

EVALUACIÓN DE LA GENERACIÓN DE LIXIVIADOS EN PACAS IMPERMEABILIZADAS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. EXPERIMENTO A GRAN ESCALA

Pilar TELLO ESPINOZA y Georgina FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ

Posgrado en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

*Autor responsable; ptello@hpambiental.com

(Recibido agosto 2011, aceptado diciembre 2011)

Palabras clave: ácidos grasos volátiles (AGV), digestión anaerobia, demanda química de oxígeno (DQO), disposición final, pH

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar a gran escala la formación de lixiviado en pacas con residuos sólidos urbanos (RSU) de una tonelada, impermeabilizadas con polietileno de baja densidad (LDPE), que contenían más del 50 % de materia orgánica, en condiciones similares a las que se darían en México. El estudio tuvo una duración de 15 meses y se llevaron a cabo dos ensayos para comprobar la formación del lixiviado. En el primero se impermeabilizaron 13 pacas con LDPE y en el segundo 1 paca impermeabilizada con LDPE se encapsuló con polietileno de alta densidad (HDPE). En ambos casos se observó formación de lixiviado en el que se midió pH, demanda química de oxígeno (DQO) y ácidos grasos volátiles (AGV). También se midió el porcentaje de humedad y de materia orgánica en los residuos y las condiciones atmosféricas de la zona. En el estudio se pudo medir el lixiviado en 3 de las 13 pacas impermeabilizadas con LDPE. En las demás se observó que también hubo formación de lixiviados pero no se pudo medir porque se había evaporado. La paca encapsulada con HDPE generó lixiviado con valores de DQO de 30.588 a 44.791 mg/L, los AGV se presentaron a partir del quinto mes con valores de 14.103 mg/L en promedio. El pH de la paca encapsulada se mantuvo entre 7.2 y 8. A partir del doceavo mes se presentaron en los lixiviados condiciones 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 compresión de las pacas evitan la influencia de la lluvia.

Key words: volatile fatty acids (VFA), anaerobic digestion, chemical oxygen demand (COD), final disposal, pH

ABSTRACT

The study evaluated under full scale application the formation of leachate in bales of urban solid waste wrapped with low density polyethylene (LDPE) containing more than 50 % organic matter under similar conditions would occur in Mexico. The research study was conducted over a period of fifteen months. The experiment used one ton bales of urban solid waste which was wrapped in two different ways: 13 bales were wrapped using only LDPE and only one LDPE wrapped bale was encapsulated with high density polyethylene

to evaluate biogas formation. In both cases it was observed the formation of leachate and it was measured pH, chemical oxygen demand (COD), and volatile fatty acids (VFA) in leachate, % moisture and % organic matter in wastes, apart from the weather in the area. The results showed that leachate could be measured in 3 of the 13 LDPE wrapped bales, in the others it was observed that there was also formation of leachate but could not be measured because it had evaporated. However, the leachate generated encapsulated bale with COD values from 30 588 to 44 791 mg/l, the VFA were presented from the 5th month with values of 14,103 mg/L on average. The pH of the encapsulated bale remained 7.2 to 8. From the 12th month there were metanogenic conditions in leaching stage and the amounts were minimal, which is found that the sealing of the waste does not inhibit the anaerobic decomposing waste, but minimizes the amount of his generation due to wrapping and compression of the bales avoid the influence of rain.

INTRODUCCIÓN

La generación de lixiviados en los sitios de disposición final es una de las consecuencias de la digestión anaerobia que más retos provoca, por la alta concentración de materia orgánica que tienen y lo costoso de su tratamiento, por lo que la inhibición o la minimización de la generación de éstos se constituye en un reto por resolver.

La disposición final con pacas impermeabilizadas es una técnica de disposición de RSU creada en Suecia y otros países de Europa con la finalidad de almacenar los residuos por un periodo de 6 a 12 meses previo a la incineración (Nammari *et al.* 2007).

Las investigaciones para conocer el comportamiento de los residuos en las pacas empezaron a principios de los noventa, trabajando a escala laboratorio con residuos que tenían en promedio 34 % de contenido de materia orgánica, características típicas de los residuos de Europa (OECD 2007). En estas investigaciones poco se trabajó en la evaluación de la calidad de los lixiviados porque se observó que no se generaban, llegando a la conclusión que se inhibía la descomposición anaerobia, como lo reportan Robles y Gourdon (1999).

