



XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental  
Cancún, México, 27 al 31 de octubre, 2002



## CUANTIFICACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES DE UN TIRADERO A CIELO ABIERTO, CASO DE ESTUDIO.

### **\*Reynaldo Cruz Rieva**

Instituto de Ingeniería de la UNAM, realizó sus estudios de Licenciatura en Ingeniería Civil en la Facultad de Ingeniería y la maestría en Ingeniería Ambiental en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Ha laborado 2 años en consultoras privadas y desde hace 4 años es becario del Instituto de Ingeniería de la UNAM participando en diferentes proyectos relacionados con el manejo de residuos sólidos.

### **Ma. Teresa Orta Ledesma**

Instituto de Ingeniería de la UNAM

### **Jorge Sánchez Gómez**

Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental S.A. de C.V.

### **Ma. Neftalí Rojas Valencia**

Instituto de Ingeniería de la UNAM



Dirección (\*): Circuito Escolar S/N, Instituto de Ingeniería, Edificio 5, tercer piso, cubículo 412, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacan, Distrito Federal - C.P. 09690 – México. Tel.:01(52)56223335, ext.05 – Fax: 01(52)56162164. e-mail: [RCruzR@iingen.unam.mx](mailto:RCruzR@iingen.unam.mx)

### RESUMEN

El grave rezago en la disposición final de Residuos Sólidos Municipales (RSM), que existe en México ha provocado la creación de un gran número de tiraderos a cielo abierto, los cuales han operado por décadas. Estos sitios por sus características intrínsecas, no tienen control alguno sobre los subproductos que se generan por la degradación de los RSM que confinan, por lo que los lixiviados y el biogás migran de forma aleatoria; esta migración causa severos daños al ambiente, ya que contaminan el suelo, los mantos acuíferos y la atmósfera. Además de los efectos mencionados, existen otros que se dan por la operación del tiradero y que representan un riesgo de salud pública, ejemplo de ellos son la proliferación de fauna nociva, la generación de partículas aerotransportables que portan patógenos. Si sumado a lo anterior se añade que en los tiraderos a cielo abierto no existe control en la recepción de los RS que reciben, entonces los problemas de impactantes aumenta drásticamente.

Este trabajo cuantificó el impacto generado por la operación del tiradero a cielo abierto de Tultitlan, Estado de México; el cual ha operado por más de 24 años. La cuantificación se enfocó en el cálculo de la cantidad de lixiviados que se genera anualmente por el tiradero, así como la cantidad generada a lo largo de su operación y el tiempo en el que dichos lixiviados entrarán en contacto con el acuífero. En lo concerniente a biogás, se calculó la composición del biogás generado en dicho tiradero, la cantidad generada anualmente y la generada a lo largo de todo el tiempo de operación. También se analizó la presencia de partículas aerotransportables viables en diferentes puntos del sitio y de la zona habitacional, haciendo evidente la urgencia en la clausura de este sitio y de todos aquellos tiraderos a cielo abierto existentes en el país.

**Palabras Clave: Residuos, Tiradero, Lixiviados, Biogás y Partículas**

### INTRODUCCION

En México existe una generación de 83,830 ton/día, de las cuales se recolecta aproximadamente por métodos convencionales y controlados el 70%. De esta cantidad recolectada, el INE reporta que el 17% es dispuesto en rellenos sanitarios, esto es, 13,539 ton/día, lo que quiere decir que 66,100 ton se disponen diariamente en tiraderos a cielo abierto no controlados o en tiraderos clandestinos, INE (1999). Este problema se magnifica en las grandes urbes como en la ciudad de México y el área metropolitana, ya que en estas áreas se encuentran concentrados millones de habitantes que

generan miles de toneladas de Residuos Sólidos Municipales (RSM), los cuales no son manejados debidamente, por lo que existe un gran número de tiraderos a cielo abierto, representando un grave daño al medio. Dicho daño puede clasificarse de diferentes formas, ya que dependiendo de la ubicación y de las características del suelo, el clima y otros factores sociales, el daño es mayor o menor.

Este trabajo es realizado en respuesta a la necesidad que existe en México de conocer a ciencia cierta las diferentes afectaciones (generación de lixiviados, biogas, vectores, partículas aerotransportables) que produce la operación de tiraderos a cielo abierto, con la finalidad de proponer medidas para mitigarlas. Mucho se ha hablado del peligro y daño que representa el funcionamiento de dichos lugares, pero no existen reportes acerca de la cantidad de contaminantes que aporta al ambiente, o de los daños potenciales que pueden producir.

