

Composición y parámetros físicoquímicos de los residuos sólidos confinados en el relleno clausurado de Morelia

*Otoniel Buenrostro D.¹, Ma. Consuelo Hernández B.², Francelia Pinette G.¹,
Liliana Márquez B.¹ y Ruth Alfaro C.³*

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, UMSNH; ²Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, Edo. de México; ³Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, UMSNH.

Resumen

El relleno clausurado de Morelia confina 639,000 toneladas de residuos sólidos urbanos, acumulados en su periodo de vida útil de 20 años (1987 a 2007), durante su operación careció de sistemas de control de lixiviados y biogás. La clausura del sitio, involucró el emparejamiento y cubrimiento con grava y arcilla de las capas superficiales de la cortina de residuos, e instalación de 49 tubos de venteo de biogás. Esta investigación determinó la composición, parámetros físicos y químicos (temperatura, humedad, pH, cenizas, sólidos totales y volátiles) de los residuos sólidos confinados en el sitio. Se colectaron 24 muestras de residuos a profundidades de uno a tres metros, de ocho pozos de confinamiento de cinco y diez años. La temperatura se midió en campo; los parámetros físicoquímicos se determinaron con técnicas establecidas en las normas oficiales mexicanas. Los resultados indican un incremento de la temperatura que se relaciona con la profundidad del estrato y el tiempo de confinamiento de los residuos. Los valores de pH mostraron un comportamiento predominantemente básico. La humedad registró valores promedio de 31 a 51%. El contenido de cenizas

promedio fue de 26.8% y de 49.4% para los pozos de cinco y 10 años, respectivamente. Los sólidos volátiles registraron los mayores porcentajes en los pozos con antigüedad de cinco años, lo cual indica una menor degradación de los residuos sólidos. Estos resultados son útiles para proyectar el promedio de tiempo para la estabilización del sitio y el potencial de contaminación al ambiente.

Palabras clave: Estabilización; Residuos; Relleno; Contaminación; Morelia

Abstract

Composition and physicochemical parameters of solid wastes confined in the closed landfill of Morelia

The closed landfill of Morelia had a useful life of 20 years and accumulates 639, 000 tonnes of urban solid wastes, during their utility it was lacked of both leachate and biogas control systems. The closing of the site involved the mixture and pairing of the superficial layers of wastes, covering them with gravel and clay, as well as installing 49 tubes for venting the biogas. This research has the goal to determine the composition and the physicochemical parameters of the solid waste: temperature, humidity, pH, ash content, total and volatile solids. Waste samples were collected at two depths: one and three meters, from eight wells of five and ten years of antiquity. The temperature was measured in field; physicochemical parameters were determined according to the official Mexican norms and standards techniques.

The results indicate an increase in temperature with depth of the stratum and the confined time of wastes. The pH showed predominantly basic values; the humidity was on the range from 31 to 51%; the content of ashes was from 26.8% to 49.4% for wells of five and 10 years, respectively; the volatile solids showed the highest values in wells with five years of antiquity, which indicates a minor degradation of solid wastes. These results are useful to provide information for post-closure management and the impact to the environment of the landfill.

Key words: Stabilization; Wastes; Landfill; Pollution; Morelia.

1. Introducción

Morelia, al igual que otras ciudades de México, experimenta un proceso de urbanización acelerado que se refleja en una generación creciente y confinamiento inadecuado de los residuos sólidos urbanos (RSU). Este tipo de residuos de acuerdo con la Ley General para la Gestión Integral de los Residuos son “lo que se generan en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que

proviene de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole” (DOF, 2006). De lo anterior resulta importante la toma de decisiones que conduzcan a una gestión adecuada de estos residuos.