En el caso de esta investigación se tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de la generación de lixiviados en pacas de residuos sólidos urbanos impermeabilizadas con LDPE a gran escala. Cada paca pesaba una tonelada con 950 kg/m³ de densidad. Los RSU que contenían presentaban 48 % de materia orgánica, condición típica de los residuos de México y de América Latina. Las pacas fueron elaboradas en condiciones similares a las que se darían si se implementase el sistema en México, esto es, empacando los residuos como llegarían a la planta. La investigación se desarrolló en las instalaciones del relleno sanitario de Naucalpan, Estado de México y con los residuos de ese Municipio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación duró 15 meses y se realizó con pacas de una tonelada, elaboradas con RSU construidas con una prensa rectangular con pistón hidráulico de 2.93 kg/cm² para alcanzar una densidad promedio de 950 kg/m³, los residuos fueron flejados con alambre y las pacas cubiertas con 6 capas de LDPE de 250 µm. Una paca de LDPE fue encapsulada con HDPE con la finalidad de recolectar de forma más segura el lixiviado que se generara en los diferentes periodos de la investigación. Esta paca fue seleccionada porque generó lixiviados antes de ser encapsulada. A la cápsula se le adaptó un tubo con tapa de rosca que permitía meter un sonda a la base de la cápsula para extraer con una bomba el lixiviado que pudiera salir de la paca con LDPE. Todas las pacas fueron colocadas sobre geomembrana de alta densidad para retener el lixiviado que pudiera salirse de ellas.

El día de elaboración de las pacas se tomaron muestras del lixiviado que salió de cada paca al realizar la compresión del residuo.

Los parámetros que se analizaron a los lixiviados fueron : DQO, AGV y pH.

La determinación de AGV se hizo por cromatografía de gases con un cromatógrafo SRI, modelo 8610, con detector de flama, columna Zebron, con helio como gas acarreador a 30 psi. El pH del lixiviado fue medido por el método potenciométrico con el equipo Corning pH meter model 7. La DQO fue determinada con la metodología descrita en el APHA-AWWA (1998).

La precipitación y la temperatura ambiente de la zona fue medida a través de una estación meteorológica inalámbrica marca Davis modelo Wireless Vantage Pro 2 con sensor de radiación solar con soporte marca Davis y el software utilizado fue el Weather Link 5.7.

La investigación fue desarrollada en las instalaciones del relleno sanitario de Naucalpan, Estado de México (con 4 años de edad) y la parte analítica en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de UNAM y el Laboratorio ambiental del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

RESULTADOS

De las 13 pacas impermeabilizadas con LDPE sólo tres pacas generaron lixiviados a los que se les pudo tomar una muestra representativa, las demás pacas mostraban manchas en el piso con pequeñas cantidades de lixiviados que no permitían que se tomara una muestra, por lo tanto los resultados que se muestran son sólo los que fueron tomados desde el interior de las pacas, cuando se observaba que el plástico formaba bolsas con líquido en la base. La paca de LDPE que fue encapsulada con HDPE, presentó lixiviados durante todos los meses que estuvo encapsulada.

El pH que se obtuvo el día de la elaboración de las pacas fue de 5. Los valores de pH del lixiviado obtenido en las pacas impermeabilizadas y en la paca encapsulada fueron similares a partir del día 200 encontrándose en el rango de 7 a 8.2 (Fig. 1).

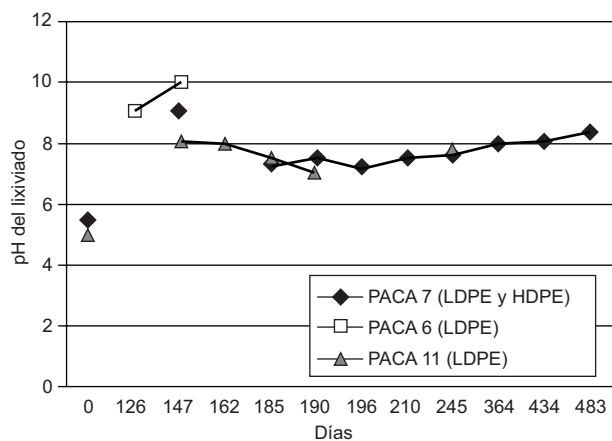


Fig. 1. Comportamiento del pH de los lixiviados de las pacas impermeabilizadas con LDPE y HDPE

La humedad medida en los residuos antes de empacar fue del 38 % y ya empacadas llegó al 57 %, alcanzando un promedio del 50 %. El porcentaje promedio de materia orgánica de fácil descomposición de los residuos fue del 48 %, como reportan Tello y Fernández (2012).

