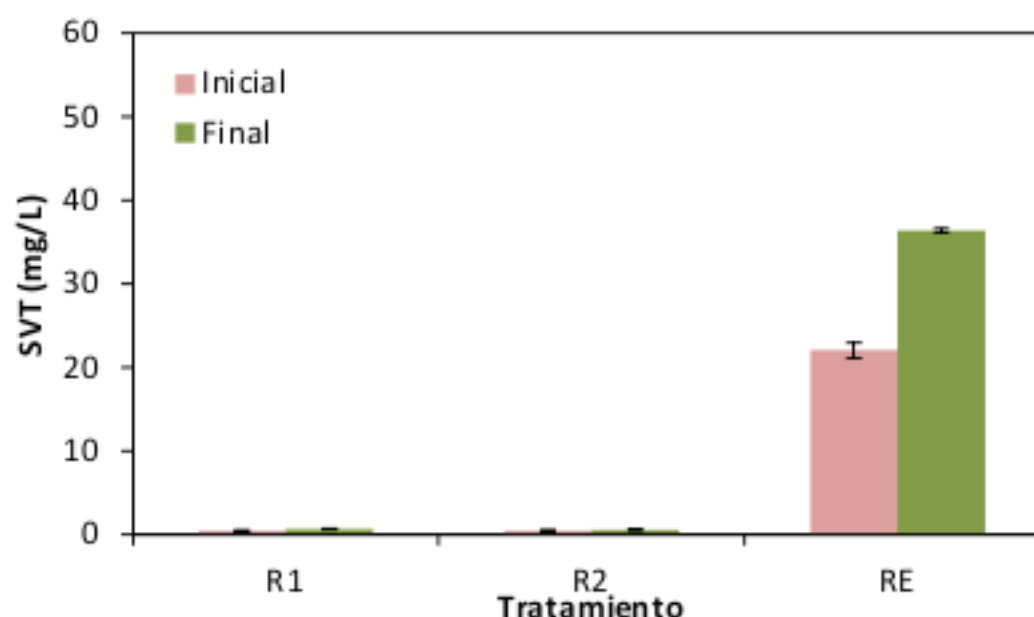
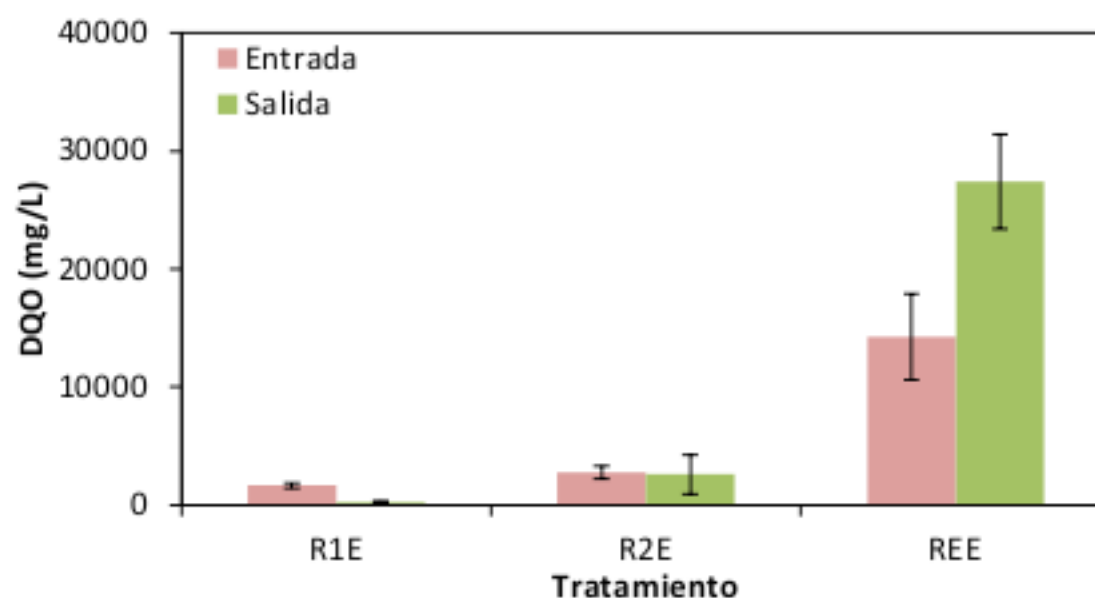