1.1. Descripción del área de estudio

El relleno clausurado de Morelia (Figura 1), se localiza a 12 Km., al oeste de la ciudad, en un valle natural formado por dos conos piroclásticos que se usan como banco de material (grava y arena). El relleno tuvo una vida útil de 23 años (de 1984 a 2007), en la cual se depositaron alrededor de 639, 000 toneladas de RSU, mezcladas con residuos peligrosos. El sitio durante sus años de actividad, careció de sistemas de control de lixiviados y su localización está en una zona de recarga natural del acuífero de la cuenca de Morelia (Israde *et al.*, 2005; 2009). La clausura del sitio implicó la aplicación de aproximadamente 10 centímetros de grava y arena sobre la cortina de residuos, con el fin de evitar la proliferación de fauna nociva, olores desagradables y el arrastre de los residuos por el viento, así como la instalación de 49 pozos de venteo de biogas colocados a una profundidad de tres metros para evitar la combustión espontánea de los residuos, debido a la acumulación de biogas.



Figura 1. Imagen aérea del relleno clausurado de Morelia (Fuente Google Earth, 2007).

El objetivo de este trabajo fue conocer la composición y parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos confinados para determinar el tiempo de estabilización del sitio, y el potencial de contaminación al ambiente.; los objetivos específicos fueron : (1) estimar la cantidad de RSU confinados en el relleno; (2) calcular los porcentajes de los componentes de estos y (3) Determinar los parámetros físicos y químicos (temperatura, humedad, pH, cenizas, sólidos totales y volátiles).

2. Metodología

2.1. Estimación de la cantidad de RSU depositados en el relleno

Se realizó un levantamiento topográfico para conocer el perfil del lugar, el cual se realizó con un sistema de posicionamiento global (GPS) (Trimble®). Se utilizó el programa Surfer 8 (Golden Software®), el cual es un programa para Windows que funciona para hacer mapas y trazar líneas de contorno en tercera dimensión para procesar los datos del levantamiento topográfico y obtener el área del relleno y el volumen de los residuos confinados. Posteriormente, con los datos de densidad (peso volumétrico) de los RSU, calculados de estudios anteriores (Buenrostro, et al., 2007), se estimó la cantidad total en toneladas de residuos sólidos depositados en el sitio.

2.2. Colecta de muestras de los residuos sólidos

Las muestras de RSU se tomaron de ocho pozos de los 49 perforados para la instalación de los tubos de venteo de biogas que se seleccionaron de acuerdo con un diseño del muestreo sistemático estratificado. Cuatro pozos correspondieron a cinco años y otros cuatro a diez años de antigüedad respectivamente, la cual se proporcionó por personal que administraba el relleno, por parte del Departamento de Aseo Público del Municipio de Morelia. En cada pozo se tomaron muestras de RSU a uno, dos y tres metros de profundidad (tres estratos), ya que esta fue la profundidad máxima a la cual se pudo excavar con el trascabo que estuvo excavando para colocar los pozos de venteo de biogas. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno y etiquetadas para su traslado en una hielera para disminuir el proceso de descomposición de los residuos en lo que estos se analizaban.

2.3. Caracterización de los residuos sólidos

Las bolsas con las muestras se pesaron y se vaciaron en charolas para separar manualmente cada uno de los componentes de los residuos, Posteriormente, se pesaron cada una de las charolas con los subproductos y se anotaron en el formato de clasificación de subproductos incluido en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22-1985 (SECOFI, 1985). Finalizada la separación y pesado de los subproductos, se sumaron todos los pesos para corroborar con el peso inicial de la muestra; los resultados se agruparon por sitio de muestreo y

estrato y se conformó una base de datos para realizar los análisis estadísticos y calcular los coeficientes de generación por subproducto.

2.4. Preparación de las muestras para los análisis de laboratorio

Previo a los análisis físicos y químicos, las muestras se trituraron para homogeneizarlas. La preparación de las muestras en el laboratorio para su análisis se realizó de acuerdo con la norma NOM-AA-52-1985 (SECOFI, 1985).