En la investigación se encontró que la materia orgánica medida como DQO en el lixiviado alcanzó

valores hasta 90 000 mg/L; en todos los casos los valores de DQO fueron disminuyendo en el transcurso del tiempo llegando a valores de 29 000 mg/L a los 15 meses. (Cuadro I).

En el caso de los AGV se observó que aparecieron al quinto mes de ser envueltas las pacas, obteniendo-

CUADRO I. MATERIA ORGÁNICA MEDIDA COMO DQO EN LIXIVIADO EN LAS PACAS QUE GENERARON LIXIVIADOS DURANTE LA INVESTIGACIÓN

Días	DQO del lixiviado (mg/L)		
	PACA 7 (LDPE y HDPE)	PACA 6 (LDPE)	PACA 11 (LDPE)
0	6575.13		7587.56
126		27563.05	
147	65799.28	20062.167	61358.79
162			52557.72
185	44791.59		5238.68
190	34795.74		52295.74
196	30588.65		
210	37800.18		
245	52607.46		6296.63
364	88889.88		
434	44124.32		
483	29467.14		

se valores altos de 28 000 mg/L y posteriormente al octavo mes se observó un descenso del ácido acético, propiónico y butírico hasta desaparecer. El descenso del ácido acético en la paca encapsulada (paca 7) es más lento que en las pacas impermeabilizadas (paca 6 y 11), tal y como se presenta en la figura 2.

Los valores de precipitación en la zona donde se realizó la investigación fueron 531.82 mm de lluvia y la temperatura ambiente promedio fue de 8.4 a 20.1 °C.

DISCUSIÓN

Las pequeñas cantidades de lixiviado generadas en las pacas se deben a que la impermeabilización con LDPE impide el paso de la lluvia hacia el residuo, la cual es una de las razones por las que aumenta la formación de lixiviados en los rellenos sanitarios. Otra razón es que el LDPE provoca la condensación del vapor de agua por la diferencia de temperatura (externa inferior a la interna). Esta agua producto de la condensación es absorbida por el residuo sin llegar a sobrepasar la capacidad de campo, lo que es evidente al no generar lixiviado.

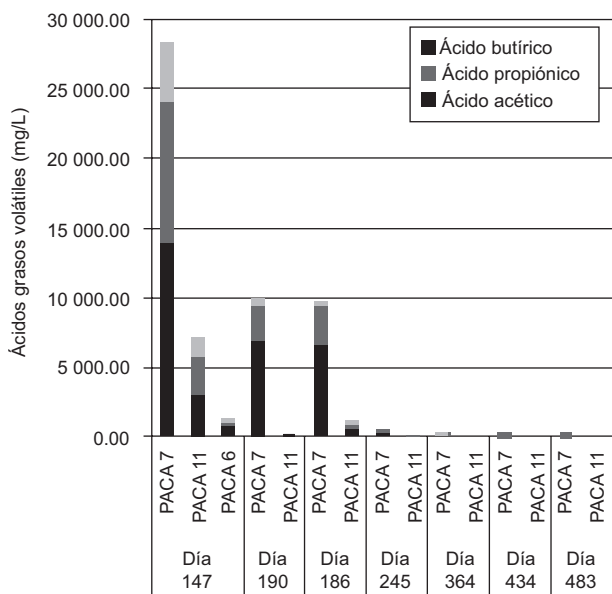


Fig. 2. Los ácidos grasos volátiles de los lixiviados en las pacas impermeabilizadas (LDPE) y encapsulada (HDPE) durante el periodo de la investigación

Los valores de pH del lixiviado indican que los residuos en las pacas se encontraban en la fase metanogénica ya que según Williams (2005) el pH de los lixiviados en la fase metanogénica se encuentra entre 6.8 y 7.5. Investigaciones realizadas por Kjeldsen *et al.* (2002), indican que un factor importante que afecta la composición de los lixiviados en un relleno sanitario es la edad de los residuos, observando valores de pH de 3 a 6 para rellenos de 0 a 5 años, pH de 6 y 7 para rellenos de 5 a 10 años y pH de 7 a 7.5 para rellenos de 10 a 20 años, sin embargo el relleno sanitario de Naucalpan reportó valores de pH de 7.8 a sus 4 años de operación (SETASA 2010).

Los resultados de DQO obtenidos en esta investigación se encuentran en los rangos típicos de los lixiviados generados en rellenos sanitarios convencionales los cuales están entre 20 000 y 80 000 mg/L (Robinson y Gronow 1993). Sin embargo a los 15 meses de investigación se alcanzaron los 90 000 mg/L, condición que coincide con lo observado por Pisani *et al.* (2010), quien encontró a nivel laboratorio que en pacas elaboradas a densidades mayores de 800 kg/m³ y humedad mayor del 49 % valores de DQO llegaron hasta 83 100 mg/L.