Grafico 9.1 Comparación del contenido de Sólidos Volátiles Totales (mg/L) a los 20 días de los Reactores 1 y 2 (lodos residuales) contra el reactor de estiércol



La DQO es uno de los principales parámetros para valorar un tratamiento, se dice que si existe una alta reducción de DQO se considera una alta eficiencia en el tratamiento. Al mismo tiempo que se reduce el valor de la DQO, se está convirtiendo toda la materia orgánica a metano (Moeller, 1993). La Figura 9.2 muestra los valores de DQO a la entrada y salida del biodigestor. En los Reactores 1 y 2 (biosólidos) la concentración de DQO en la entrada se encuentra entre 1000 y 2800 mg/L logrando una reducción de casi el 80% para el Reactor 1 (250 mg/L). En el Reactor 2 disminuye un 40% la carga orgánica obteniendo un valor de 1600 mg/L al final del tratamiento. Del mismo modo se observa que para el Reactor de estiércol, la concentración de DQO aumenta.

Grafico 9.2 Comparación del contenido de DQO (mg/L) a los 20 días de los Reactores 1 y 2 (lodos residuales) contra el reactor de estiércol



Uno de los parámetros analizados fue el pH que nos representa la producción de metano no se lleve a cabo con un pH bajo. En el experimento este valor se mantuvo entre 7.2 y 8.7, este último valor para el reactor de estiércol que sirvió como control. Los valores recomendables se encuentran entre 6 y 8 (Zenhder *et al.*, 1981). La relación C/N es recomendable sea mayor a 30. Se obtuvieron valores muy altos, sin embargo se presentaron buenos resultados lo que nos indica que la relación con la que se trabajó fue la adecuada.

Producción de metano en los reactores a escala semi-piloto: Se midió la producción de metano en los diferentes reactores a escala semi-piloto. Se encontró que el reactor alimentado con estiércol presentó la mayor producción de metano conforme pasaba el tiempo (Figura 9). Esto era de esperarse por ser un material rico en materia orgánica y sólidos que permite lograr grandes producciones. En el caso de los reactores con lodos de la PTAR, se encontró que la relación 1:3 agua-lodos, mostró la mejor producción de metano conforme pasó el tiempo. Esto muestra es factible producir metano a una mayor escala empleando lodos de la PTAR. Será necesario realizar pruebas con cantidades más grandes de lodos en la proporción para determinar si en un momento dado, se puede alcanzar los niveles de generación del reactor con estiércol.

Tabla 9 Valores promedio de los parámetros medidos en los efluentes a la entrada y salida del biodigestor, a los 20 y 40 días

Parámetro	Reactor 1				Reactor 2				Reactor estiércol	
	Día 20		Día 40		Día 20		Día 40		Entrada	Salida
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida		
DQO (mg/L)	1,641	249	470	400	2,731	2,585.33	762	684	14,260	27,410
ST (mg/L)	1.35	1.55	2.70	2.38	0.65	1.2	1.72	1.16	47.8	59.25
SVT (mg/L)	0.40	0.63	0.76	1.06	0.43	0.55	0.70	0.54	22.05	36.40
pH	7.72	7.61	7.52	7.63	7.24	7.71	7.13	7.76	8.73	8.25
C/N	37.71	58.00	795.81	2,441.71	102.57	33.57	393.44	313.73	174.63	201.85

