GENERACION DE BIOGAS Y LIXIVIADO EN PACAS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS COMPACTADAS E IMPERMEABILIZADAS CON ALTO CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Biogas and leachate generated in wrapped bales for municipal solid waste with low content of organic matter

Pilar Tello Espinoza [1]
Georgina Fernández Villagómez [2]

Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Ingeniería. Facultad de ingeniería. Ciudad Universitaria N° 3000 Col Copilco Universidad. Delegación Coyoacán CP 04360. México DF. E-mail: ptello@hpambiental.com; georginafernandez@cancun.fi-a.unam.mx

Abstract

Final disposal in wrapped bales with Low Density Polyethylene (LDPE) may be suitable for urban solid wastes (USW) generated in developing countries. Previous investigations were carried out with low content of organic matter (OM). but there is still a lack of information concerning anaerobic behavior in bales with high content of organic matter (OM).

This study evaluated, at full scale, biogas formation and anaerobic behavior of OM in bales of USW wrapped with LDPE, containing 54% of OM, which is typical in México and Latin America.

The research was conducted over a period of fifteen months in Naucalpan Landfill, in Valley of México. Thirteen one ton bales of USW (average density: 950 kg/m3) were wrapped using LDPE and one of those LDPE wrapped bale was also encapsulated with high density polyethylene (HDPE) to evaluate biogas and leachate formation.

The results showed a variation in pH between 5.5 and 7.2, with moisture content above 33.4%. VFAs concentration presented a reduction from 5,378 mgl-1 (day 79) to 258 mgl-1 (end of study). In LDPE wrapped bales methane was not detected; whereas in HDPE encapsulated bale methane was detected at 30.1% (V/V), indicating that anaerobic decomposition took place in this bales, although LDPE wrapped bales allowed methane leak.

The leachate was produceding 3 of the 13 LDPE wrapped bales; in the others, leachate was observed, but it could not be measured due to evaporation. However, the leachate generated in the encapsulated bale (COD values from 30,588 to 44,791 mg/l) from the 5th month had VFA values of 14,103 mg/l on average. The pH of the encapsulated bale variated between 7.2 to 8.

From month 12,the balesshowed methanogenic conditions, as observed in the leachate characteristics. However, the amount produced was minimal. It was found that the compaction and waterproofing with LDPE does not inhibit the decomposition of waste, but reduce the generation of methane and leachate.

---

[1] Posgrado de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ing. Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú con maestría en Ingeniería Ambiental área de residuos peligrosos y Doctor en el área de residuos sólidos en la Universidad Nacional Autónoma de México. ptello@hpambiental.com

[2] Posgrado de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México 2.

KeyWords: Density, final disposal, full scale, urban solid waste, wraping bales.

GENERACION DE BIOGAS Y LIXIVIADO EN PACAS DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS COMPACTADAS E IMPERMEABILIZADAS CON ALTO CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

RESUMEN

La disposición final con pacas compactadas e impermeabilizadas con polietileno de baja densidad (LDPE) puede ser viable para los residuos sólidos urbanos (RSU) generados en países en desarrollo. Sin embargo, a pesar de que investigaciones previas han sido realizadas con residuos de bajo porcentaje de material organica, aún falta information del comportamiento de la digestión anaerobia en pacas con residuos con alto contenido de material orgánica (MO).

Este estudio evaluó, a gran escala, la formación del biogás y lixiviado así como el comportamiento de la degradación anaerobia de la materia orgánica en pacas de residuos sólidos urbanos con LDPE, que contienen 54% de MO, valor típico en México y América Latina.

La investigación fue conducida en un periodo de 15 meses en el relleno sanitario de Naucalpan en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Trece pacas de una tonelada de RSU con una densidad promedio de 950 kg/m^3 fueron impermeabilizadas con LDPE y una de ellas fue encapsulada con polietileno de alta densidad (HDPE) para evaluar el biogás y el lixiviado formado. La pacas con LDPE fueron pesadas y abiertas cada 45 ó 60 días, y se les midió pH, demanda química de oxígeno (DQO), AGVs en lixiviados y % de humedad, % nitrógeno Kjeldahl y % de MO en residuos. Además se midieron los parámetros climatológicos (precipitación pluvial, % humedad y temperatura) de la zona.