Al comparar los resultados de DQO de los lixiviados de la mencionada investigación de Pisani *et al.* con los generados en el relleno sanitario de Naucalpan, los cuales son de 35 000 mg/L a 81 000

mg/L (SETASA 2010), y considerar que ambos tienen el mismo tipo de residuo, se observó que son casi similares a pesar de que del relleno sanitario tiene 4 años de operación.

La observación de los valores de AGV es determinante para conocer las fases en las que se encuentra la descomposición anaerobia de los RSU, por lo que los valores altos obtenidos a los cinco meses de disposición de los residuos indican que los residuos se encontraban en una fase acidogénica donde las proteínas y los carbohidratos han sido degradados por los microorganismos acidogénicos. Por su posterior decaimiento total aunado al decaimiento de la DQO y los valores neutros del pH se puede afirmar que los residuos pasaron a una fase metanogénica a los 8 meses de empacados.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación permitieron evaluar la formación de lixiviado de los residuos sólidos urbanos con alto porcentaje de materia orgánica de fácil degradación, dispuestos en pacas compactadas e impermeabilizadas con polietileno de baja densidad.

Se concluyó que la formación de lixiviado es escasa o casi nula, debido a que la precipitación pluvial no entró a los residuos, por la impermeabilización y la alta compactación en las pacas. Sin embargo, sus características físico químicas permiten concluir que la descomposición de los residuos a los 8 meses de empacados se encontraba en una fase metanogénica.

La disposición final de las pacas impermeabilizadas con polietileno de baja densidad constituye una barrera física que evita que la lluvia ayude a la generación de lixiviados, por lo que los que se generan se deben exclusivamente a la humedad de los residuos y al agua formada por la hidrólisis de la materia orgánica de los residuos dentro de la paca.

La investigación no incluyó analizar el comportamiento de las pacas ante cargas puntuales (poniendo pacas unas encima de otras), ya que era conveniente analizarlas en condición basal como referencia para investigaciones futuras.

No se puede afirmar si las plecas estaban en capacidad de campo porque esta variable no fue medida, sin embargo la humedad del interior permitió que se generara biogás.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen la colaboración del Municipio de Naucalpan, de la empresa operadora del relleno sanitario SETASA/ PROACTIVA, de la empacadoras de residuos DIBASA y del laboratorio de Ambiental del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS

- APHA-AWWA (1998). American Public health Association. American Water Works Association. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Editor 20 th edition.. Washington, EUA.
- AWWA (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Managing Editor 20th. Edition.
- Kjeldsen P., Barlaz M., Rooker A., Baun A., Lendin A. y Christensen T. (2002). Present and long-term composition of msw landfill leachate, critical reviews. *Environ. Sci. Technol.* 32, 297- 336.
- Nammari D., Mathiasson L., Mårtensson L., Marques M., Thörneby L. y Hogland W. (2007). Emissions from baled municipal solid waste: II Effects of different treatments and baling techniques on the emission of volatile organic compounds. *Waste Manage. Res.* 25, 109-108.
- OECD (2007) Environmental Data: Compendium 2006-2008. Organization for Economic Co-operation and Development, 10-16.
- <http://www.oecd.org/dataoecd/22/58/41878186.pdf> fecha de consulta (28/mayo/2011).
- Pisani Jr. R., Duran C. y Pereira C. (2010). Leachate chemical composition of household baled waste in lysimeters. Memorias Simposium de DIRSA. Congreso de AIDIS, d2010. Punta Cana, Republica Dominicana del 7 al 10 de nov del 2010. CD-ROM.
- Robles F. y Gourgon R. (1999). Effect of baling on the behavior of domestic waste: laboratory study on the role of pH in Biodegradation. *Bioresour. Technol.* 69, 15-22.
- Robinson H.D. y Gronow J.R. (1993). Review of landfill leachate composition in the UK. *Proceedings Sardinia. Fourth International Landfill Symposium, Cagliari, Italy*, 821-832.
- SETASA (2010). Bitácora de operación del relleno sanitario de Naucalpan. Edo. México. Servicios de Tecnología Ambiental SA de CV. Naucalpan, Edo. de Mexico. 1-80.
- Tello P. y Fernández G. (2012). Comportamiento de la digestión anaerobia de los residuos solidos urbanos en pacas compactadas e impermeabilizadas . Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Williams P. (2005). *Waste treatment and disposal*. Wiley, ISBN 0470849134, 9780470849132. 380 p. UK England.