

III-521 - IMPACTO DEL VOLUMEN, PESO Y DENSIDAD EN LAS PACAS IMPERMEABILIZADAS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN CONDICIONES DE GRAN ESCALA

Pilar Tello Espinoza

Posgrado de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México 1. Ing. Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú con Maestría en Ingeniería Ambiental área de residuos peligrosos y Candidato a Doctor en el área de Residuos Sólidos en la Universidad Nacional Autónoma de México. ptello@hpambiental.com

Georgina Fernández Villagómez

Maestra del Posgrado de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México 2

Endereço: 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

RESUMEN

La investigación fue realizada con el objetivo de evaluar el comportamiento de la densidad y la deformación de pacas de los residuos sólidos urbanos compactadas e impermeabilizadas con polietileno de baja densidad (LDPE) en un ensayo a escala real. Se desarrollaron 2 ensayos, en el primero se elaboraron pacas de tamaño real de 1 m³ de volumen y una densidad promedio de 950 kg/m³ y un segundo ensayo en el que se elaboró una paca 608 kg/m³ de densidad y volumen la mitad de la paca grande, lo que permitió hacer una comparación del comportamiento de la densidad que se presentaba entre ambas condiciones de compactación a través del tiempo.

En los 15 meses de investigación se evaluó el comportamiento del peso, el volumen y la densidad de las pacas de residuos sólidos urbanos con un 53 % en peso de materia orgánica en promedio. El comportamiento de la densidad de los residuos en las pacas está relacionado a la variación del volumen y del peso por lo que se observó que la tendencia de estos parámetros en ambos tipos de pacas fue similar. Este comportamiento está relacionado a la descomposición anaerobia que se presenta en ambas pacas, independientemente de las dimensiones de éstas. Se encontró una disminución del peso en ambos tipos de pacas que varió del 3.1% al 4.8%, una disminución de la densidad que varió del 15% al 16.8% y un aumento del volumen que varió del 9.5% al 14.1%. Así mismo se encontró que la pérdida de peso en la paca chica fue el doble que en la paca grande. Concluyendo que las pacas con menor volumen producen una menor disminución de la densidad y una menor deformación que las pacas grandes.

PALABRAS CLAVE: Densidad, digestión anaerobia, disposición final de RSU, pacas impermeabilizadas de RSU.

ABSTRACT

The objective of the research project was to evaluate behavior of the density and deformation of bales of solid urban waste, which were compacted and wrapped with low density polyethylene (LDPE), in a full-scale study. Two studies were developed as part of the research project. Two trial studies were performed under the research project. The first study consisted of creating full size bales of one cubic meter in volume and had a density of 950 kg/m³. In the second study a bale with a density of 608 kg/m³ and half the volume of the larger bales was created which permitted to conduct a comparison of the density behavior under presented in both conditions of compaction over time.

In the 15 months of the research project, changes in weight, volume and density were evaluated for each bale of urban solid waste, which 53% of its weight consisted of organic material on average. The density behavior of the waste in the bales correlate to variation in volume and weight, as observed by a similar trend of these parameters in both studies. This behavior is related to the anaerobic decomposition that was present in both bales, independent of the dimensions of the bales. A reduction in weight of 3.1% to 4.8 % was observed along with a reduction density of 13.1% to 16.8%. An increase in volume of 9.5% to 14.1% was observed. Likewise, it was observed that the weight lost in the small bale were double of the large bale. It was concluded that the bales with the smaller volume produced a lesser decrease in density and deformation of the large bales due to the smaller sizes of its dimensions.

KEYWORDS: Density, full scale, urban solid waste, wrapping.

INTRODUCCIÓN

La vida útil de los rellenos sanitarios está relacionada a la compactación que se use en la disposición final de los residuos sólidos, lo que se refleja en la densidad de estos, esta determinación es realizada mediante técnicas de topografía que permiten saber cómo varió la altura de la celda respecto a la cantidad de residuos que se depositó en esa área.