2.5. Determinación de los parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos

Se determinaron el contenido de humedad, de acuerdo con la *Norma Oficial Mexicana NMX-AA-016-1984* (SECOFI, 1985). Se utilizaron cápsulas de porcelana, previamente lavadas con agua destilada y secadas en la mufla a 550 °C. En las mismas cápsulas se pesaron 10 gramos de muestra sin compactar; enseguida, se pesaron las cápsulas con la muestra y se introdujeron a la estufa 105 °C durante 24 h; después se pusieron las cápsulas en el desecador durante una hora y se pesaron, por diferencia de pesos se determinó el porcentaje de humedad en la muestra.

La temperatura (T), se medía al momento de tomar las muestras, con un termómetro de piso digital (TRACEABLE®) que se enterró a la matriz de los residuos sólidos. El potencial de hidrógeno (pH), se midió con un potenciómetro Felisa modelo pc-18, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-25-1984 (SECOFI, 1985).

El contenido de cenizas se determinaron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-18-1984 (SECOFI, 1984). Este se efectuó con las muestras obtenidas de la determinación de humedad; se pesaron 10 gramos y se colocaron en la mufla a una temperatura de 550°C durante cinco horas; posteriormente, se pasaron al desecador por una hora para enfriarlas y se volvieron a pesar las cápsulas con la muestra calcinada.

Los sólidos totales (ST) se determinaron de acuerdo con las técnicas descritas en el manual de Standard Methods (APHA, 1995). Por último, los sólidos volátiles totales (SVT) se determinaron con base en los resultados de los análisis de determinación de humedad y cenizas, se realizaron los cálculos para determinar el porcentaje de SV (APHA, 1995). Los análisis físicos y químicos se hicieron por triplicado.

2.6. Análisis estadísticos

Los datos obtenidos de los parámetros analizados, se ordenaron de acuerdo con la ubicación de los pozos (tiempo de confinamiento) y profundidad del estrato en metros (estrato 1, 2 y 3) y se conformó una matriz de datos en Microsoft Excel 2007® y se analizaron con estadística descriptiva

3. RESULTADOS

3.1. Cálculo de la cantidad de residuos sólidos confinados en el sitio

De acuerdo con los resultados del levantamiento topográfico realizado con el programa Surfer 8, se estimó un volumen de 1,065,262 m³ de residuos confinados y con datos del peso volumétrico (600 kg/m³), se estimó una cantidad de 639,157 toneladas de residuos sólidos confinados en el sitio.

3.2. Caracterización de los subproductos de los residuos sólidos.

La cantidad total de RSU analizados fue de 63.7 kg, de los cuales 23.4 kg correspondieron a los pozos de 10 años y 40.3 kg de los pozos de cinco años. Del análisis de caracterización de los subproductos de las muestras de RSU se encontraron 37 subproductos diferentes (Cuadro 1), con una composición predominantemente orgánica.

En los pozos con 10 años de confinamiento se encontró en mayor proporción el cartón, bolsa de película, plástico rígido, material ferroso y piedras. En los pozos con cinco años de confinamiento se encontraron en mayor proporción el residuo fino (residuo no identificable por su grado de descomposición y fragmentación), pañal desechable y piedras (Cuadro 1).

CUADRO 1 Caracterización de los RSU analizados (Porcentaje base húmeda)					
SUBPRODUCTO	TIEMPO DE CONFINAMIENTO (AÑOS)		SUBPRODUCTO	TIEMPO DE CONFINAMIENTO (AÑOS)	
	5	10		5	10
Residuo Fino	68.18%	45.92%	Aluminio	0.08%	0.15%
Piedras	8.62%	8.03%	Loza y cerámica	0.07%	1.01%
Bolsa de película	4.01%	10.43%	Pilas eléctricas	0.07%	0.41%
Pañal desechable	3.53%	1.38%	Material Feroso	0.06%	3.89%
Residuos de jardinería	2.42%	1.58%	Hueso	0.05%	0.06%
Vidrio	2.22%	2.98%	Hojalata	0.02%	0.94%
Plástico rígido	2.05%	5.91%	Papel metálico	0.02%	0.00%
Trapo	1.73%	3.66%	Hule	0.00%	0.14%
Polipropileno	1.55%	0.17%	Bolsa de botana	0.00%	0.06%

Composición y parámetros fisicoquímicos de los residuos sólidos confinados...