Los resultados mostraron una variación del pH entre 5.5 y 7.2, humedad promedio de 33.4% y la composición AGV presentó una reducción de 5,378 mg/l (día 79) a 258 mg/l (al final del estudio). En la paca impermeabilizada con LDPE el metano no fue detectado, mientras que en la paca impermeabilizada con HDPE fue medido en 30.1% v/v del total del biogás producido, indicando que la descomposición anaerobia se llevó a cabo en las pacas y éste se fugó a través de la envoltura del polietileno de baja densidad.

En el estudio se puedo medir lixiviado en 3 de las 13 pacas impermeabilizadas con LDPE. En las demás se observó que también hubo formación de lixiviado pero no se logro cuantificar debido a su evaporación. La paca encapsulada con HDPE generó lixiviado con valores de DQO de 30,588 a 44,791mg/l, con AGV a partir del 5° mes en concentraciones de 14,103 mg/l en promedio. El pH de la paca encapsulada se mantuvo entre 7.2 y 8.0

A partir del decimo segundo mes se presentaron en los lixiviados condiciones típicas de la fase metanogénica y las cantidades generadas fueron mínimas, con lo que se comprueba que la impermeabilización de los residuos no inhibe la descomposición anaerobia de los residuos, pero minimiza el volumen generado debido a que la impermeabilización y la compactación de las pacas evitan la influencia de la lluvia.

Palabras clave: Disposición final , lixiviado, biogás, Embalaje de pacas, Residuos sólidos urbanos.

1.0 INTRODUCCION

La disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) en América Latina sigue siendo una gran preocupación por la formación del biogás que la mayoría de veces no es aprovechado como fuente de energía por el alto costo de inversión que se requiere; por la formación de lixiviado que constituye un problema para la contaminación del suelo y por los altos costos requeridos para su tratamiento, por esta razón se evalúan distintas alternativas de disposición final, principalmente encaminadas a la minimización de la generación de biogás y lixiviados, siendo el embalaje de los RSU una tecnología que fue estudiada desde la década de los 90's en Europa y usada actualmente como alternativa de material de combustión para los incineradores en algunos países Europeos (Robles&Gourdon,1999). Estas investigaciones han sido realizadas a nivel laboratorio y se han echo ensayos en pacas cilíndricas y rectangulares a nivel piloto, con residuos de composición europea (33.69 % % de materia orgánica) (OCDE, 2008), buscando evaluar el comportamiento del pH , la humedad, los AGVs, VOC´s, la formación de metano, lixiviados y los riesgos por inflamabilidad, (Sieger & Kewitz 1997; Robles y Gourdon 1999, 2000; Andreottola et al. 2001, Nammari & Hogland 2003, Nammari et al. 2004, 2007; Duran et al, 2009).

En los 15 meses de investigación se evaluó el comportamiento del peso, el volumen y la densidad de las pacas compactadas e impermeabilizadas con polietileno de baja densidad LDPE de residuos sólidos urbanos de la zona Metropolitana de la Ciudad de México (54 % de materia orgánica (SEMARNAT,2006)) sin realizarles ninguna separación, esto con la finalidad de simular las condiciones mas adversas que se tendrían si se implementaría esta tecnología en México (considerando el bajo nivel de separación que se le realiza a los residuos en el país.

2.0 OBJETIVO

Evaluar el comportamiento de la generación de lixiviados y biogás de pacas impermeabilizadas de residuos sólidos urbanos en ensayo a gran escala con residuos sólidos urbanos mexicanos en distintos sistemas de compactación.

3.0 MATERIALES Y METODOS

La investigación se desarrollo en el predio del Relleno Sanitario de Naucalpan, Estado de México, que pertenece a la zona metropolitana de la Ciudad de México. Coordenadas 19°29'46.56" N y 99°17'43.56" O, a una altitud de 2,429 msnm.

