

APROVECHAMIENTO DE LA COMPOSTA PARA LA OXIDACIÓN DE METANO

Gabriela Reza Bacelis, María Rosa Sauri Riancho, Elba René Castillo Borges y
Roger Iván Méndez Novelo.

Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería
Av. Industrias no contaminantes por anillo periférico Norte S/N Apdo. Postal 150 Cordemex,
C.P. 97310, Mérida, Yucatán. Teléfonos: (999) 941-01-91 y 941-01-92, Fax: (999) 941-01-89
rezagab@yahoo.com

RESUMEN

El metano es uno de los principales gases invernadero y su principal fuente antropogénica son los residuos. Una de las formas por las cuales se elimina el metano es por medio de su oxidación biológica, la cual se lleva a cabo en muchos sistemas naturales y en los suelos, principalmente en aquéllos con mayor contenido orgánico. La composta madura es un material que puede reunir todas las condiciones para el desarrollo y crecimiento de los organismos metanotróficos encargados de la oxidación del metano, por lo que este material puede ser empleado como cubierta en sitios de disposición final con el propósito de eliminar las emisiones de gas.

El objetivo del presente trabajo fue analizar la capacidad de oxidación de metano de compostas procedentes de los residuos orgánicos más comunes en Yucatán. Para la realización de las pruebas se diseñaron y construyeron 9 columnas de tubería de PVC de 20 cm de diámetro y 90 cm de largo, las cuales se llenaron con 3 compostas diferentes (residuos municipales 1 y 2 y residuos de jardín), cada una con 3 espesores distintos (20, 40 y 60 cm). En la parte inferior de las columnas se inyectó una mezcla de $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ de una concentración conocida, se midió la concentración de metano a la entrada y salida de cada columna y a cada 10 cm de altura del material. Las 3 compostas elegidas fueron caracterizadas utilizando los procedimientos estándar de laboratorio para el análisis de composta. El equipo para medir la composición del gas fue el Analizador de Gases de Campo GEM-500. De las compostas estudiadas la que demostró tener una mejor capacidad de oxidación de metano fue la composta RM1 con 20 cm. de espesor, ya que durante toda la fase experimental tuvo una remoción del 100% de metano, sin embargo, como no se pudo controlar el flujo, los resultados no son concluyentes, por lo que se propone controlar el flujo de gas más eficientemente para confirmar estos resultados.

Palabras clave: Metano, composta, oxidación, metanotrófos.

ABSTRACT

Methane is a greenhouse gas and wastes are among its main anthropogenic sources. Methane biological oxidation is a mechanism through natural systems and soils, especially those with high organic content, eliminate this gas. Mature compost can be a suitable substrate for methanotrophs, the micro organisms responsible of methane oxidation in soils; therefore, compost can be used as a cover layer in solid waste disposal sites in order to avoid methane emissions.

The aim of this work was to analyze the methane oxidation capacity of composts obtained from common organic wastes in Yucatan. Nine PVC columns were designed and constructed with a diameter of 20 cm and height of 90 cm. Groups of 3 columns were filled with different composts (municipal solid waste 1 and 2 -RM1, RM2- and green waste). Each group had 3 different compost heights: 20, 40 and 60 cm. A mixture of CH₄-CO₂ (70-30) gas was fed through the bottom of each column. Methane concentration was measured at the feeding point, inside the columns at every 10 cm, and at the top of the column. Prior to the experiment, the composts physical and chemical characteristics were determined, according to standard laboratory methods for composts. A GEM-500 gas analyzer was used for determining gas composition. Best results for methane oxidation were obtained in the height of 20 cm of RM1 compost. This column removed 100% of methane during all the experiment, nevertheless, due to poor gas flow rate control, results were not concluding, therefore, it is necessary to confirm these results controlling the gas injection efficiently.

Keywords: Methane, compost, bio oxidation, methanotrophs.

INTRODUCCIÓN.

El efecto invernadero es un fenómeno que ocurre en forma natural en la atmósfera. No obstante, su efecto benéfico puede ser modificado por actividades humanas que aumentan la concentración en la atmósfera de muchos de los gases (gases invernadero) que lo producen provocando el fenómeno que se conoce como Calentamiento Global.

