

Emisiones de mercurio gaseoso total en sitios de disposición final de residuos sólidos municipales en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

David A. de la Rosa, Tania Volke-Sepúlveda y Gustavo Solórzano

Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA)

Instituto Nacional de Ecología (INE)

Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina. Iztapalapa 09340, D.F. México.

Tel: +52 (55) 5613-3787, Fax: +52 (55) 5613-3821; e mail: gsolorza@ine.gob.mx

Resumen

El mercurio es un elemento potencialmente tóxico cuyo vapor tiene una vida de 0.5 a 2 años, lo que le permite viajar grandes distancias y depositarse contaminando regiones lejanas a su lugar de origen. Una fuente potencial de vapor de mercurio poco estudiada en México, son los sitios de disposición final (SDF) de residuos sólidos municipales (RSM). Se sabe que diversos artículos con mercurio son desechados junto con los RSM que se depositan en SDF, donde las temperaturas pueden ser suficientemente elevadas para volatilizar el mercurio así dispuesto.

Con el objeto de evaluar la aportación de mercurio gaseoso total (MGT) por los SDF de RSM, se estudiaron cinco sitios ubicados en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, con diferentes etapas de avance. Se tomaron muestras de biogás y de aire ambiente en la periferia de los sitios, además de muestras de lixiviados para analizar su contenido de mercurio. Los resultados indican que en esta etapa del estudio no se puede correlacionar los niveles de emisión con la etapa reoperación, sin embargo se muestra evidencia de la importancia de estos sitios como fuentes de vapor de mercurio a la atmósfera.

Summary

Mercury is a potentially toxic element which gas phase has a life between 0.5 to 2 years, this allows it to travel great distances and to pollute by dry deposition distant regions to its place of origin. Potential sources of gaseous mercury with little studies in Mexico are the final disposal sites (SDF) of urban wastes (RSM). It is well know that several devises with mercury are

discarded within the RSM that are disposed in the SDF, were the temperatures are enough high to volatilize the mercury.

To assess the total gaseous mercury contribution (TGM) by the SDF of RSM, five sites located in the Mexico City Metropolitan Area with different stages of operation were studied. Samples of landfill gas, leached and ambient air from the surroundings were taken to analyze its mercury content. The results they indicate that in this stage of the study it is not possible to be correlated the levels of emission with the stage operation, nevertheless is evidence of importance of these sites like steam sources of mercury to the atmosphere

Palabras clave: Mercurio Gaseoso Total, biogás, residuos sólidos municipales, disposición final, Ciudad de México.

Introducción

La industrialización y el crecimiento económicos de un país, son factores que incrementan el consumo de bienes y, en forma simultánea, la cantidad de RSM generados. Hasta ahora, los principales destinos finales de los RSM en México son los rellenos sanitarios, rellenos controlados o tiraderos a cielo abierto, muchos de los cuales son operados en forma muy simple, provocando problemas de contaminación como la generación e infiltración de lixiviados, producción de biogás y malos olores, entre otros ^[1]. Por otra parte, es relativamente sencillo encontrar mercurio en diferentes artículos domésticos y de trabajo (p.ej. termómetros, baterías y lámparas fluorescentes), los cuales son desechados junto con la basura doméstica en sitios de disposición final. Dentro de estos sitios las temperaturas con frecuencia alcanzadas (hasta 75°C) son suficientemente elevadas para evaporar porciones de mercurio metálico ^[2].

La población de la ZMCM desecha diariamente cerca de 26000 toneladas de RSM ^[3]. A este respecto, es importante mencionar que en 1998, el consumo anual per capita de baterías en el país se acercaba a las 6 unidades, y la correspondiente a lámparas fluorescentes era de 1/16 de lámpara ^[4]. Es posible que la misma cantidad de estos artículos pueda desecharse dentro de la corriente de RSM y, aunque una lámpara fluorescente típica contenga cerca de 20 mg de mercurio ^[5], el monto total de todos los artículos vendidos y desechados puede ocasionar la presencia significativa de

mercurio, el cual puede reaccionar y ser liberado a través de los lixiviados y/o biogás al suelo y la atmósfera. Por las razones anteriores, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la contribución de sitios de disposición de RSM en diferentes modalidades y etapas de operación, como potenciales fuentes de emisión de mercurio gaseoso.