CUADRO 1 Caracterización de los RSU analizados (Porcentaje base húmeda)					
SUBPRODUCTO	TIEMPO DE CONFINAMIENTO (AÑOS)		SUBPRODUCTO	TIEMPO DE CONFINAMIENTO (AÑOS)	
	5	10		5	10
Cartón	1.56%	6.39%	Bolsa laminada	0.00%	0.03%
Residuos alimenticios	0.68%	0.96%	Cabello	0.00%	0.02%
PET	0.66%	0.30%	Colillas	0.00%	0.04%
Madera	1.16%	0.43%	Heces fecales	0.00%	0.02%
Toalla femenina	0.40%	0.44%	Material eléctrico	0.00%	0.02%
Hielo seco	0.36%	0.57%	Papel celofán	0.00%	0.46%
Tetrapak	0.14%	1.07%	Papel higiénico	0.00%	0.02%
Material de Construcción	0.14%	0.91%	Pelo de animal	0.00%	0.03%
Papel	0.11%	0.59%	Zapatos	0.00%	0.95%
Residuos peligrosos	0.11%	0.03%	Total	100.00%	100.00%

En las figuras dos a la seis se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos; se registraron temperaturas más altas para las muestras de 10 años con respecto a las de cinco años; en todos los pozos de muestreo se observó un incremento de la temperatura (Figura 2) con respecto a la profundidad del estrato (rango de 23 a 44°C).

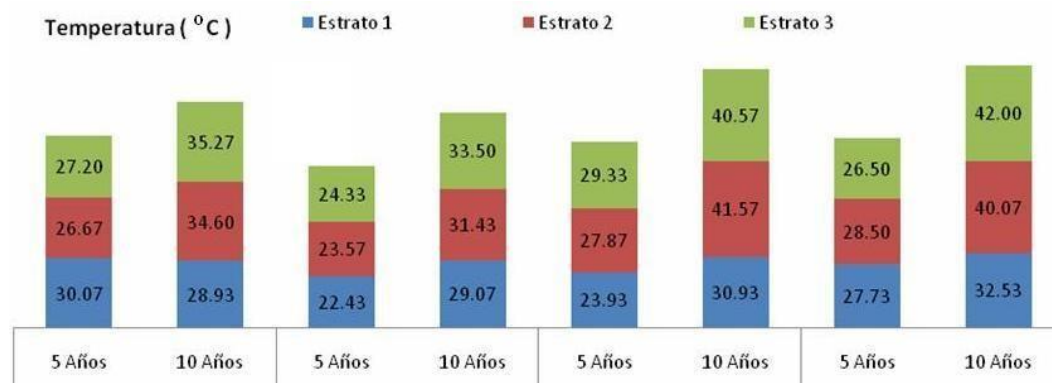


Figura 2. Temperatura registrada en los diferentes estratos de los pozos analizados en el relleno clausurado de Morelia.

Composición y parámetros fisicoquímicos de los residuos sólidos confinados...

Los resultados del pH (Figura 3) mostraron un comportamiento predominantemente básico (8.04 a 8.96), con excepción del pozo uno de 10 años, que en el estrato dos mostró un pH de 5.87 siendo los pozos de confinamiento de cinco años los que registraron un promedio de valores ligeramente más básicos (pH = 8.35) con respecto a los pozos de 10 años.