Las pacas fueron construidas con una prensa de rectangular con pistón hidráulico a 2.93 kg/cm^2, presión superior a la producida por un tractor de cadena D9R de 1.13 kg/cm^2 Caterpillar, la cual produjo pacas con densidad promedio de 950 kg/m^3, posteriormente flejadas con alambre y cubiertas cada una por 6 láminas de polietileno de baja densidad LDPE de 250 µm. Las pacas fueron pesadas con la bascula BRAR modelo PI/ G200 de 2,000 kilos.

Durante el periodo de la investigación de 15 meses se tomaron las dimensiones de las pacas y se pesaron, además de observar las condiciones físicas que sufrían las pacas por acción del clima. Los datos de temperatura ambiente y precipitación pluvial fueron obtenidos de la estación meteorológica inalámbrica marca DAVIS, modelo Wireless Vantage Pro 2 acoplada a un sensor de radiación solar con soporte marca DAVIS y software Weather Link 5.7, instalado en el relleno sanitario de Naucalpan

4.0 RESULTADOS Y DISCUSION

En la presente investigación los valores de pH de los residuos de las pacas impermeabilizadas con LDPE variaron de 5.5 a 7.2, y según Williams (2005) su ambiente óptimo medido en residuos en la fase metanogénica está entre 6.8 y 7.5.

Durante el período de la investigación se obtuvo un máximo de 57% de humedad en las pacas impermeabilizadas con LDPE, 54.15% en la paca encapsulada con HDPE, respecto al 38% de humedad obtenido en los residuos sin compactar al inicio, lo que demuestra un aumento de la humedad respecto a la humedad inicial del residuo. Esto se debe a la aportación de agua generada en la fase hidrolítica y a las reacciones metabólicas que se llevan a cabo

durante la degradación de la materia orgánica. El vapor de agua formada en estas reacciones fue retenido por la barrera que representa la película de LDPE, que se caracteriza por impedir la salida del vapor al exterior (Mevius *et al*., 1994). No hubo aportación de agua por la lluvia, debido a que las pacas se encontraron protegidas con una carpa. El esponjamiento de los residuos provocó el aumento del volumen de las pacas; esto se produce debido al aumento de humedad de los residuos (Juárez y Rico, 2005), producto de la hidrólisis que se presentó en el interior de las pacas, pero también a que los residuos tienden a regresan a su estado inicial luego de la compactación debido a la Ley de Hook. Además, esta condición se presenta por que las pacas no estuvieron expuestas a ninguna fuerza adicional ocasionada por el peso de las pacas que se colocan encima al momento de la disposición final, que hace que el volumen disminuya y la densidad de las pacas inferiores aumente.

Los resultados obtenidos de los AGV´s medidos en los residuos de las pacas impermeabilizadas con LDPE reportaron valores iníciales de 5,500 mg/kg y a partir del día 245 se presentó un decaimiento de los AGVs, los cuales están relacionados con el aumento de pH a valores de 6.5 a 7.2 en el resto del período de la investigación, como se observa en la figura 1. Los AGV que se obtuvieron del residuo de la paca encapsulada con HDPE a los 15 meses fueron de 400 mg/kg, encontrándose 237 mg/kg de acético, 99 mg/kg de propiónico y 64 mg/kg de butírico