En la búsqueda de nuevas alternativas de disposición final, principalmente encaminadas a la minimización de la generación de biogás y lixiviados, ha llegado a pensar que el embalaje de los RSU puede ser una tecnología viable. En la década de los 90's en Europa se comenzó a estudiar esta tecnología. Estas investigaciones han sido realizadas a nivel laboratorio 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), pero no el comportamiento de la densidad y la deformación en este tipo de pacas.

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 que tiene un 53% de materia orgánica (SEMARNAT, 2006), sin realizarles ninguna separación, esto con la finalidad de simular las condiciones 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).

OBJETIVO

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

MATERIALES Y MÉTODOS

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

La investigación desarrolló 2 ensayos, el primero usando 13 pacas grandes de un metro cubico de volumen y una tonelada de peso aproximadamente dando una densidad promedio de 950 kg/m^3 y un segundo ensayo en el que se elaboró una paca 608 kg/m^3 de densidad y un volumen de la mitad de la paca grande, lo que permitió observar la variación de la densidad en pacas de distintos volúmenes y densidad iniciales a través del tiempo.

Las pacas grandes fueron construidas con residuos que llegaban directamente de los camiones recolectores de la ruta de recolección, los cuales fueron conducidos a 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 las pacas grandes y estas fueron flejadas con alambre. Posteriormente fueron cubiertas cada una por 6 láminas de polietileno de baja densidad (LDPE) de $250 \mu\text{m}$. La paca chica fue construida con una presa hidráulica de 1.1 kg/cm^2 , flejada con cintas de plástico y también fue cubierta por 6 láminas de polietileno de baja densidad (LDPE) de $250 \mu\text{m}$.

Durante la investigación las pacas fueron pesadas con la báscula BRAR modelo PI/ G200 de 2,000 kilos.

Todas las pacas fueron colocadas sobre una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) de 40 mil, similar a la usada para la impermeabilización del relleno sanitario de Naucalpan.

Durante los 15 meses del periodo de la investigación se tomaron las dimensiones de las pacas cada mes y se pesaron a los 22 días, en los primeros 3 meses y posteriormente a los 45 o 60 días para el resto de la

investigación. Además se observó si había fuga de lixiviado, deformación de las pacas, la acción del clima y el ataque de los animales.

Las balas se mantuvieron expuestas a las condiciones climáticas del Relleno Sanitario de Naucalpan, con una precipitación media anual de 677 mm de lluvia expuesto al aire y sin cubrir, con temperaturas medias anual de 16.38°C y humedad relativa media de 54%. Las condiciones atmosféricas del lugar fueron obtenidos con una 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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación reportó que en 15 meses las pacas grandes presentaron una disminución del peso del 3.1 % lo que equivale a una pérdida de 28.54 kg, mientras que la paca pequeña presentó también una disminución del peso del 4.8% que representa en promedio una pérdida de 13.45 kilos, como se observa en la fig 1. Esta pérdida de peso se puede atribuir a varios factores como son el retiro de los residuos por los animales como ratas, gatos y perros que a pesar de la cerca de acero que protegía a las pacas lograban ingresar, ésta situación se observó más en las pacas grandes que en la paca chica. Investigaciones anteriores realizadas en Europa como es el caso de los ensayos de la Universidad de Cantabria que reporto la mordedura de cabras (Tejero y Szanto, 2001) y se considera un peso despreciable por esta circunstancia. Otra condición se atribuye a la descomposición anaerobia que se genera en el interior de las pacas que provoca la formación del biogás y la fuga del metano de las pacas, lo cual representa una pérdida de peso. La pérdida de peso fue mayor en la paca chica que en la paca grande y esto se atribuye a la que al estar menos denso los residuos, existen mayores espacios para que los gases que se forman en el interior de las pacas se transfieran a la atmosfera con más facilidad. Se observó que la generación del lixiviado fue mínima y no pudo ser cuantificada debido a que la evaporación era mayor y solo se percibía la mancha en el piso, sin embargo esto también representa un factor de pérdida de peso mínimo.