El calentamiento global causa cambios en el clima, los cambios de temperatura de solamente algunos grados, dan como resultado (EPA, 1999):

- ❖ Lluvias más frecuentes e intensas
- ❖ Aumento en el nivel del agua en playas, ciénagas y otras áreas costeras.
- ❖ Más precipitaciones pluviales en algunas zonas y en otras no suficientes
- ❖ Amplia distribución de ciertas enfermedades infecciosas.

Los principales gases invernadero son: vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluocarbonos (CFC) y ozono (O₃), con una concentración de 1 a 2 % en la atmósfera terrestre.

El metano es el hidrocarburo más simple; a temperatura ambiente es un gas y se halla presente en la atmósfera. Es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable. Sus propiedades físicas y

químicas y su presencia en la atmósfera, lo incluyen dentro del grupo de “gases de efecto invernadero”, ocupando el tercer lugar, detrás del dióxido de carbono y de los CFC, y contribuyendo en un 15 % al calentamiento global (Melendi *et al*, 2003).

Una de las principales fuentes antropogénicas de metano son los rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto (EPA, 2001), en donde la cantidad generada de este gas depende de varios factores entre los que se encuentran la calidad y contenido de humedad en los residuos así como de las prácticas de operación del sitio. En México, para el 2001, se estimaba una generación total de 31'489,000 toneladas de residuos sólidos municipales (SEMARNAT, 2003a). De estos residuos la mayor proporción corresponde a los residuos orgánicos (residuos de comida, jardín y similares), que a nivel nacional representaban 16'500,000 toneladas en el 2001 (SEMARNAT, 2003b), es decir el 52.39 % de los residuos generados en México es material orgánico. La estimación de la generación de metano atribuida a la disposición de residuos sólidos en México fue de 1981.15 Gg/año ($1 \text{ Gg} = 1 \times 10^9 \text{ gr.}$) en 1998. (SEMARNAT/ INE, 2001).

Una de las formas por las cuales se elimina el metano es por medio de su oxidación biológica, que se lleva a cabo en muchos sistemas naturales y en suelos sin influencia humana y es muy importante para el control de las emisiones naturales de metano. Los procesos de oxidación de metano consisten en la conversión de metano en agua, dióxido de carbono y biomasa por medio de la actividad de los microorganismos. La oxidación de metano depende de los siguientes factores:

1. Existencia de microorganismos metanotróficos.
2. Suministro de oxígeno
3. Suministro adecuado de nutrientes y facilidad para la formación de colonias.
4. Adecuado contenido de humedad y condiciones ambientales en el medio.

Los microorganismos que son capaces de oxidar el metano son las llamadas bacterias metanotróficas obligadas, las cuales se especializan en la asimilación de compuestos como el metano y el metanol. Las bacterias metanotróficas descomponen el metano el cual usan como fuente de energía y carbono (Humer y Lechner, 1999a).

La oxidación de metano, por lo tanto, se puede llevar a cabo a través de suelos o en cualquier material que reúna las condiciones necesarias para el desarrollo de los organismos metanótrofos. La composta madura es un material con alto contenido orgánico que puede poseer todas las condiciones para el desarrollo y crecimiento de estos microorganismos al brindar un adecuado suministro de nutrientes, facilidad para la formación de colonias y para retener humedad, además de una adecuada porosidad que asegura la disponibilidad de oxígeno en el material. Por lo tanto, la composta sería un material ideal para realizar la bio-oxidación de metano y analizar su posible utilización en rellenos sanitarios o basureros a cielo abierto para disminuir o eliminar las emisiones de este gas invernadero.

Humer y Lechner (1999b) realizaron experimentos con el fin de encontrar sustratos adecuados para los microorganismos metanotróficos, así como proponer parámetros para lograr un diseño adecuado de la cubierta en los rellenos sanitarios y, de esa forma, optimizar la tasa de oxidación de metano en ella. Entre los sustratos probados se encuentran compostas provenientes de residuos sólidos municipales, y de lodos de drenajes, así como diferentes suelos. Sus resultados muestran que se puede aplicar la oxidación microbiana del metano para el control de las emisiones

gaseosas de sitios contaminados, así como para rellenos sanitarios. Sin embargo cuando se utiliza composta como sustrato en el proceso de oxidación del metano, la composta debe ser un sustrato maduro con bajas concentraciones de amoníaco y libre de nitritos. La composta también debe tener estabilidad estructural a largo plazo y una porosidad adecuada con un alto contenido de agua, para garantizar una permeabilidad satisfactoria de oxígeno y metano (Humer y Lechner, 1999b).