El objetivo principal de este trabajo, es cuantificar los efectos producidos por la operación de un tiradero a cielo abierto, utilizando para ello un caso de estudio real, ya que actualmente, no existen en México, reportes que muestren la cuantificación de este tipo de impactos. El sitio seleccionado, es el tiradero a cielo abierto del municipio de Tultitlan, Estado de México, el cual lleva operando 24 años y se encuentra ubicado en zona de recarga del sistema de acuíferos de la Ciudad de México, por lo que la urgencia de su clausura y la de otros sitios similares en la zona es evidente.

## METODOLOGÍA

Para poder determinar y cuantificar las afectaciones que produce la operación del tiradero a cielo abierto de Tultitlan en el Estado de México es necesario calcular la cantidad de lixiviados, de biogás, de partículas y el riesgo que representan cada uno al ambiente. Para ello, se determinan los siguientes puntos.

1. *Ecuación estequiométrica de los RSM*; representa la composición química de los residuos sólidos. Mediante esta expresión es posible obtener las diferentes relaciones entre los elementos que la componen a los residuos a lo largo de su degradación, para cuantificar el CH<sub>4</sub> o el CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, es necesario conocer las características fisicoquímicas de los RSM, las cuales fueron obtenidas de estudios realizados a los residuos del relleno sanitario de Bordo Poniente, Lemus(1992), estas características pueden observarse en la tabla 1.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de los RSM del caso de estudio.

Parámetro	Valor		Valor
Carbono	43.02 %	Porosidad: n	40.00 %
Hidrógeno	5.96%	H =	45.00 %
Oxígeno	49.08 %	Porcentaje base humedad de materia degradable	80%
Nitrógeno	1.94 %	Cantidad de Materia orgánica en 1 m <sup>3</sup> de RSM	121.4 kg/m <sup>3</sup>
Capacidad de campo	1.62 L/kg	Porcentaje en base seca de cenizas en materia degradable	5 %
Peso volumétrico de la basura en la celda	900 kg/m <sup>3</sup>	Peso del aire	1 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Lemus, 1992

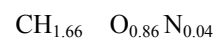
Con los valores de la tabla anterior, y ajustando los valores del Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno al 100% con base en el porcentaje de materia orgánica los valores considerados para obtener la fórmula mínima de los RSM serán los mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Valores ajustados al 100%

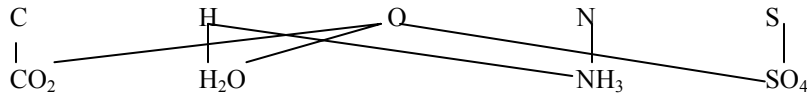
Elementos	Valores
Carbono	43.02/12
Hidrógeno	5.96/1
Oxígeno	49.08/16
Nitrógeno	1.94 /14



Tomando al carbono como base, se obtiene la fórmula mínima de los RSM, que es.



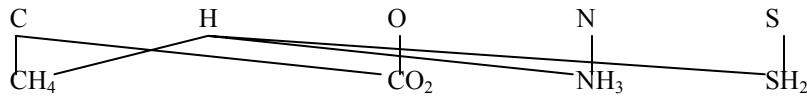
Tomando en cuenta que los residuos sólidos se descomponen en dos fases principales, la fase aerobia y la anaerobia; en la primera, la fracción orgánica está sujeta a la oxidación; las relaciones entre los elementos presentes en la descomposición de los residuos sólidos en la fase aerobia son:



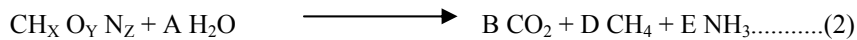
A partir de estas relaciones es posible determinar el CO<sub>2</sub>, el H<sub>2</sub>O y el NH<sub>3</sub>, que se formarán en esta fase de la degradación de los RSM, mediante la siguiente ecuación estequiométrica.



Utilizando el mismo procedimiento para la fase anaerobia de degradación, se tiene lo siguiente:



A partir de las relaciones anteriores se determina el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, así como el NH<sub>3</sub>. En esta fase de descomposición la fracción orgánica esta sujeta a la reducción que le proporciona el H<sub>2</sub>O que se encuentra en los RSM.