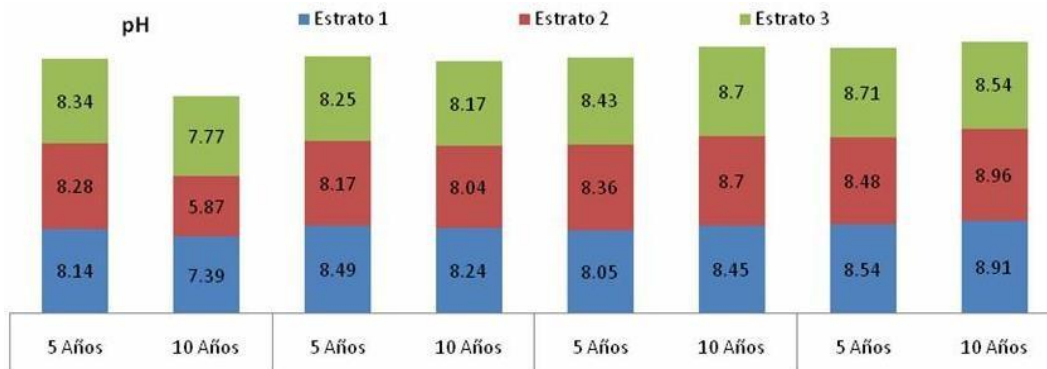


Figura 3. Ph registrado en los diferentes estratos de los pozos analizados en el relleno clausurado de Morelia.

La humedad (Figura 4), registró un comportamiento similar tanto en los pozos de cinco y 10 años (valores promedio de 31.7 y 31.8, respectivamente), aunque fueron los pozos de 10 años de antigüedad los que registraron los valores más altos que oscilaron del 34 al 51%.

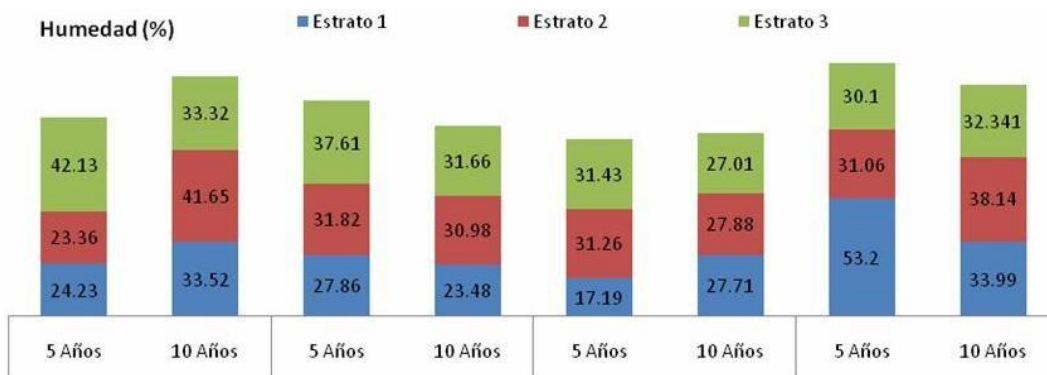


Figura 4. Humedad registrada en los diferentes estratos de los pozos analizados en el relleno clausurado de Morelia.

Composición y parámetros fisicoquímicos de los residuos sólidos confinados...

Con respecto a las cenizas, los pozos de 10 años de confinamiento registraron los mayores contenidos (promedio de 26.8% y de 49.4% para los pozos de cinco y 10 años, respectivamente). No se muestra la figura, ya que el contenido de esta, es el complemento de los SV en los RSU.

Los sólidos totales no mostraron una tendencia, ni una diferencia estadística en los pozos de ambos tiempos de confinamiento, lo cual indica la heterogeneidad de los residuos confinados dentro del mismo relleno (Figura 5).