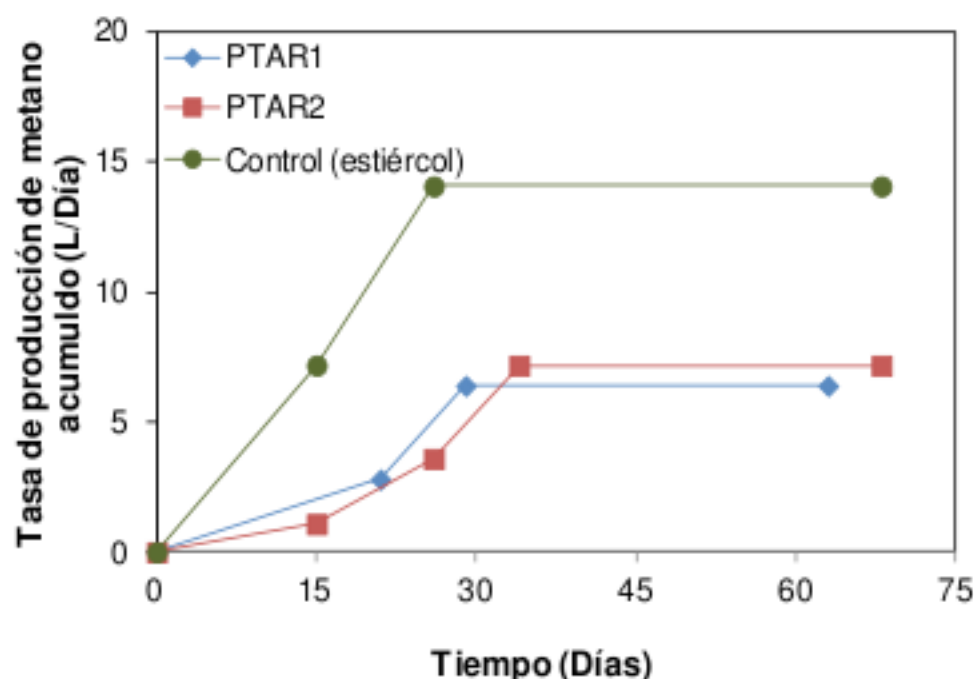
Producción de composta empleando efluente del reactor anaerobio alimentado con lodos de la PTAR:

Se propuso utilizar los efluentes de los reactores que usaban los lodos residuales como sustrato, para enriquecer compostas aprovechando los nutrientes que estos residuos contienen. Los resultados de esta experimentación se discute a continuación. La actividad microbiana produce un incremento en la temperatura atribuido a las oxidaciones biológicas exotérmicas, se conoce como la fase termofílica, en la cual ocurre una descomposición rápida de la materia orgánica y a su vez libera la composta de microorganismos patógenos (Vicencio de la Rosa *et al.*, 2011).

Por esto la importancia de monitorear la temperatura del experimento de las compostas, además de conocer el comportamiento de las tres camas, bajo sus propias condiciones (Grafico 9).

Podemos ver que durante los primeros 30 días hubo un aumento en la temperatura alcanzando casi los 50°C. Entre los 40 y 80 días se presentó una disminución en la temperatura, manteniéndose casi constante y cercana a los 20°C. Esta disminución en la temperatura se le atribuyó a la falta de materia orgánica y nitrógeno para ser consumida por los microorganismos. Por lo tanto se removieron las camas de composta para adicionar sulfato de amonio como fertilizante para aumentar la cantidad de nitrógeno presente y estiércol para la materia orgánica.