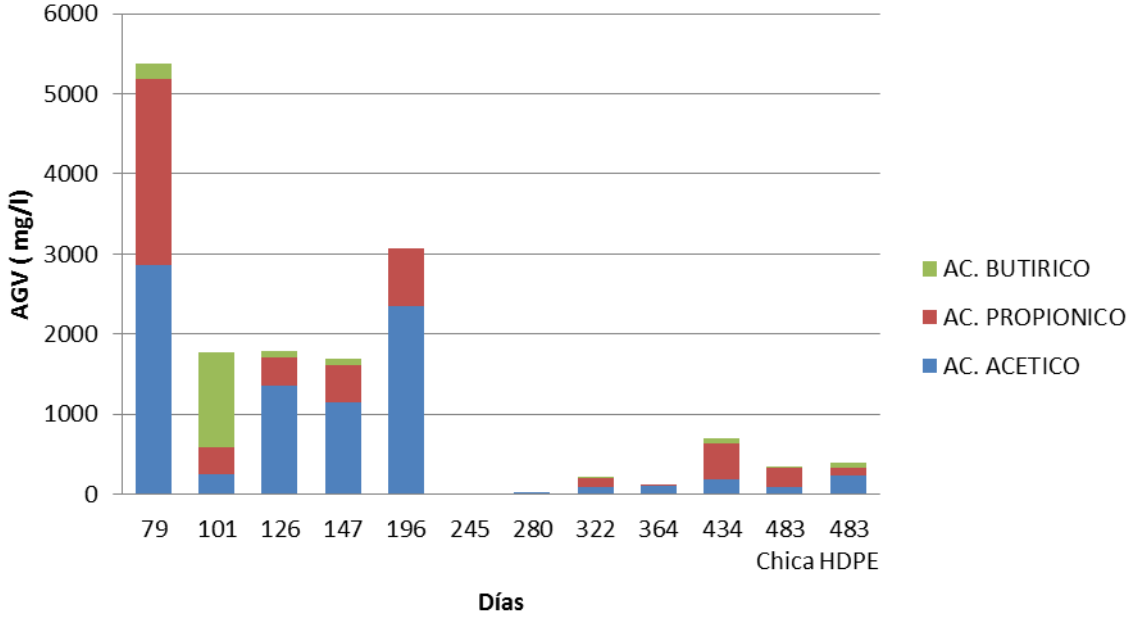

Fig.1. Comportamiento de los AGV´s de los residuos de las pacas impermeabilizadas con LDPE, HDPE y paca chica.

El intervalo de la temperatura en el interior de las pacas impermeabilizadas con LDPE varió de 24.8 °C a 37.2 °C. En el espacio entre la cápsula de HDPE y la paca de LDPE varió de 25° a 38.8°C, y en la paca de LDPE en el interior de la cápsula de HDPE la temperatura fue de 23 °C, medida el día que se abrió la cápsula de HDPE. Esta temperatura es inferior posiblemente debido a que la cubierta negra de HDPE no permite el paso directo de los rayos solares a la paca debido a que existe un espacio vació entre la cápsula y la paca que impide la transmisión directa del calor del HDPE al LDPE. La temperatura dentro de las pacas de LDPE se mantuvo en un rango similar a la temperatura registrada en el biogás generado en el relleno sanitario de Naucalpan, el cual fue de 25° a 35 °C (MNJ, 2011a). De acuerdo a Hartzy Ham (1982) y Veeken y Hamelers (1999) la temperatura óptima de la fase metanogénica en un relleno sanitario está entre 30° y 40°C. Considerando que la temperatura ambiente en la zona fue de -9°C a 29.8°C con un promedio de 16.15°C, se observa que la temperatura dentro de las pacas siempre fue superior a la temperatura ambiente el día que se tomo la muestra.

El comportamiento de la composición del biogás en las pacas con LDPE fue constante y se reportó en promedio del 13.4 % de O_2, 6% de CO_2, 81.7% de N_2 y el metano se mantuvo en el intervalo de 0 a 0.2%. Sin embargo, la composición del biogás en la cápsula de HDPE muestra la presencia del metano con un promedio de 30.1%, 38.8% de CO_2, 31.1% de N_2, y no se detectó oxígeno. Lo anterior se observa en la figura 2a y 2b. El alto porcentaje de nitrógeno se asume que es por el nitrógeno que hay en el aire.