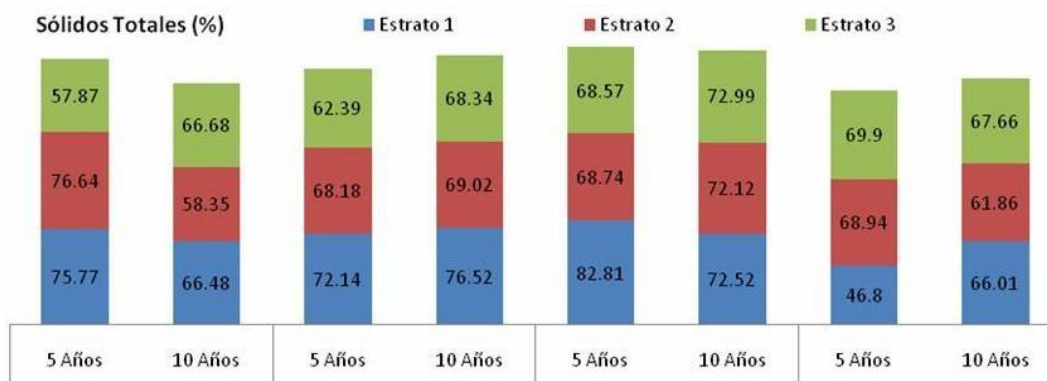


Figura 5. ST registrados en los diferentes estratos de los pozos analizados en el relleno clausurado de Morelia.

Los sólidos volátiles (SV) registraron los mayores porcentajes (Figura 6) en los pozos con antigüedad de cinco años, siendo los valores promedio de 52.1% (en peso) y de 73.1% (en peso) para los pozos de 10 y cinco años, respectivamente.

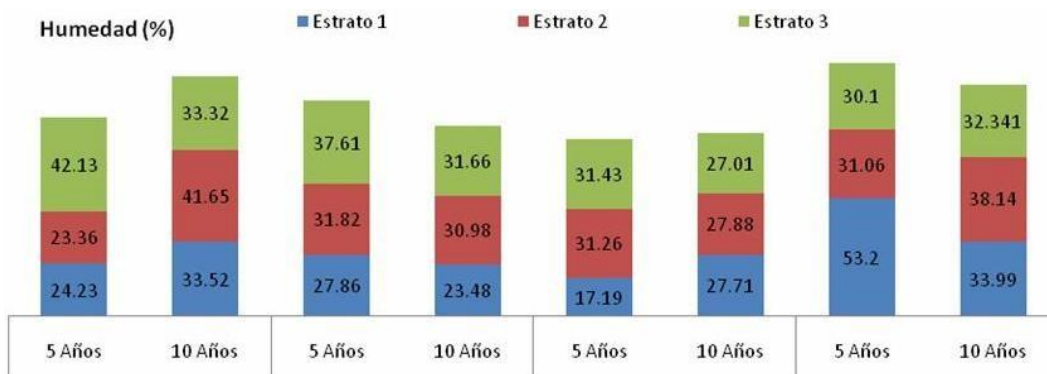


Figura 6. SV registrados en los diferentes estratos de los pozos analizados en el relleno clausurado de Morelia.

4. Discusión

Las determinaciones de SV indican diferentes estados de descomposición de los residuos sólidos confinados en el relleno clausurado de Morelia. No obstante, la remoción y emparejamiento de las capas superficiales de residuos sólidos y de adición de una gran cantidad de material de suelo en las labores de clausura del sitio de estudio, seguramente influyeron en los parámetros medidos a una profundidad de tres metros en este trabajo. De lo anterior, se recomienda ampliar los muestreos a estratos de profundidad mayores para conocer el comportamiento de los parámetros analizados (T, pH, H, C, ST y SV) en la degradación de los RSU. El cubrimiento inadecuado de los residuos confinados que tradicionalmente tuvo el relleno clausurado de Morelia y la cantidad más alta que lo usual de SV encontrados para el tiempo de confinamiento de los residuos, sugieren una influencia retardando el tiempo óptimo de la degradación de los RSU, ya que el proceso de estabilización de los residuos es lento, con respecto a los promedios de tiempo reportados en la literatura (Barlaz *et al.*, 1997; Zule *et al.*, 2007; Tchobanoglous, *et al.*, 1997). No obstante, estos resultados son útiles para proyectar el tiempo requerido para la estabilización del RSU confinados en el sitio de estudio.