2. *Cálculo de la cantidad de lixiviados a partir de un balance de agua.* El balance de agua es comúnmente utilizado para la determinación de la cantidad de lixiviados en el campo de los residuos sólidos, este método consiste en el cálculo de las diferentes cantidades de humedad que participan en la generación de lixiviados, como la precipitación, la humedad generada por la degradación de los residuos, las cantidades de humedad requeridas para la estabilización y para el agotamiento de la capacidad de campo de los residuos sólidos. Una vez calculadas estas cantidades, se realiza el balance de agua y se obtiene la cantidad de lixiviado o la humedad requerida para que comience la lixiviación. La información acerca de los factores climáticos que intervienen en este proceso, como la precipitación pluvial y la temperatura del sitio en cuestión, fue obtenida de la estación meteorológica con clave 15073, ERIC (1996). Estos datos se encuentran en la tabla 3.

Tabla 3. Valores promedio de la temperatura y precipitación en Tultitlan, México

ESTACION	15073	Psa. Guadalupe Tultitlan, México											
TEMPERATURA [°C]		EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
PROMEDIO		4.96	5.73	8.58	10.86	12.71	13.97	13.32	12.87	12.75	10.25	7.81	6.28
PROMEDIO ANUAL=													10.01
PRECIPITACIÓN [mm]													
PROMEDIO DIARIO		0.26	0.22	0.36	0.53	2.00	4.46	4.48	4.20	3.93	1.55	0.28	0.19
MENSUAL TOTAL		7.92	6.95	11.30	16.33	61.94	138.36	138.80	130.20	121.78	48.10	8.78	6.01
TOTAL ANUAL =													696.47

Fuente: ERIC, 1996

Las cantidades de agua aportadas por la precipitación y la pérdida por evapotranspiración son de vital importancia para el cálculo, ya que usualmente son los factores que determinan la cantidad de lixiviados generados en un sitio de disposición final. Estos factores influyen directamente en la cantidad de agua que se infiltra a los RSM y esta variable es calculada mediante el método de C.W. Thornthwaite, Cruz (2002). Con dicho método se calcula la evapotranspiración potencial ajustada mensual, la cual es aquella que sucedería en un suelo con humedad constante, es decir, que el agua es evapotranspirada de manera indefinida sin tomar en cuenta que si el agua susceptible de ser extraída del suelo se agota, la evapotranspiración cesa. De esta forma se sabe cuanta agua se pierde, y si la cantidad de agua que precipita es suficiente, la diferencia, es la que se infiltra a los RSM y genera los lixiviados.

Usualmente el método de balance de agua se aplica para los rellenos sanitario en dos fases, la primera que corresponde al balance de agua en el material de cubierta, donde se calcula la cantidad de agua que se infiltra de la superficie por el material de cubierta y la humedad que percola hasta ponerse en contacto con los residuos confinados; y la segunda fase corresponde ya al agua infiltrada que percola a través de los residuos y que al agotar la capacidad de campo de los mismos comienza a lixiviar en el fondo de las celdas. Pero debido a que se trata de un tiradero a cielo abierto, es decir, un lugar cuya operación no incluye la cobertura diaria de los RS, se ha considerado para efectos de este estudio la carencia de una cubierta capaz de retener humedad y retardar el paso del agua a los residuos.

Después de contar con la cantidad de agua que se infiltra, se aplica el balance de agua completo, es decir, tomando en cuenta todas las aportaciones y requerimientos de agua, a nivel interno (humedad generada y requerida por la degradación de los RSM) y a nivel externo (precipitación, evapotranspiración e infiltración), analizando para ello un volumen unitario de residuos.

Para poder calcular el total de lixiviados que se han generado en este sitio a lo largo de sus años de operación, es necesario realizar extrapolaciones de la información que se posee, pues no existen registros acerca de las cantidades depositadas ni del crecimiento de su superficie a lo largo de su operación. Para efectos de este trabajo se considerará que la superficie del tiradero creció horizontalmente y de forma lineal; tomando esto en cuenta, se realizará el cálculo para cada una de estas superficies y se calculará el volumen de lixiviados generados en cada uno de los años, así como el volumen acumulado.