Los valores de CH_4, N_2, O_2 y CO_2 obtenidos en la paca impermeabilizada con HDPE coinciden con los observados en laboratorio por Robles y Gourgon (2000) donde el porcentaje de CO_2 fue mayor que el del metano. Duran *et al*. (2009) reportan concentraciones superiores de CO_2 sobre el metano a humedades de 49.2% y 54.2 % con presiones superiores a 800 kg/m^3. Sin embargo, esta situación no es común en la composición del biogás en los rellenos sanitarios, ya que la tendencia es que el porcentaje de metano sea mayor que la del CO_2, en el orden de 53% de metano y 38% de CO_2 (caso del relleno sanitario de Naucalpan) (MNJ, 2011a), pero si coincide con el comportamiento de los gases en la primera etapa de la fase metanogenica inestable. La alta presencia de N_2 es un indicador de la entrada de aire al sistema (pacas con LDPE) o bien de la escasa producción de CH_4 y CO_2 que no consiguió eliminar el N_2 por dilución y acarreo fuera de la paca en el caso de la encapsulada con HDPE.

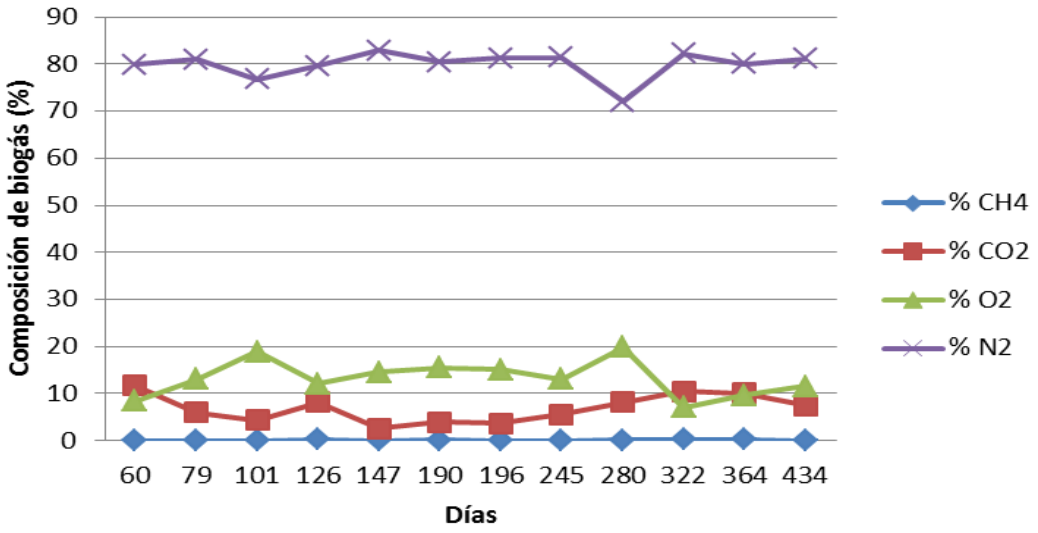

Fig.2a: Composición del biogás de las pacas impermeabilizadas con LDPE.