El presente trabajo pretende analizar la capacidad de oxidación del metano en compostas procedentes de residuos orgánicos comunes en la región.

METODOLOGÍA.

Se seleccionaron compostas procedentes de diferentes residuos orgánicos a las cuales se les realizaron las pruebas fisicoquímicas típicas con el fin de determinar sus condiciones al inicio del estudio. Las técnicas empleadas para el análisis de composta se encuentran en las siguientes referencias FCQAO, 1994; University of Leeds, 2000; Norma Mexicana NMX-AA-18-1984; Díaz *et al*, 1993; Leege and Thompson, 1997.

Se diseñó y construyó el equipo que se muestra en la Figura 1, el cual consta de una columna de PVC de 90 cm de altura y 20 cm de diámetro; esta columna dispone de 6 salidas laterales para muestrear la concentración de gas a diferentes alturas, las cuales se encuentran a 10 cm entre sí. La columna cuenta con suministro de gas y drenaje para lixiviados; asimismo cuenta con una tapa que se utiliza para medir los gases de salida y para irrigación. Las columnas se empacaron con composta sin compactación a alturas de 20, 40 y 60 cm. Se inyectó metano a 40 ml/min para la fase de adaptación y desarrollo de microorganismos metanotróficos. Pasando esta etapa, el flujo se aumentó a 60 ml/min. Estos flujos fueron calculados considerando el área superficial de las columnas y que en la cubierta de un relleno sanitario se estima que el flujo de metano fluctúa entre 200 a 300 l/m²d (Humer y Lechner, 1999b).

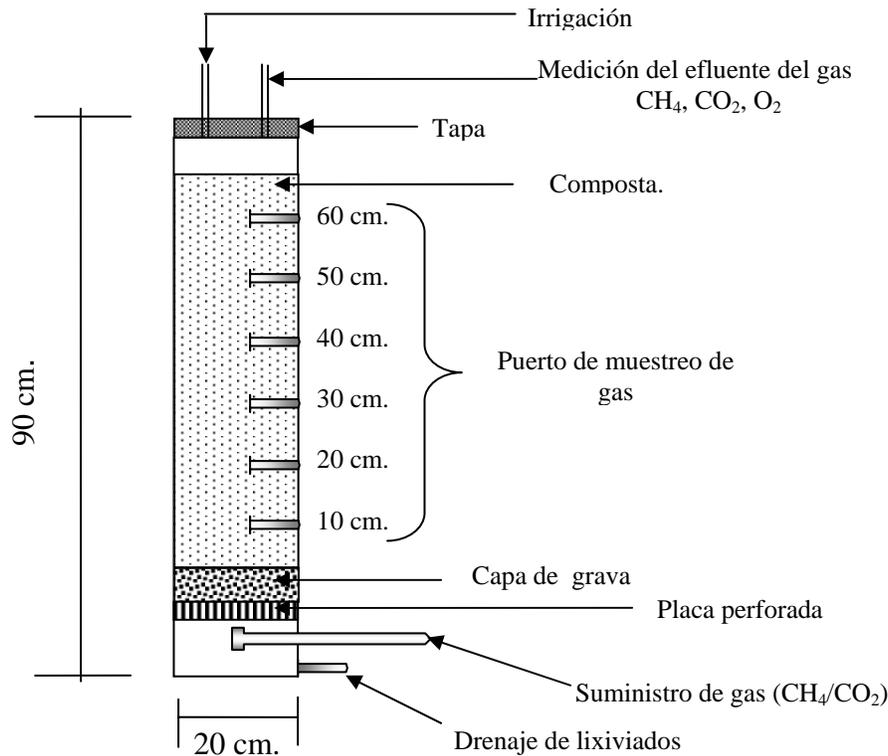


Figura 1. Diagrama de la columna de composta para las pruebas de laboratorio.