También se observó que existió una mayor pérdida del peso a partir del día 245 en ambos tipos de pacas lo cual está relacionado también con la descomposición anaerobia de los residuos como se explicó anteriormente.

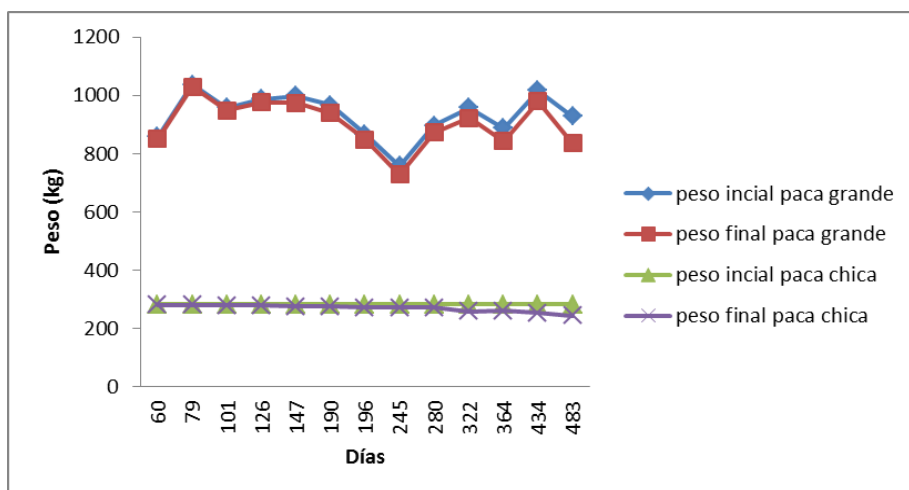


Figura 1. Variación del peso en las pacas grandes y en la paca chica en el tiempo.

Las dimensiones de las pacas grandes mostraron una deformación mayor en el largo de la paca, esto se atribuye a que la mayoría de ellas uso fleje de metal y éste se rompió por la presión interna de los residuos en las pacas. Además se observó que el fleje metálico se oxidó en todas las pacas por acciones de la humedad y el pH de los residuos que es ligeramente ácido, mientras que la paca chica no presentó mayor variación de las dimensiones de la paca por que usaron flejes de plástico que se usaron para su amarre permanecieron en su lugar sin romperse.

La presión interna que ejercen los residuos en el interior de las pacas provocó la ruptura del polietileno de baja densidad (LDPE) en la mayoría de las pacas grandes, mientras que en la paca chica solo alcanzo salida de residuos sin ruptura del LDPE.

Los resultados reflejan que el volumen en ambos tipos de pacas aumentó el 14.1 % en las pacas grandes y el 9.5% en la paca chica, llegando a un volumen final de 0.512m³ mayor que el obtenido en el inicio de 0.464 m³, como se observa en la fig.2. El mayor valor del volumen en las pacas grandes se atribuye al estiramiento de los residuos de gran volumen los cuales tratan de recuperar su espacio al dejar libre los espacios de los residuos orgánicos que se fueron fácilmente degradados.

También se observó que existió un aumento notorio del volumen a partir del octavo mes en la paca grande (día 245), sin embargo en la paca chica mantienen los valores casi constantes a partir del décimo mes (322 días), demostrando que la variación del volumen será mínima o casi nula.