3. *Afectación de los lixiviados al sistema de acuíferos.* El diagnóstico de la afectación de los lixiviados a los mantos acuíferos de la zona de estudio es de suma importancia, ya que existen pozos que suministran agua para uso y consumo humano en esta región, Cruz (2002), entonces, es de vital importancia realizar este cálculo y hacer más evidente la necesidad de clausura de este tipo de sitios, por que representan un grave riesgo a la salud pública. Para este diagnóstico es necesario conocer las características del suelo sobre el que se ha formado el tiradero, y con esto saber la velocidad a la que viaja el líquido, utilizando la ley de Darcy, la cual considera una filtración en dirección vertical y con flujo laminar en condiciones saturadas, según esta ley, la velocidad del flujo es:

$$v = k * I = k * (d + h) / d$$

donde:  $k$  es la conductividad hidráulica del suelo;  $I$ , es el gradiente hidráulico;  $d$ , es el espesor de la zona sobre el nivel freático;  $h$ , es el nivel del agua (lixiviado) en el fondo del relleno, como carga hidráulica (Si  $h = 0$ , entonces el gradiente hidráulico  $I = 1$  y así la velocidad del flujo  $v = k$ ).

4. *Determinación de la cantidad actual y acumulada de biogás producida por la operación del tiradero a cielo abierto.* La cantidad de los diferentes compuestos que forman el biogás se determinan utilizando la ecuación que rige la degradación de los RSM en la fase anaerobia, que es en la fase donde se produce la mayor parte del biogás. Cabe señalar que la producción de este gas no es a una misma tasa, ya que dependiendo del desarrollo de las condiciones anaerobias dentro de los RSM es la velocidad de producción. Para conocer la generación de dicho gas en el tiempo es necesario utilizar un modelo propuesto por Barlaz (del departamento de ingeniería civil de la Universidad de Carolina del Norte en los Estados Unidos), este modelo utiliza una ecuación de orden cero, muestra que la tasa de generación de biogás es independiente de la cantidad de sustrato y toma en cuenta la masa de basura recibida anualmente, Vidales (1994), dicho modelo se muestra a continuación.

$$Q = Lo R (\exp (-Kc) - \exp (-Kt))$$

Donde:  $Q$ , tasa de generación de metano con el tiempo, [ $m^3/año$ ];  $Lo$ , capacidad potencial de la basura de generar metano, [ $m^3/Mg$ ];  $R$ , tasa de aceptación promedio de basura durante la vida activa del relleno, [ $Mg/año$ ];  $K$ , tasa de generación de metano que se supone constante, [ $1/año$ ];  $c$ , tiempo desde la clausura del relleno, [ $año$ ];  $t$ , tiempo desde el inicio de colocación de la basura en el relleno, [ $año$ ] y  $1 Mg = 1,000,000$  gramos = 1 tonelada métrica.

Aplicando el modelo anterior a los datos históricos de recepción de residuos por el tiradero a través de los años, y considerando que el sitio se clausura en el año 2000, es posible calcular la generación de biogás a través del cálculo de la

generación de metano en el transcurso de los años de operación del tiradero. Los valores de las constantes utilizadas en este cálculo se obtienen de los cálculos de la generación potencial de biogás para este caso y de las recepciones anuales de residuos registrados en la tabla, el coeficiente K se tomará de las recomendaciones del autor del modelo, el cual asume un valor de 0.05.

5. *Determinación de la presencia de partículas viables en el aire existente en el sitio y en zonas habitacionales.* La naturaleza intrínseca de los tiraderos a cielo abierto provocan una enorme cantidad de partículas suspendidas totales y viables; las segundas son las más preocupantes ya que se trata de organismos que pueden causar diversas enfermedades a todas aquellas personas que viven y/o laboran en las cercanías del tiradero, y más, en aquellas personas que vivan y laboren dentro del tiradero.

Debido a que no existen normas internacionales o nacionales que recomienden el tipo de microorganismo o la metodología a seguir para realizar dicha prueba, se recomienda en primera instancia, tomar en cuenta los microorganismos considerados como indicadores biológicos de contaminación en otros medios y que se han detectado en los escasos estudios efectuados en el aire de diferentes instalaciones de manejo de RSM, Sánchez (1996) y Reyes (1998). Los microorganismos a monitorear en este trabajo fueron: *Coliformes*, *Staphylococcus*, *Hongos* y *levaduras*, *Candida Albicannis* y *Salmonella*.

El procedimiento utilizado para dicho monitoreo fue el siguiente: a) Se colocan a exposición directa al aire una caja petri previamente identificadas con medios de cultivo selectivo (para *hongos* y *levaduras*, *Coliformes fecales* y *Salmonella*, *Candida*, etc.) durante un periodo de cinco minutos de forma simultanea; b) Terminado el tiempo de muestreo para cada uno de los medios, se registra y se identifica cada caja con número de muestra, fecha, fase y datos que pudieran ser útiles para el análisis; c) Las cajas se colocan en forma invertida para prevenir la condensación y se incuban a 35°C, durante un periodo de 24 – 48 hrs y d) Al término del periodo de incubación, se cuenta el número de colonias de cada caja considerando que una sola bacteria cuenta como una unidad formadora de colonia.