Grafico 9.3 Tasa de producción de metano para los diferentes reactores alimentados con lodos de la PTAR



Posteriormente la temperatura incrementó a un valor cercano a los 40°C (Figura 9.5), sin embargo, nuevamente disminuyó para estabilizarse a 20°C hasta el final del experimento. El decaimiento de la temperatura se considera un buen indicador de la fase final de la biooxidación de la materia orgánica y se da por terminada cuando la temperatura se mantiene constante y no varía con el mezclado (Iglesias y Pérez 1989; Haug 1992). En estas condiciones la composta tiene un cierto grado de madurez. Si bien observamos que las tres camas tuvieron comportamientos similares con respecto a la temperatura, fue la cama irrigada con los efluentes del reactor continuo en donde se presentó una mayor temperatura y por tanto esta cama es la que tuvo una mayor actividad microbiana. El pH es un factor importante durante el proceso de composteo (Rubio, 1985). Se sugiere un pH óptimo entre 6.5 a 9 (Rubio, 1985). En el caso de las compostas regadas con efluentes se los reactores de PTAR, éstas iniciaron con un pH de 8.3 para la cama regada con los efluentes de los reactores continuos, 9.5 para la cama con efluente del reactor en lote y 9.3 para el control sin efluente. Es importante también saber la cantidad de materia orgánica que esta degradándose. Esta a su vez también puede permanecer y enriquecer la composta.

Los valores obtenidos de porcentaje de materia orgánica por ignición nos dan un porcentaje inicial de alrededor del 5% para las camas 1 y 2, el control tiene un menor contenido con menos del 4% (Grafico 9.6).

El porcentaje disminuyó al analizarse después de 100 días de tratamiento, con valores de materia orgánica menores al 1% (Grafico 9.6). Ésta disminución se debe a que los microorganismos la están consumiendo y se logra un proceso de humificación para enriquecerla, también se le conoce como proceso de maduración de la composta. Los valores de nitrógeno en la composta son importantes debido a que la presencia de este compuesto representa el alimento para los microorganismos que se encargarán de degradar la materia orgánica presente y después, durante el proceso de compostaje, nos indica la cantidad que estará disponible para cuando el material se adicione al suelo y a su vez sea consumido por las plantas (Vicencio de la Rosa *et al.*, 2011). A continuación se muestran los valores de nitrógeno al inicio, transcurso y final del experimento (Grafico 9.6), observamos valores altos al inicio, después una disminución, que como ya se menciono es debida a lo consumido por los microorganismos. Durante el experimento se notó que no había incremento en la temperatura por lo que se agregó nitrógeno para reactivar la actividad de los microorganismos esto al día 100 a esto se debe el valor tan alto, pero al final notamos que si fue consumido por los microorganismos y obtuvimos compostas con un valor final de nitrógeno de alrededor de 1% para las tres camas. Este valor entra dentro del rango de lo recomendable aunque no es mucho.

Grafico 9.4 Comportamiento de la Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las camas con efluentes de los reactores anaerobios durante los 132 días de tratamiento