Experimentación

Descripción de los sitios

Los sitios estudiados se ubican dentro y cerca de la Ciudad de México, todos ellos son responsabilidad de los gobiernos locales correspondientes. A cada sitio lo distinguen características particulares, como son las tasas de disposición de RSM, tipo y etapa de operación, ya que cada uno se encuentra en una etapa diferente de operación.

El sitio 1 es un tiradero a cielo abierto de reciente inicio de operación, que recibe 240 ton/día de RSM; no cuenta con infraestructura para captación de lixiviados y se coloca material de cubierta diariamente, pero no cuenta con sistema de captación y/o venteo de biogás.

El sitio 2 es igualmente un tiradero a cielo abierto de reciente inicio de operaciones, que recibe 800 ton/día, no cuenta con infraestructura para captación de lixiviados ni biogás y no se aplica cubierta diaria.

El Sitio 3 es un relleno sanitario en etapa de operación, recibiendo 800 ton/día de RSM. Cuenta con la infraestructura correspondiente a un relleno sanitario y se aplica cubierta diaria.

El Sitio 4 es un relleno controlado clausurado que cuenta con infraestructura para la captación de biogás y lixiviados, y una cubierta final impermeable compuesta por una geomembrana y una capa de tepetate compactado.

El Sitio 5 es un tiradero a cielo abierto clausurado que operó parcialmente como relleno controlado, y recibió un total de 13 200 000 toneladas de residuos durante su vida útil. Cuenta con infraestructura para venteo de biogás y captación de escurrimientos superficiales, así como con una cubierta final impermeable compuesta de geomembrana y tepetate compactado.

Muestreo y análisis de biogás y aire ambiente

Con el objeto de establecer el contenido de MGT en el biogás y su posible impacto en el aire ambiente en los sitios de estudio, se tomaron muestras simultáneas de aire cada veinte minutos (muestras 1, 2 y 3). Ambos tipos de muestras fueron tomadas en Bolsas *Tedlar*[®] o en globos metálicos, usando bombas de vacío SKC[®] ($500 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) en diferentes puntos alrededor de los sitios evaluados. Las muestras de biogás fueron tomadas de los tubos de venteo o en perforaciones hechas en el sitio (1.2 m de profundidad y 19 mm de diámetro) a través del material de cubierta. En cada tiempo de muestreo, se registró la dirección y velocidad del viento. Las muestras se conservaron en un sitio oscuro a temperatura ambiente por un tiempo máximo de 36 h. Las muestras de aire ambiente y biogás se analizaron manualmente ($1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, durante 2.5 min) en un analizador automático de vapor de mercurio (*Tekran*[®] 2537 A). La calibración del equipo fue hecha mediante la fuente interna de permeación del propio equipo. El tiempo máximo de almacenamiento de muestras se determinó con una muestra de aire ambiente (15 L) en un globo metálico, analizada cada 24 h durante un periodo de 96 h. Los resultados de esta primera prueba indicaron que la variación en la concentración de MGT ($12.47 - 12.62 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$) durante este periodo de tiempo no fue significativa.

Muestreo y análisis de lixiviados

Las muestras de lixiviados se tomaron, por duplicado, de lagunas y cisternas en los sitios 3, 4 y 5, mientras que en los sitios 1 y 2, se tomaron de pequeñas lagunas cercanas, formadas en el suelo cercano al sitio de disposición. La determinación de mercurio en los lixiviados se llevó a cabo de acuerdo el método EPA-7074-A, por absorción atómica de vapor frío.

Resultados y discusión

La Tabla 1 resume las concentraciones máximas y mínimas de MGT en aire ambiente y las concentraciones promedio de mercurio en lixiviados en cada sitio de muestreo. Los valores más bajos de MGT (2.98 a 6.50 ng m⁻³) se obtuvieron en el sitio 4, un sitio clausurado en 1996 con infraestructura adecuada para captación de biogás y lixiviados.

Tabla 1. Concentraciones mínimas y máximas de MGT en aire ambiente en cada sitio (muestras tomadas simultáneamente). Se incluye la dirección del viento y concentraciones de Hg soluble en lixiviados.