Se construyeron nueve columnas iguales las cuales fueron conectadas a un manifold (Figura 2) el cual recibía gas (70% CH_4 / 30% CO_2 v/v) a un flujo que se regulaba con una válvula de aguja conectada a un flujómetro. Cada columna tenía una válvula de aguja para controlar el flujo de gas de alimentación. Para mantener la humedad de las compostas se adicionó agua semanalmente a cada columna; se determinó el contenido de metano en los gases exhaustos (a la salida en la parte superior de la columna), para conocer la cantidad de metano que fue oxidado en la capa de composta. Las mediciones del gas se realizaron durante dos meses, utilizando el Analizador de Gases de Campo GEM-500. Las columnas fueron instaladas al aire libre y protegidas de la lluvia.

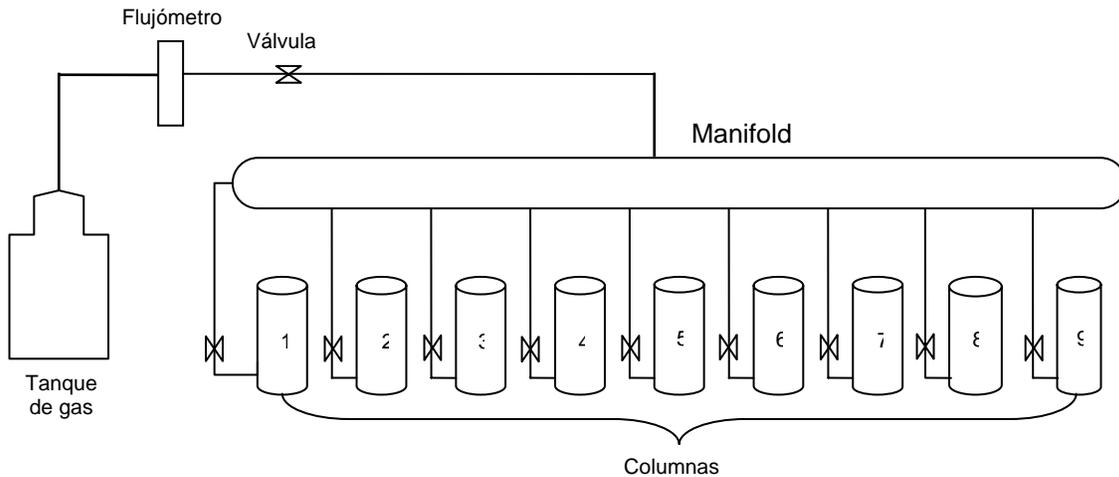


Figura 2. Diagrama de las columnas en la zona de prueba

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Las compostas que se utilizaron para este estudio fueron seleccionadas con base en los residuos orgánicos de alta generación identificados en el Estado, así como por su disponibilidad. Las compostas seleccionadas fueron:

- ❖ Residuos Municipales
- ❖ Residuos de Jardines.

La composta de los Residuos Municipales se obtuvo de las pruebas de composteo que se realizaron en el proyecto "Investigación sobre el uso de compostas obtenidas de desechos en sistemas de manejo de residuos con tecnología apropiada", financiado por CONACYT-SISIERRA. Se seleccionaron dos tipos de composta: una procedente de una pila con aireación manual, la cual tenía 60 semanas de haber iniciado el proceso de composteo y otra de un sistema de aireación natural, que contaba con 48 semanas. La primera se encontraba tamizada. Las compostas fueron identificadas como Composta de Residuos Municipales 1 (RM1) y Composta de Residuos Municipales 2 (RM2), respectivamente. La composta de residuos de Jardín provenía de los residuos que son generados durante los servicios públicos a parques y jardines del Municipio; este material es triturado antes de disponerlo en el lugar para su estabilización y posterior uso en el vivero del municipio que se encuentra en el mismo sitio, se desconoce el tiempo de estabilización.

En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados de los análisis realizados a las compostas.

Tabla 1. Parámetros físico-químicos de la composta.