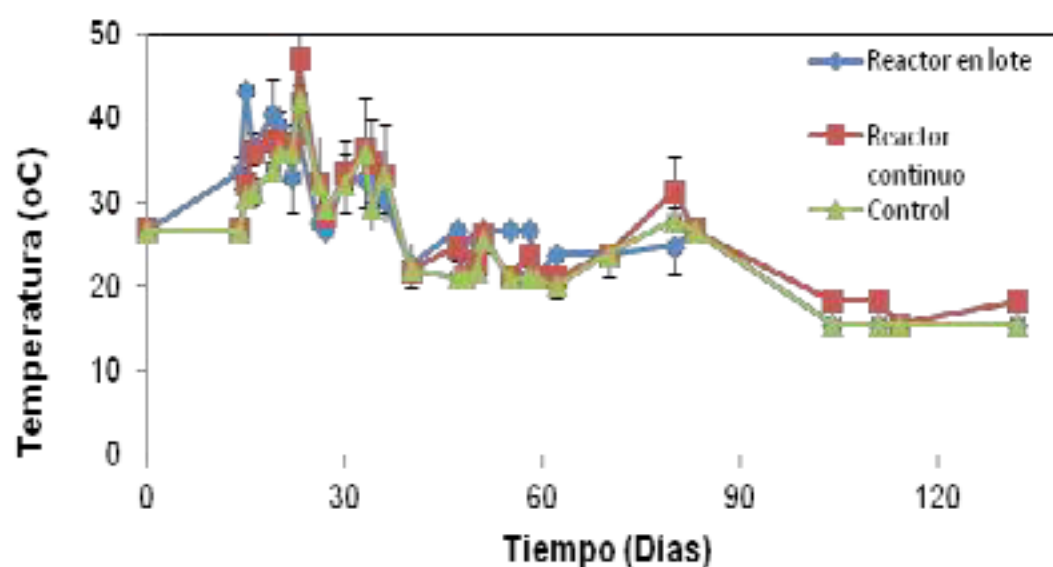
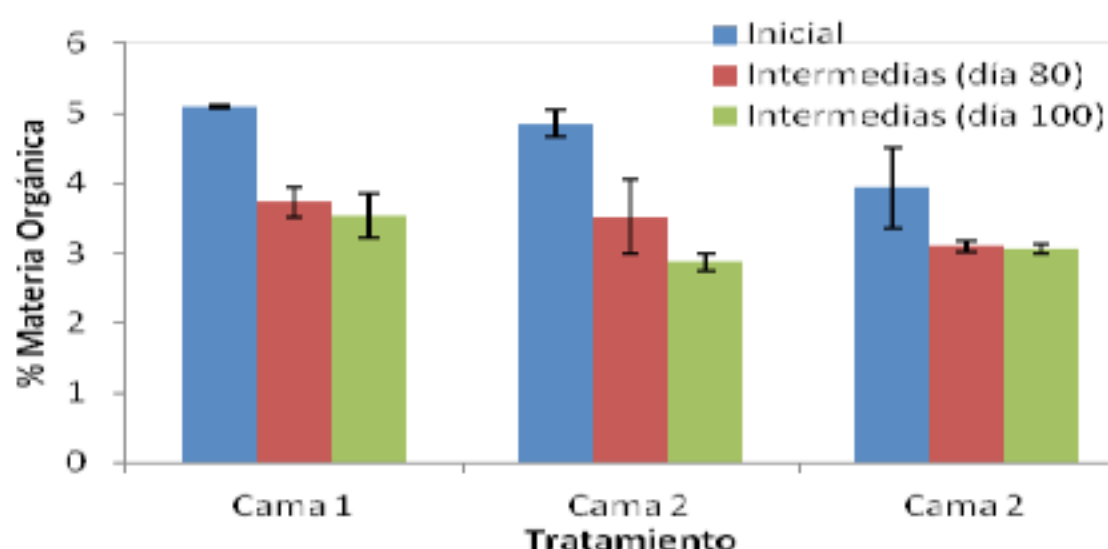