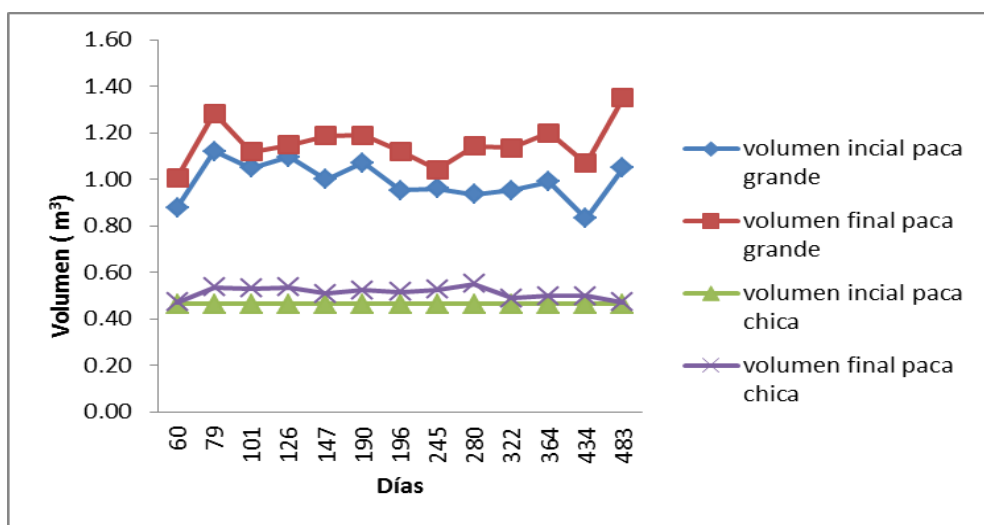


Fig.2. Comportamiento del volumen en las pacas grandes y la paca chica respecto del tiempo

La densidad de las pacas reportó un decaimiento respecto a densidad inicial del 16.8 % en las pacas grandes esto es de 945 kg/m³ a 786 kg/m³ y en un 13.8 % en la paca chica de 608 kg/m³ a 523 kg/m³, como se observa en la figura 3. Los valores resultantes de densidad en la paca grande representan valores similares a los reportados en promedio en los Rellenos Sanitarios que van de 700 a 1200 kg/m³ (Castillo et al, 2003), y sobre todo al del Relleno Sanitario de Naucalpan que es de 750 kg/m³ (SETASA, 2010).

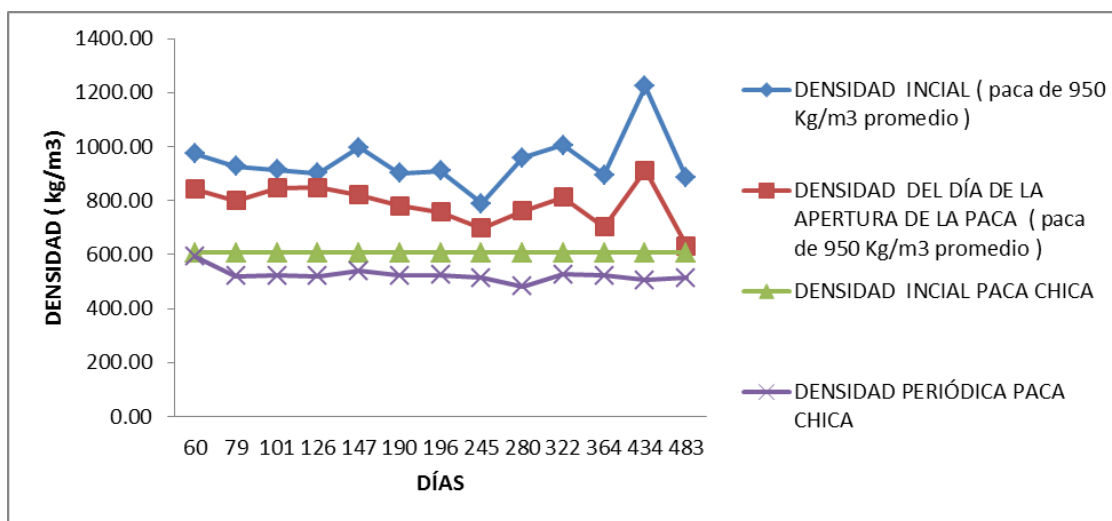


Fig. 3. Comportamiento de densidad en las pacas grandes y en la chica con distintas sistemas de compactación en el tiempo