Prueba	Composta		
	R. Municipales 1	R. Municipales. 2	R. de Jardín
Edad de la composta*	60 semanas	48 semanas	-----

Humedad (%)	12.435	10.195	11.56
Capacidad de retención de agua. (%)	37.21	39.95	26.07
Porosidad. (%)	66.65	67.28	74.40
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	641	1206	379
pH	8.91	9.87	7.60
Sólidos Volátiles (%)	28.41	31.50	82.33
Nitrógeno Total Kjendahl % en base seca	1.387	1.083	1.203
Carbono (%)	15.78	17.502	45.73
% C/N	11.37	16.16	38.01

* Se hace referencia al período transcurrido entre la fecha de inicio del proceso de composteo y el inicio de las pruebas (mayo 2004).

Tabla 2. Resultados de la prueba de capacidad de Autocalentamiento de las compostas.

Composta	Temperatura máxima °C	Grado de descomposición	
R. municipales 1	33.9	IV	Composta terminada
R. municipales 2	40.9	III	Composta fresca
R. de Jardín	51.9	II	Composta fresca

Existen diferencias entre las compostas que fueron utilizadas en estudios similares y las empleadas en el presente trabajo. Entre los parámetros que más resaltan están:

- La madurez de la composta, ya que solo una (RM1) de las tres, se clasificó como composta terminada, y las otras dos se clasificaron como compostas frescas.
- La capacidad de retención del agua es otro parámetro distinto, ya que este valor es muy bajo con respecto al reportado en otros trabajos e influye en la humedad del material, parámetro importante en la oxidación del metano porque a bajos porcentajes de humedad la actividad de las bacterias disminuye.
- El pH ya que en las compostas RM1 y RM2 se tienen valores mayores a 8, el cual está cercano al límite del rango de tolerancia de las bacterias metanotróficas que es pH de 9.

Pruebas de oxidación de metano en compostas.

Durante 8 semanas se realizaron las pruebas de oxidación de metano. La primera semana fue considerada como etapa de adaptación y en las 7 semanas restantes se realizaron las lecturas de concentración de metano en cada una de las columnas y en cada uno de los puntos de muestreo. Durante todo el tiempo las columnas 3 y 4 que corresponden a RM1 y R. de jardín no registraron metano inicial debido a que posiblemente la entrada de gas estaba obstruida, por lo tanto, quedaron descartadas. De las 7 columnas restantes la columna 5 dejó de tener metano a la entrada al finalizar la cuarta semana y la 6 registró una disminución en la concentración de este gas a la entrada al inicio de la sexta semana. Sin embargo, nunca se registró cero % de metano en el influente.

De lo anteriormente expuesto, puede observarse que la concentración de metano en el influente no fue constante para ninguna de las columnas, con excepción de la columna 9 que recibía una concentración de metano de entre 60 y 70% durante todo el experimento; para el resto de las

columnas la concentración de este gas variaba y no se pudo establecer un rango determinado para cada una por la variación de la concentración de metano a la entrada. Esto se atribuye a que el manifold no fue eficiente para distribuir equitativamente el gas en las nueve columnas; otro aspecto es que no fue posible controlar el flujo de gas a la entrada de cada columna debido a que las válvulas no fueron eficientes, y por lo tanto, es difícil establecer cómo se pudo afectar la distribución de gas a través de los materiales probados.

Para la interpretación de resultados, éstos se analizaron considerando el porcentaje de remoción total de metano obtenido en cada columna. Para esto se realizaron los cálculos considerando que la concentración de metano que se detectó a la entrada de cada columna fue el 100%. Los resultados del porcentaje de remoción total de metano se muestran en las Figuras 3, 4 y 5.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento del porcentaje de remoción total de metano en las columnas 1 y 7 que corresponde a espesores de 20 cm.