Número de sitio	Número de muestra	MGT máximo (ng m ⁻³)	MGT mínimo (ng m ⁻³)	Dirección del viento (grados)	Hg en lixiviados (mg·L ⁻¹)
1	1	24.49 (P4)	17.31 (P2)	12	0.0016
	2	26.64 (P4)	17.07 (P3)	358	
	3	23.32 (P2)	14.83 (P3)	348	
2	1	23.44 (P3)	10.32 (P1)	315	0.0016
	2	40.34 (P3)	12.85 (P1)	330	
	3	17.21 (P4)	11.69 (P3)	325	
3	1	61.95 (P2)	39.67 (P5)	70	0.0050
	2	59.14 (P3)	30.18 (P4)	40	
	3	81.23 (P4)	42.18 (P3)	45	
4	1	5.96 (P3)	2.98 (P10)	31	<0.0003
	2	6.50 (P4)	3.34 (P1)	72	
	3	5.97 (P2)	3.36 (P10)	87	
5	1	26.12 (P5)	1.49 (P6)	45	0.0090
	2	15.81 (P5)	1.60 (P6)	42	
	3	14.21 (P5)	1.28 (P6)	16	

Por el contrario, los valores más altos de MGT en aire ambiente se encontraron en el sitio 3, un relleno controlado actualmente en operación, también en este sitio se encontraron los valores más elevados correspondientes a las concentraciones mínimas de MGT. Por otra parte, los niveles de mercurio encontrados en lixiviados para todos los sitios estudiados estuvieron por debajo de límite máximo permisible (0.02 mg·L⁻¹) establecido en la NOM-052-SEMARNAT-1993.

La Figura 1 muestra la distribución de los datos en los puntos de muestreo (para aire ambiente y biogás). Se observaron diferencias en las concentraciones de MGT en cada punto de muestreo

para todos los sitios estudiados. Los puntos con valores máximos registrados (Tabla 1) resultaron viento abajo en todos los casos. En los sitios 2 y 3 se encontró que los valores de MGT en biogás fueron más bajos que los encontrados en aire ambiente, lo cual puede relacionarse con la carencia de cubierta diaria en el sitio 2, y al amplio frente de trabajo (150 m) en el sitio 3. Para este último sitio, el MGT emitido por los residuos expuestos resultó más elevado que el observado en los sitios que operan con cubierta diaria, donde las emisiones de biogás ocurren a través de la superficie y tubos de venteo. En este sentido, Kim y Kim^[2], encontraron fuertes correlaciones entre las concentraciones de MGT y las condiciones físicas que se definen en el camino hacia el aire ambiente (sistemas de venteo).

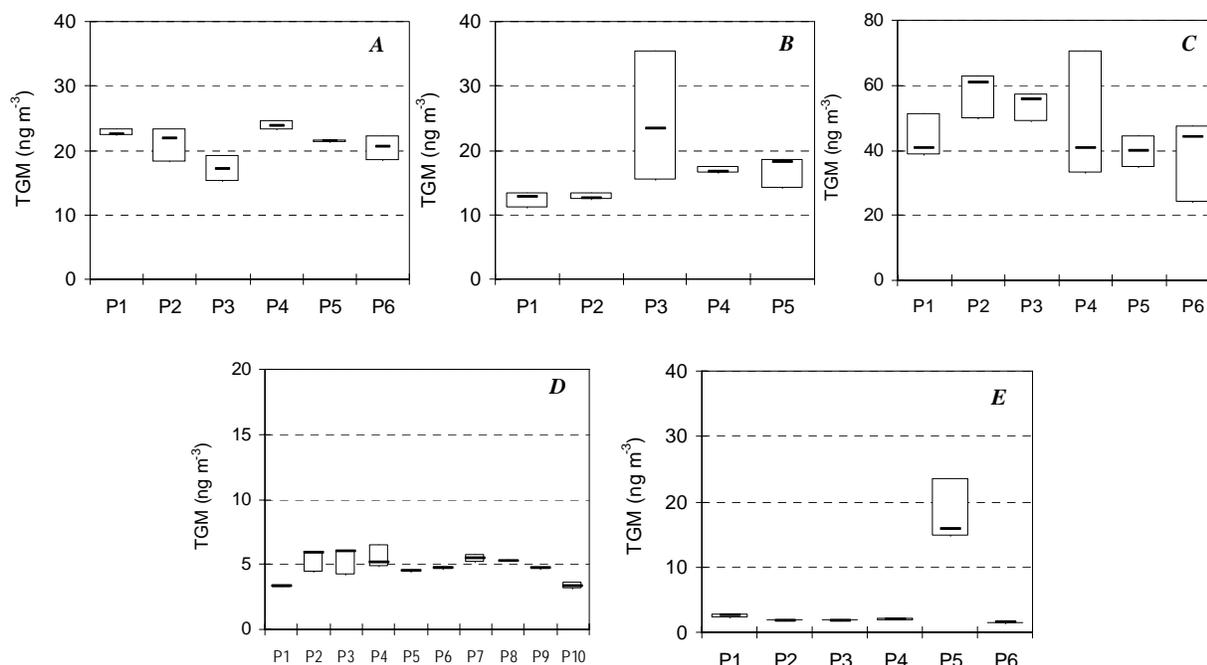


Figura 1. Distribución de concentraciones en diferentes puntos de muestreo para cada sitio. A: sitio 1; B: sitio 2; C: sitio 3; D: sitio 4; E: sitio 5.