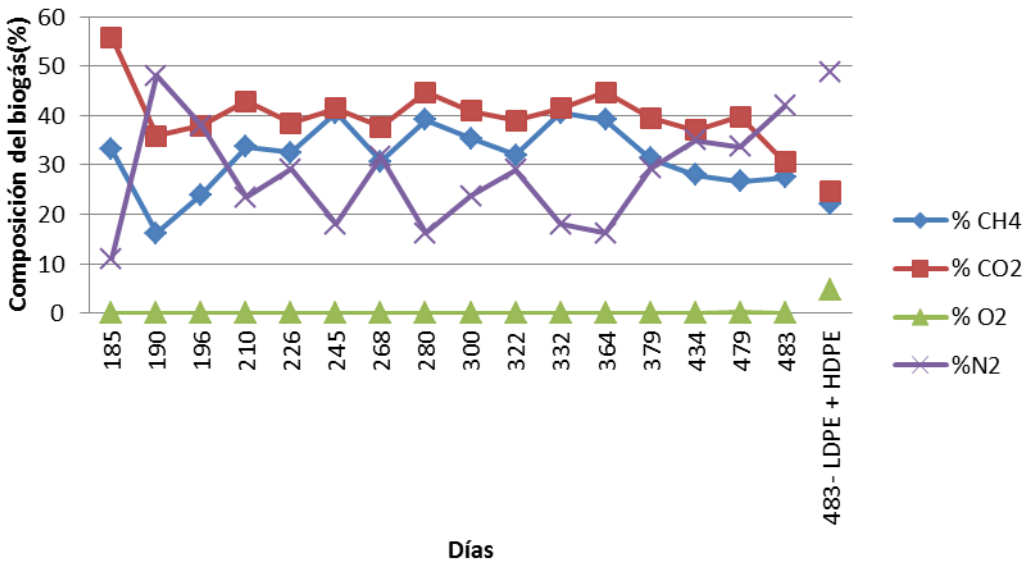

Fig.2b. Composición del biogás en la cápsula de HDPE y la composición del biogás en la paca de LDPE encapsulada con HDPE.

Luego de medir la composición del biogás en la cápsula se abrió dejando al descubierto la paca de LDPE que se encontraba en su interior, a la cual se le perforó el LDPE donde se encontraba el tubo perforado dentro de la paca y al igual que a las demás pacas de LDPE y se realizó la medición donde se encontró el metano de 22.1 %, 24.6 % de CO_2 y 4.6% de oxígeno y 48.7% de nitrógeno, casi similares a los encontrados en el biogás de la cápsula. En ambos caso los valores de nitrógeno son altos, posiblemente por lo señalado anteriormente.

El transporte del metano de la paca impermeabilizada con LDPE a la cápsula de HDPE demuestra la difusión de los gases que se producen a través LDPE. Por esa razón, el metano no aparecía en las mediciones de las pacas impermeabilizadas sólo con LDPE. Durante todo el periodo del encapsulamiento de la paca nunca se notó la cápsula de HDPE inflada.

Así mismo, la pérdida de peso del sólido en base seca demostró que se había producido una degradación anaerobia en el interior de las pacas de LDPE, HDEP .

Con ello se confirma que existe una masa que salió como biogás y como lixiviado o vapor que representa el 33.24% y 31.95 % de pérdida respecto a la masa inicial de las pacas de LDPE y HDPE, mientras que la paca chica se presentó una pérdida de 46.29% mayor a las pacas grandes, lo cual se deber a la menor compactación de los residuos y a las menores dimensiones de la paca.

Sólo 3 pacas de LDPE generaron lixiviado a lo largo de los 15 meses, que fueron a los que se les pudo tomar una muestra representativa. Las demás pacas mostraban manchas en el piso con pequeñas cantidad de lixiviado que no permitían la toma de una muestra. Los resultados que se muestran son solo los que fueron tomados desde el interior de las pacas. La paca de LDPE que se encapsuló presentó lixiviados antes y durante todos los meses que estuvo encapsulada.

El pH de los lixiviados en la paca encapsulada con HDPE presentó un comportamiento similar al de la paca impermeabilizada. En ambos casos el pH a partir del día 200 se encontró entre 7 y 7.7, considerando entonces que

pudiera estar pasando de la fase acidogénica, a la fase metanogénica. Según Williams (2005) el pH de los lixiviados se encuentra entre 6.8 y 7.5 cuando se encuentran en la fase metanogénica, por lo que el pH medido en el lixiviado de la investigación estaría en el rango de la fase metanogénica propicia para la formación del metano.

La materia orgánica medida como DQO en el lixiviado de la paca con HDPE alcazó valores de más de 60,000 mg/L y en los 8 meses en los que se generó lixiviado se presentó una disminución de los valores en todas las pacas llegando a 29,467 mg/L, lo que indica un decaimiento de la materia organica, como también se observa en la pediente de la recta.

La DQO de los lixiviados en los rellenos sanitarios convencionales se encuentra en rangos de 20,000 a 80,000 mg/L y según Robinson y Gronow (1993) los valores característicos de DQO comúnmente son mayores de 20,000 mg/L y valores de pH ácidos típicamente 5-6.

En el caso de los AGV medidos en los lixiviados, se observó que hay mayor formación de estos en el 5° mes de la investigación y posteriormente un descenso del ácido acético, propiónico y butírico. El descenso del ácido acético en la paca encapsulada es más lento que en las pacas impermeabilizadas.