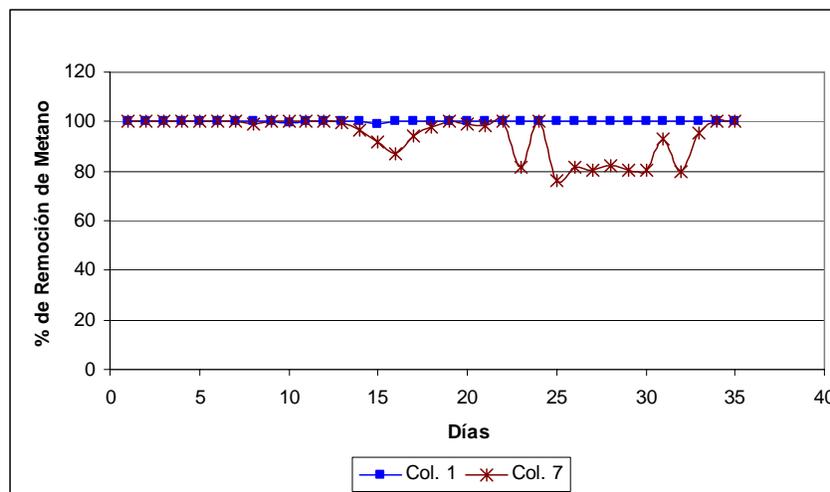


Figura 3. Porcentaje de remoción de metano para las columnas 1 y 7.

En esta Figura se observa que la remoción de metano fue constante en la columna 1 y para la columna 7 se observa un comportamiento irregular a partir del día 12, es decir, el porcentaje de remoción total aumentaba y disminuía constantemente. Ambas columnas tenían 20 cm de espesor siendo diferentes en el material de relleno (RM1 y RM2 respectivamente).

En la Figura 4 se muestra el comportamiento de los materiales probados en las columnas 2, 5 y 8, en las cuales las columnas 2 y 8 son similares, inician con un 100% de remoción en las primeras semanas y del día 22 en adelante, empieza a declinar su porcentaje de remoción, sin bajar a menos del 80% de remoción de metano. La columna 5 dejó de registrar metano a la entrada a el día 13 por lo que no se tienen datos hasta el final de la prueba. De los datos obtenidos se puede observar que esta columna nunca registró un porcentaje de remoción del 100%.

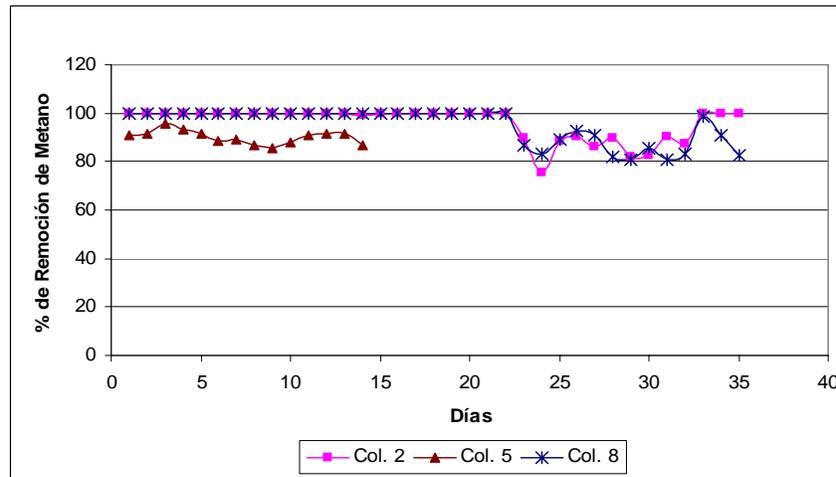


Figura 4. Porcentaje de remoción de metano para las columnas 2, 5 y 8.

Comparando las columnas 6 y 9 (Figura 5), se puede observar una disminución en la remoción de metano a la salida de las columnas conforme pasa el tiempo. En la columna 6, entre los días 21 y 31 se obtuvo un 100% en la remoción de metano, ésto se debe a que la concentración de metano a la entrada disminuyó en comparación con su concentración a la entrada en días anteriores. La columna 9 muestra más claramente el decrecimiento de la remoción de metano, ya que en esta columna se tuvo una alimentación constante de metano durante casi todo el estudio.