5. Conclusiones

Con respecto a la composición de los residuos se pudo observar que ciertos componentes reciclables se encontraron en menor cantidad en los pozos de cinco años de confinamiento, lo cual sugiere que los programas de separación implementados recientemente, tanto por el Departamento de Aseo Público, como de las asociaciones de recolectores, han incidido en la disminución de este tipo de residuos. La cantidad de residuo fino observado en todos los pozos muestreados indica un avanzado estado de descomposición de los residuos; no obstante los pozos de 10 años mostraron un promedio menor, lo cual coincide con el mayor tiempo de confinamiento de los residuos. El estado de degradación también se indica con los resultados de los sólidos volátiles, que fueron mayores en los pozos de cinco años, lo cual demuestra una mayor cantidad de materia orgánica con respecto a los pozos de 10 años.

Además de la composición de los residuos, la amplitud observada en los rangos de valores de los ST y SV principalmente, demuestran una heterogeneidad en la composición física y química de los RSU y por ende del estado de degradación dentro del mismo relleno. Esto es importante para la toma de decisiones con respecto al manejo postclausura del relleno, ya que el estado de degradación de los residuos, muestra que la estabilización total de los RSU confinados, aún tomará tiempo, además de la generación de biogas derivado de la degradación de los RSU, el cual tiene un gran potencial contaminante en la atmósfera.

6. Bibliografía

- APHA (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 19a. ed. American Public Health Association. Washington, EUA. 1325 pp.
- Barlaz, M. A; Eleazer, W.E; Odle, W.S., Qian, X. y Wang, Y-S. 1997. Biodegradative analysis of municipal solid waste in landfills. EPA-600/SR-97/071, US Environmental Protection Agency.
- Buenrostro, O. (2001) Los Residuos Sólidos Municipales. Perspectivas desde la Investigación Multidisciplinaria. UMSNH. México. 5, 75-104 pp.
- Buenrostro, O.; Ojeda, S. & Márquez, L. 2007. Comparative Analysis of Hazardous Household Waste in Two Mexican Regions. *Waste management*. 27:792-801. ISSN: 0956-053X.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) 2006. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). México. Diario Oficial de la Federación. 38 pp.
- Israde, I.; Buenrostro, O; Carrillo, A. (2005) Geological Characterization and Environmental Implications of the Placement of the Morelia Dump, Michoacan, Central Mexico. *Waste Management and Research*. Volumen 55.
- Israde, A. I.; Buenrostro, D. O.; Garduño, M. V.; Hernández, M. V. y López, G. E. 2009. Problemática Geológico-Ambiental de los Tiraderos de la Cuenca de Cuitzeo, Norte del Estado de Michoacán. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 61(1): 1-9.
- SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) 1984. Norma Mexicana NMX-AA-016-1984. Determinación de Humedad. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo. México.
- SECOFI (Secretaría De Comercio y Fomento Industrial) 1984. Norma Mexicana NMX-AA-18-1984. Determinación de Cenizas. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. México.
- SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-022-1985. Residuos Sólidos Municipales. Selección y Cuantificación de Subproductos. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo. México.
- SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1984. Norma Mexicana NMX-AA-25-1984. Determinación del pH. Método Potenciométrico. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Comité de Protección al Ambiente. Contaminación Del Suelo. Residuos Sólidos. México.
- SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial) 1985. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-052-1985. Relación de Normas Oficiales Mexicanas Aprobadas por el Co-

mité de Protección al Ambiente. Contaminación del Suelo. Residuos Sólidos Municipales preparación de muestras en el laboratorio para su análisis. México.

Tchobanoglous, G. Theisen, H. y Vigil, S. 1997. Gestión Integral de los Residuos Sólidos (Volumen I). McGraw-Hill. México. 88-103 Pp.

Zule, J; Cernec, F; y Likon M. 2007. Chemical properties and biodegradability of waste paper mill sludges to be used for landfill covering. Waste Management & Research 25: 538–546Pp.