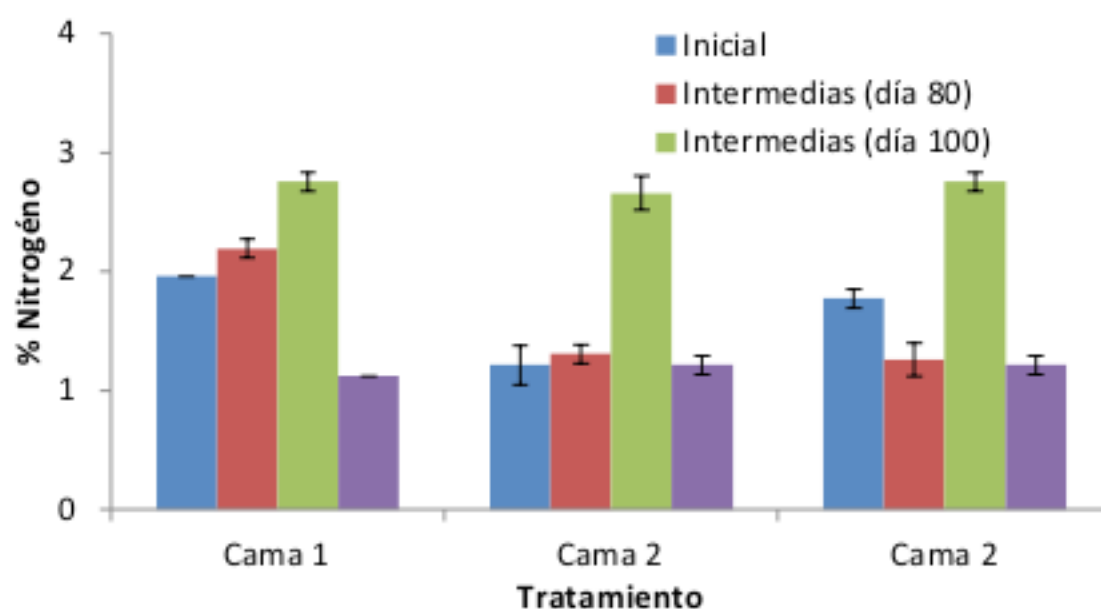
Grafico 9.5 Valores de Materia Orgánica (%) para la producción de composta empleando efluentes de reactores anaerobios para su irrigación



9.3 Conclusiones

La mejor eficiencia del proceso de la digestión anaerobia para la producción de biogás utilizando lodos de una PTAR se encontró con los tratamientos 3 y 6. Estos contenían el lodo de 15 días con una cantidad del mismo de 5 y 7.5 g respectivamente. Además presentaron una disminución de ST y SVT del 25% aproximadamente, así como una degradación de materia orgánica aproximada del 50%. Asimismo, la composición más alta de metano y una producción constante de biogás. Por lo que es recomendable utilizar lodos de un mayor tiempo de almacenamiento con los niveles de las variables bajo e intermedio, incluso superior a la del control con metano. Es por estas razones que se propone que los lodos de PTAR con una edad de no mayor a 15 días son los más viables para producir biogás y con una composición predominante de metano en dichas muestras.

Grafico 9.6 Valores de Nitrógeno (%) para la producción de composta empleando efluentes de reactores anaerobios para su irrigación



Se propone también que para estos tratamientos el tiempo de residencia en el biodigestor debe ser mayor a 4 semanas para una mejor producción de biogás. A escala semi-piloto se logró generar hasta 7.18 L/Día de metano con la mayor cantidad de lodos (relación 1:3). Los parámetros de carga orgánica como la cantidad de SVT y ST para los reactores fueron reducidos en la mayoría de los casos, así como la DQO en la que se eliminó más del 50% a los 20 días y un valor cercano al 10% a los 40 días, para cada uno de los reactores. La aplicación de efluente de reactor anaerobio resultó factible para la producción de composta, al lograr contenidos de materia orgánica similares al proceso sin efluente. Se encontró que el empleo de efluentes de un reactor anaerobio de flujo continuo y en una proporción 1:1 genera una composta con características similares a procesos sin efluentes. Debido a la apariencia valores obtenidos en las camas irrigadas con efluentes, reflejan un resultado prometedor para la utilización de efluentes de reactores anaerobios alimentados con lodos de la PTAR en la producción de lombricomposta.

Estos resultados muestran el potencial de producción de biogás y composta a partir de efluentes producidos en la biodigestión anaerobia de lodos orgánicos resultantes del proceso de tratamiento de aguas residuales urbanas.

9.4 Agradecimiento Al PROMEP por el apoyo otorgado al CA-23-UGTO, asimismo por la beca otorgada a la estudiante.

9.5 Referencias

Álvarez, V. V.J., y Camarena, A.E.A. (2005). Producción de biogás a partir de desechos agropecuarios. IV Verano de la Investigación Docente de la Universidad de Guanajuato.

Álvarez, V.V.J. y Camarena A.E.A. (2006). Evaluación de dos tipos de estiércoles para la producción de biogás en un biodigestor. V Verano de la Investigación Docente de la Universidad de Guanajuato.