Las dimensiones de las pacas variaron en los 12 meses transcurridos y se observa un aumento de las dimensiones en sus tres ejes. Se encontró en promedio un aumento del largo del 9.24%, del ancho 5.15 % y de alto 5.38%, ésta deformación es mínima para considerarlo en casos futuros al acomodar las pacas en las celdas, ya que en los Rellenos Sanitarios convencionales se observa deformaciones verticales entre 0.80m en zonas antiguas (10 años) y 5.50 m en áreas nuevas (1 a 2 años). (Jorge et al, 2004)

También se observó que los primeros 3 meses, que fue el periodo cuando se abrieron las primeras 4 pacas, la variación de las dimensiones fue mínima y a partir del cuarto mes las dimensiones aumentaron, hasta los valores reportados en el párrafo anterior.

CONCLUSIÓN

La investigación permitió evaluar el comportamiento de la densidad de pacas impermeabilizadas de residuos sólidos urbanos en un ensayo a gran escala con residuos sólidos urbanos mexicanos, llegando a la conclusión que a los 15 meses se presentó un aumento del volumen inicial para ambos tipos de pacas, este aumento del volumen se atribuye a la presión interna que ejercen los residuos al acomodarse en el interior de la paca llegando en muchos casos a perforar y abrir el polietileno de baja densidad. Por lo anterior se considera que un factor volumétrico de 0.14 para todo tipo de paca. Será necesario verificar por más tiempo el comportamiento de las pacas grandes ya que no se observó un cese en la variación de dimensiones, a diferencia que en la paca chica en los últimos 4 meses ya no se presenta mayor variación del volumen, por lo que se puede suponer que las pacas grandes ya entraran en esta misma etapa.

Ambos tipos de pacas disminuyeron su peso y esto se atribuye a la descomposición anaerobia que se presentó en las pacas, que al descomponerse la materia orgánica se produce una transferencia de masa en biogás y lixiviados provocan una pérdida de peso a razón del 4 % como máximo.

Al disminuir la densidad se pierde la compactación de los residuos de las pacas por lo que solo se puede ser compensada con el peso de las pacas que se coloquen unas sobre otras en la celda

El usar distintos equipos de compactación para formar las pacas no influye de manera radical en la disminución de la densidad de los residuos en las pacas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. 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.
2. Castillo, M., Cristancho, E. Arellano, V. 2003. Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos (Operating conditions study for municipal solid waste anaerobic digestion). Revista colombiana de biotecnología, V (2), 11-22.
3. 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.
4. Jorge, F. N., Baptisti, E., Gonçalves, A. 2004. Monitoramento em aterros sanitários nas fases de encerramento e de recuperação: desempenhos mecânico e ambiental. In: RESID, São Paulo.
5. Monzón I, Szanto, M. (2001). Sistema de embalado de RSU –IMABE. Universidad de Cantábria y Universidad Católica de Valparaíso.
6. Nammari, D.R. & Hogland, W. (2003): Storage of municipal solid waste: a walk through history and an outlook into the future. In: Toczyłowska, I. & Guzowska, G. (eds): The 8th Polish-Danish Workshop on 'Biomass for Energy', 12–15 June, Starbienino, Poland, pp. 233.
7. 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.
8. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2008), Environmental Data: Compendium 2006-2008. Pp. 10-16 : <http://www.oecd.org/dataoecd/22/58/41878186.pdf>
9. 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.

10. Robles, F.; Gourgon, R. (2000). Long – Term behaviour of baled household waste, *Bioresource Technology*, 72, 125-130.
11. SEMARNAT, (2006). Diagnóstico Básico para la gestión de residuos. México.
12. SETASA, (2010). Estudio topográfico de la celda en operación del relleno sanitario de Naucalpan.
13. 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.