En general, las concentraciones de MGT encontradas en los cinco sitios resultaron inferiores a las reportadas por Kim y Kim^[2], y por Lindberg *et al.*^[6], quienes encontraron concentraciones promedio de MGT de $420 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ y $7200 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente. Solamente en el sitio 5 se

registraron concentraciones elevadas de MGT (media geométrica $1166 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) en las muestras de biogás. En cualquier caso, estos valores significativos no se reflejaron en los niveles de MGT encontrados en aire ambiente para ese sitio como podía esperarse; sólo en un punto (P5) de este sitio se registró un incremento en la concentración de MGT influenciada posiblemente por la cercanía de un tubo de venteo y la dirección del viento.

Conclusiones

La emisión de mercurio a la atmósfera en sitios de disposición final de RSM se relaciona con la naturaleza de los RSM allí dispuestos, en términos de la proporción de artículos que contienen mercurio, más que con la etapa en la que se encuentra el sitio, el tipo de operación o la infraestructura disponible en cada sitio.

Solamente uno de los sitios estudiados puede considerarse como una fuente importante de MGT, el resto de ellos mostró niveles inferiores a los reportados en sitios similares en Seúl, Corea del Sur, y Florida, EUA. El contenido de mercurio en lixiviados resultó muy bajo y no se pudo relacionar con los niveles de MGT en ningún sitio; las concentraciones encontradas resultaron inferiores a las máximas permitidas por la normatividad mexicana.

Los resultados obtenidos muestran la importancia de continuar con este tipo de estudios en sitios de disposición de RSM en México, debido a que estos sitios constituyen fuentes potenciales de emisiones de mercurio a la atmósfera.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Environment Canada el valioso apoyo al prestar el equipo analizador de mercurio. Un agradecimiento especial a C. Green, R. Tordon, y S. Beauchamp de los Servicios Meteorológicos de Canadá, así como a V. Shantora y L. Trip de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte. Gracias también a las autoridades del Gobierno del Distrito

Federal así como de las municipalidades del Estado de México por las facilidades otorgadas para el acceso a los sitios estudiados.

Nota. Una versión de este trabajo **fue presentado** en inglés en la “7^a Conferencia Internacional sobre Mercurio como Contaminante Global” (Ljubljana, Eslovenia, 2004) y **se publicó en 2004 como:** de la Rosa, D.A., T. Volke-Sepúlveda and G. Solórzano. **2004.** Release of total gaseous mercury from municipal solid waste disposal sites nearby Mexico City. *RMZ-Materials and Geo-environment Periodical for Mining, Metallurgy and Geology*. Vol. 51 (1): 67-71. [ISSN 1408-7073].

Referencias

1. Allen, M.L.; Braithwaite, A. and Hills, C.C. (1997): Trace organic compounds in landfill gas at seven U.K. waste disposal sites. *Environ. Sci. Technol.* 31, 1054-1061.
2. Kim K.H. and Kim, M.Y. (2002): Mercury emissions as landfill gas from a large-scale abandoned landfill site in Seoul. *Atmos. Environ.* 36, 4919-4928
3. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2003. Datos proporcionados por la Dirección de Planeación, Asistencia Técnica y Capacitación para el Desarrollo Territorial. *Comunicación personal*
4. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática - INEGI (1999): XV Censos Industriales, Industria Manufacturera, manufactura de productos metálicos, maquinaria, equipo, materias primas y productos. Disponible en línea en: <http://www.inegi.gob.mx/>
5. Aucott, M., McLinden, M. and Winka, M.. (2003): Release of mercury from broken fluorescent bulbs. *J. Air & Waste Management Association*. |53: 143-151.
6. Lindberg, S.E.; Wallschläger, D.; Prestbo, E.M.; Bloom, N.S.; Price, J. and Reinhart, D. (2001): Methylated mercury species in municipal waste landfill gas sampled in Florida, USA. *Atmos. Environ.* 35, 4011-4015.