Castrejón J, Barrios A, Jiménez B, Maya C, Rodríguez A, González A (2000). Evaluación de la calidad de lodos residuales de México. Instituto de Ingeniería. Grupo de Tratamiento y Reúso. Universidad Nacional Autónoma de México, México, p.1.

CCREF (2002). Test Methods for the Examination of Composting and Compost, CD-Book, The Composting Council Research and Education Foundation.

CETESB. 2002. Primer Inventario Brasileño de Emisiones Antrópicas de Gases de Efecto Invernadero. Informes de Referencia Emisiones de Metano en el Tratamiento y en la Disposición de Residuos. Compañía de tecnología de saneamiento ambiental. Ministerio de Ciencia y tecnología.

Cotín, A (1976). Investigación de suelos; métodos de laboratorio y procedimientos para recoger muestras. Editorial Trillas. Pp 45-46

Crites, R., y Tchobanoglous, G. (2000) Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones, McGraw-Hill, Colombia pp. 665-708

Haug R.T. (1993). The practical handbook of compost engineering. Lewis Publishers, EUA. 717 pp.

Iglesias, J.E. y Pérez, G.V. (1989). Evaluation of city refuses compost maturity: A review. Biol. Waste 27, 115-142.

Jackson, M.L. (1976). Análisis químicos de suelos. Editorial Omega. Barcelona. Pp. 300-303.

McCaskey, A.T. 1990. Microbiological and chemical pollution potential of swine waste. pp. 12-32. In: Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol de Cerdos. CINVESTAV. Guadalajara, Jal., México.

Metcalf, L., y Eddy, H.P. Ingeniería de aguas residuales: redes de alcantarillado y bombeo McGraw-Hill, 1995 p 461

Moeller, G (1993) Estabilización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chapultepec por el Proceso de Digestión Anaerobia, DGCOH, DDF.

NMX-AA-034-SCFI-2001, Análisis de agua- Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

Mahamud L.M., Gutiérrez L.A., Sastre A.H. (1997). Biósólidos Generados en la Depuración de Aguas (I): Planteamiento del Problema. Ingeniería del Agua Vol. 3 Num 2, p 47

Olsen, S.R., Cole, F.S., Watanabe, F.S., y Dean, L.A. (1954). Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Cir 939.

Ramírez C.E. y Cardoso V.L. (2000). Composteo de lodos. En: Curso Teórico-Práctico de Tratamiento de lodos residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Cuernavaca Morelos, México. 17 pp

Ramos, L.J.A., Hernández M.J.I. (2007) Implementación de un Biodigestor Anaerobio. Para la Generación de Energía Eléctrica a partir de Lodos Activados, Producto del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Abasco. Aquaforum año 11 No. 46 pp 26

Rodríguez JA (2004). Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Universidad de Valle Cali. Colombia.

Rubio C.O.A. (1985). Síntesis y evaluación de fertilizantes órgano-minerales. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Chapingo, México, 120 pp.

Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Martínez-Pardo, C., Cegarra, J., Paredes, C. (1996). A microanalysis method for determining total organic carbon in extracts of humic substances. Relationships between total organic carbon and oxidable carbon. *Bioresource Technology*. 57:291-295.

Vicencio-de la Rosa, M.G., Pérez, L.M.E., Medina, H.E., Martínez, P.M.A. (2011). Producción de Composta y Vermicomposta a partir de los Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de un Rastro. *Rev. Int. Contam. Amb.* 27(3) 263-270.

Vigueros, L.C. y Ramírez-Camperos, E. (2002). Vermicomposting of sewage sludge: a new technology for México. *Water Sci Technol*. Vol. (46). Pp 153-158

Zenhder A., Ingorsen K. and Marti T. (1981) *Microbiology of methane bacteria*. Second Edition. International. Symposium on Anaerobic Digestion.