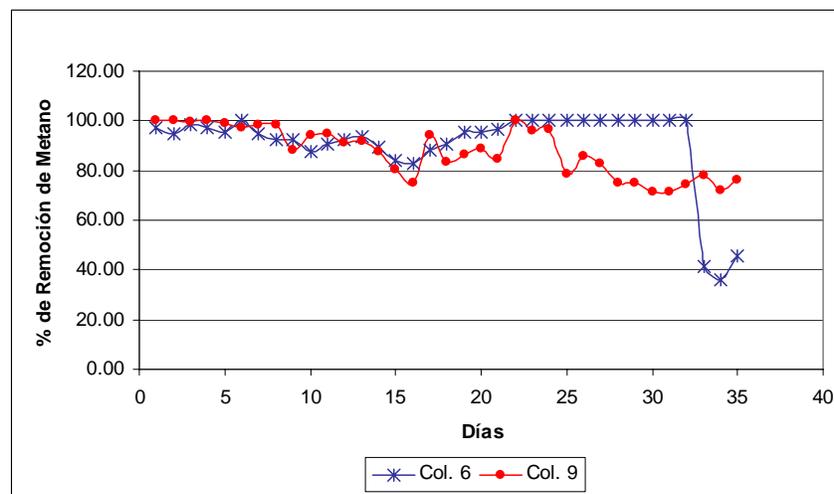


Figura 5. Porcentaje de remoción de metano para las columnas 6 y 9.

La columna 9 nunca dejó de tener metano a la entrada lo que indica que la mayor parte del flujo se iba hacia esta columna, en la cual probablemente el exceso del gas empezó a sobrepasar su límite de oxidación del material por lo que empezó a disminuir su porcentaje de remoción y por lo tanto a registrar gas en el efluente hasta llegar a tener una concentración del 20% de metano.

Para analizar los valores de la remoción total de metano en las columnas se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías. Se tomaron los resultados de las columnas que tuvieron valores durante toda la fase experimental, es decir las columnas 3 y 4 quedaron descartadas. Se tomó como un tratamiento cada columna que es la combinación de composta y altura y el segundo fue el tiempo.

Debido a que la columna 5 solo tuvo resultados hasta finales de la tercera semana se realizó un análisis de varianza para este período de tiempo (14 días) con todas las columnas, excepto la 3 y 4 (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del análisis de varianza para los primeros 14 días del estudio.

Tratamientos	Suma de cuadrados	G. L.	Cuadrados medios	F	P
A: Tiempo	181.854	13	13.9888	3.11	0.0009
B: Columna	1277.0	6	212.833	47.29	0.0000
Residual	351.019	78	4.50024		
Total	1809.87	97			

Para la remoción de metano durante toda la fase experimental (35 días), el modelo estadístico es similar al anterior sólo que la columna 5 se eliminó (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del análisis de varianza para los 35 días del estudio.

Tratamientos	Suma de cuadrados	G. L.	Cuadrados medios	F	P
A: Tiempo	5453.78	34	160.405	2.18	0.0006
B: Columna	3236.4	5	647.281	8.81	0.0000
Residual	12485.9	170	73.4464		
Total	21176.1	209			

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza de la remoción total de metano durante los primeros 14 días, las compostas de las columnas 1, 2, 7 y 8 tuvieron mejor remoción de metano. Las compostas que corresponden a estas columnas son los RM1 y RM2, en ambos casos los espesores fueron de 20 y 40 cm. En el análisis realizado para los 35 días que duró la fase experimental se indica que el material que removió eficientemente el metano fue RM1 a un espesor de 20 cm. Este material fue constante en su remoción como lo muestra la Figura 3, sólo que nunca recibió el 70% de metano a la entrada de la columna, por lo que queda en duda su capacidad de oxidación con una concentración de metano mayor al 40%. Las columnas que en las primeras dos semanas mostraron tener una buena remoción de metano, al pasar el tiempo su capacidad fue disminuyendo por lo que al término de los 35 días ya no tenían la misma capacidad. En la fase experimental el flujo de gas que entraba al manifold era controlado, pero éste no distribuía el flujo en las nueve columnas equitativamente, lo que se demuestra en la concentración registrada en las columnas, por lo tanto en cada columna no se sabe el flujo de gas que realmente entraba en ellas. Debido a esto en algunas ocasiones el flujo sobrepasaba la capacidad de oxidación de la columna provocando que se registrara metano en el efluente.