Los resultados obtenidos en las mediciones realizadas a los lixiviados indican que a partir del día 245 el pH presentó un rango de 7.6 a 8.4 y los AGVse redujeron a valores de 38.9 mg/l, aunado al descenso evidente de los valores de DQO del 55.22%, el cual está relacionado al 49.5% de decaimiento que se observó en la determinación del porcentaje de materia orgánica a los residuos. Lo anterior permite afirmar que se presentó una degradacion de la materia orgánica y que las condiciones eran propicias para una metanogénesis.

La cantidad total de lixiviado extraída durante la investigacion fue de 9 litros en la paca encapsulada con HDPE; esto se determinó sumando la cantidad de lixiviados que se extraían para analizar en el laboratorio (medio litro) , más la cantidad de lixiviado que se encontró en la base de la cápsula al momento de abrirla (5 litros) .

5.0 CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación determinaron que en el interior de las pacas impermeabilizadas con LDPE se presentaron condiciones adecuadas para la formación de metano en los parámetros analizados como son el decaimiento inicial del pH y luego su neutralización, aumento de humedad y temperatura, la pérdida de peso, reducción del porcentaje de materia orgánica en la composición del residuo, el decaimiento de la DQO y AGVs. Lo anterior permite afirmar que a los 15 meses de formadas las pacas con LDPE, éstas se encuentran en fase metanogénica, a pesar de no reportar valores de metano en las mediciones. Las pruebas realizadas a la paca con LDPE encapsulada en HDPE, mostraron un comportamiento similar en los parámetros medidos en las pacas de LDPE sin encapsular y reportaron 22.1 % metano, 24.6 % CO_2, 48.7% N_2 y 4.6% oxígeno. También se encontró 30.1 % metano, 38.8 % CO_2, 31.1% N_2 y no se detectó oxígeno en la cápsula de HDPE lo que comprueba que existe transporte del metano a través de la película de LDPE que cubren las pacas. Además, el balance de masa se confirmó que existe una masa que salió como biogás y como vapor o lixiviado que representa el 33.24% y 31.95 % de pérdida respecto a la masa inicial de las pacas de LDPE y HDPE respectivamente, y tomando en cuenta que en la única paca donde se midió la producción de lixiviado fue de 9 litros durante la investigación, se puede afirmar que la mayor cantidad de masa perdida es de biogás.

La cantidad generada de lixiviado fue mínima, debido a la impermeabilización de las pacas con LDPE, a la alta compactación previa realizada a las pacas y a que se evitó la entrada de agua de lluvia.

El aumento del volumen de pacas se atribuye al esponjamiento que presentan los sólidos por aumento de la humedad y a la respuesta que presentan los residuos sólidos, provocada por la ley de Hook. Lo anterior resultó en el aumento de las dimensiones de las pacas, debido a que estas no recibieron el peso de otras pacas, como se da en las condiciones de disposición final. Como resultado la densidad de las pacas disminuyó, principalmente por la pérdida

de peso. Los valores del aumento de volumen permiten mostrar el comportamiento que tendrán las pacas colocadas en la parte superior de las plataformas de disposición final.

La cantidad insignificante de lixiviado generado permiten afirmar que el sistema puede ser considerado una alternativa viable de disposición final para el cuidado del medio ambiente, incluso en ciudades que generen RSU con más del 50% de materia orgánica, por las demás ventajas que presenta, pero aún así, se debe incluir un sistema de quema de biogás y un sistema de captación de lixiviado, el cual se generará de la limitada lluvia que ingrese a la celda y escurra entre las pacas, al no ser captada por el sistema de drenaje pluvial.

La mayor parte de la investigación respecto al comportamiento de la digestión anaerobia, está dada en lodos y aguas residuales y en sólo la materia orgánica de fácil degradación contenida en los RSU, por lo que fueron escasas las referencias que permitieran identificar las condiciones de evolución de las fases anaerobias en RSU. Además, son pocos los rellenos sanitarios en ALC a los que le realizan mediciones periódicas de rutina de lixiviado y biogás.