CONCLUSIONES

- El manifold utilizado para distribuir equitativamente el flujo del gas en las nueve columnas, no demostró realizar eficazmente este trabajo, lo que se observa en que ninguna columna mantiene constante la concentración de metano a la entrada, por lo tanto, se concluye que no se tuvo control en el flujo a la entrada de cada columna.
- De las compostas que se estudiaron, la que demostró tener una mejor capacidad de oxidación de metano fue la composta RM1 con 20 cm. de espesor, ya que durante toda la fase experimental tuvo una remoción del 100% de metano, la única observación con respecto a este material es que nunca recibió la concentración del 70% de metano al inicio y por lo tanto estos resultados no muestran la capacidad real que tiene este material para oxidar concentraciones de esta proporción de metano sino proporciones menores al 40%. La composta RM2 mostró un decrecimiento en su capacidad de oxidación conforme pasaban los días y la de jardín fue en la que menos datos se obtuvieron al tener sólo una columna funcionando toda la fase y esta columna en ocasiones sólo recibió menos del 10% de metano al inicio.
- El análisis de varianza demuestra que hay diferencia significativa entre cada columna y que la capacidad de oxidación de metano va disminuyendo conforme pasa el tiempo.

RECOMENDACIONES.

Para confirmar los resultados obtenidos se recomienda eliminar el manifold o tener un medidor del flujo para cada columna y con éstos controlar y asegurar la cantidad de gas que entra a las columnas, o bien, realizar las pruebas individualmente y así controlar tanto el flujo de gas como la concentración de gas en el influente.

Para controlar la humedad en las columnas se agregaba agua semanalmente, con la finalidad de humedecer la parte superficial de la composta la cual era la que perdía agua más rápidamente que el material más profundo. La cantidad y la forma de adicionar el agua no resultaron las más adecuadas, ya que no se daba tiempo suficiente para que el agua se distribuyera a través del material y fuera retenida por el mismo, por lo que casi toda el agua escurría por el drenaje de la columna, provocando que la entrada de gas, que se encontraba próxima al drenaje, se obstruyera en algunas ocasiones, por lo que se recomienda que las adiciones de agua se realicen en cantidades pequeñas y con regadera o aspersor para lograr una mejor distribución del líquido en el material.

REFERENCIAS.

- Díaz F. Luis, Savage M. George, Eggerth L. Linda, Golueke G. Clarence, (1993). *Composting and Recycling Municipal Solid Waste*. LEWIS PUBLISHERS, USA.
- EPA, Environmental Protection Agency, (1999). *Climate Change and Waste*. EPA530-E-99-002. USA.
- EPA, Environmental Protection Agency, (2002). *Solid Waste Management and Greenhouse Gases*. EPA530-R-02-006. USA.

- EPA, Environmental Protection Agency, (2001). *Sources of Methane*. <http://www.epa.gov/ghginfo/topics/topic2.htm>, USA.
- FCQAO, Federal Compost Quality Assurance Organization. (1994). *Methods Book for the Analysis of Compost*. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Germany
- Humer M., Lechner P. (1999a). *Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfill*. Waste Management and Research. pp. 443-451.
- Humer M., Lechner P. (1999b). *Compost as a landfill cover material for the elimination of methane emissions*. Proceedings ORBIT 99. pp. 503-510. Germany.
- Leege, P.B. and Thompson, W.H., (1997) *Test Methods for the Examination of Composting and Compost*. The U.S. Composting Council. First Edition, Maryland, USA.
- Melendi D., Volkheimer W. y Scafeti L. (2003). *Breve Enciclopedia del Ambiente*. www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Metano.htm (19/03/03).
- Norma Mexicana, NMX-AA-18-1984. *Protección al Ambiente, Contaminación de Suelos, Residuos Sólidos Municipales. -Determinación de Cenizas-*. www.uninet.mty.itesm.mx/legis/legismex.htm. México, D. F.
- SEMARNAT, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales/INE, Instituto Nacional de Ecología, (2001). *México: Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. GE 149. M6 P74 2001. México.
- SEMARNAT, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2003a). *Estadísticas Ambientales: Generación de residuos sólidos Municipales por Entidad Federativa*. http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/_s.155/1370. México. (23/10/2003).
- SEMARNAT, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2003b). *Estadísticas Ambientales: Generación de residuos sólidos Municipales por Composición*. http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/_s.155/1370. México. (23/10/2003).
- University of Leeds. (2000). *Standard Laboratory Procedures for the Analysis of Compost*. University of Leeds. Department of Civil Engineering. Water and Environmental Engineering Group. United Kingdom.