Se encontró, que la ventaja del embalaje con LDPE radica en mantener la humedad de los residuos en el interior de la paca, lo que permite que la degradación anaerobia no se detenga y minimiza la formación de lixiviados por que impide el paso del agua de lluvia que aumenta la generación de agua. La alta compactación reflejada en la mínima disminución de la densidad, da la ventaja de tener condiciones de mayor estabilidad que en un relleno sanitario convencional, puesto que la compactación al ser realizada a cada metro cúbico de residuos, permitirá que los asentamientos en el relleno sanitario seco sean más homogéneos. Con ello se evitan las oquedades que se presentan en los rellenos sanitarios convencionales propios de compactaciones no homogéneas ocasionada por la compactación variable realizada por los operadores de los equipos.

6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Andreottola, G., Bortolon, A., Dallago, L. & Ragazzi, M. (2001) A comprehensive study on MSW baling as a pre-treatment to waste-to-energy plants. In: Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. (eds*): Sardinia 2001, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium*
Cagliari, Sardinia, Italy, pp. 361–370. CISA-Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy.

Duran, C. A.; Latanze, R.; Pisani JR, R. 2009. Avaliação da geração de biogás em ensaio de redução de volume por compressão em amostras de resíduo sólido urbano de ribeirão preto, in 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES/AIDIS. Recife.

Hartz K, Ham R. (1982). Temperature effects: Methane production rates in landfill Sample. Waste Management and Research, vol. 1. pp. 139-145.

Juarez E, Rico A. (2005) Mecánica de suelo: Fundamentos de la mecánica de suelo I. Editorial Limisa. Capitulo XIV. Compactación.

MNJ. (2011a).Municipalidad de Naulcalpan de Juarez. Bitácora de control de biogás del relleno sanitario de Naucalpan. Edo. México. Servicios de Tecnología Ambiental SA de CV. Naucalpan, Edo de México. pp 1-80

Mevius W, Birgit von Oepen, Steinbrecht H (1994). Permeabilitat von Polyethylenrohren gegenüber Umweltchemicalien, Hamburguer Wassewerke, Fachliche Berichte pp 1-94.

Nammari, D.R. & Hogland, W. (2003): Storage of municipal solid waste: a walk through history and an outlook into the future. In: Toczylowska, I. & Guzowska, G. (eds): The 8th Polish-Danish Workshop on 'Biomass for Energy', 12–15 June, Starbienino, Poland, pp. 233.

Nammari, D.R., Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S. & Moutavtchi, V. (2004) Emissions from a controlled fire in municipal solid waste bales. Waste Management, 24, 9–18.

Nammari D, Mathiasson L, Mårtensson L, Marques M, Thörneby L, Hogland W. (2007) Emissions from baled municipal solid waste: II Effects of different treatments and baling techniques on the emission of volatile organic compunds. . Waste Management and Research, 25: pp 109-118

Robles, F.; Gourgon, R. 1999. Effect of baling on the behavior of domestic waste: laboratory study on the role of pH in biodegradation, Bioresource Technology, 69, 15-22.

Robles, F.; Gourgon, R. 2000. Long – Term behaviour of baled household waste, Bioresource Technology, 72, 125-130.

Robinson H, Gronow J. (1993).Review of landfill leachate composition in the UK. Proceedings Sardinia. Fourth International Landfill Symposium, Cagliary, Italy, pp 821-832.

SEMARNAT, 2006. Diagnóstico Básico para la gestión de residuos. México.

Sieger, E. & Kewitz, H.J. (1997) Application of baling technology for temporary storage of household waste. In: Christensen, T. H., Cossu, R. & Stegmann, R. (eds): Sardinia 97, the Sixth International Landfill Cagliari, Sardinia, Italy, pp. 457–462.

Veeken A, Hamelers B. (1999). Effect of temperature on hydrolysis rates of selectes biowaste components. Bioresource technology. Vol. 29, pp. 249-254

Williams P. (2005). Waste treatment and disposal. Publicado por John Wiley and Sons, ISBN 0470849134, 9780470849132. pp. 1-380