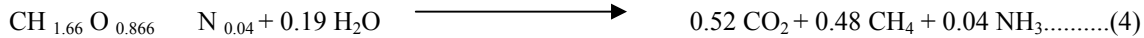
## RESULTADOS

### 1. Ecuación estequiométrica de los RSM.

Resolviendo la ecuación 1 por el método de coeficientes indeterminados se tiene obtiene la ecuación que gobierna la descomposición aerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos:



De la misma manera, se resuelve la ecuación estequiométrica 2 y se obtiene la ecuación que gobierna la descomposición anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos:



### 2. Cálculo de la cantidad de lixiviados a partir de un balance de agua.

Aplicando el método de C. W. Thornthwaite, en la figura 1 se muestra la generación de lixiviado en el año 2000, la cual fue de 16,450.2 m<sup>3</sup>.

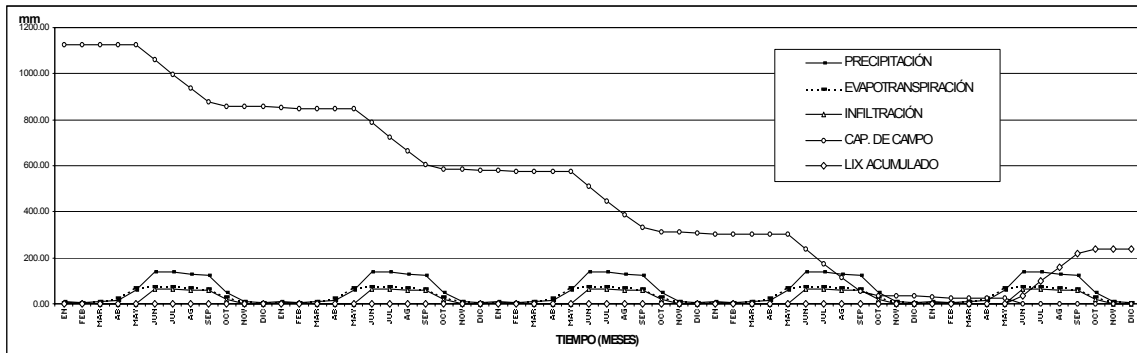
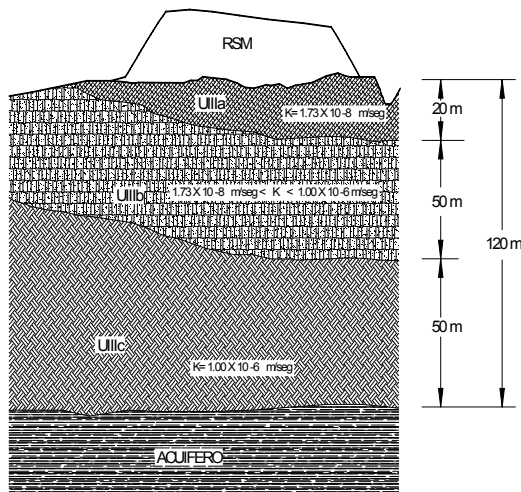


Figura 1. Generación de lixiviado en el año 2000 (superficie de 6 Has y 3.48 m de altura).

De la misma forma, y considerando que el área del tiradero creció de forma lineal, es decir  $2,500 \text{ m}^2$  por año, además que existieron variaciones en las tasas de generación, el número de habitantes, la cobertura de servicio, la cantidad de material recuperado y en el peso volumétrico de los RSM; se ha calculado que el volumen de lixiviados generado por este tiradero a cielo abierto ha sido de  $205,627.5 \text{ m}^3$  a lo largo de su operación iniciada en 1977.

### 3. Afectación de los lixiviados al sistema de acuíferos

Con la información obtenida de los estudios geofísicos, González de la F.R (2000), es posible observar los diferentes valores de conductividad hidráulica de los estratos que se encuentran entre el tiradero y acuífero, el cual se encuentra ubicado a 120 m de profundidad. Con estos datos es posible idealizar el subsuelo en cuestión, como se muestra en la figura 2.



Utilizando la ley de Darcy, es posible calcular que para estas condiciones de suelo, el tiempo que requieren los lixiviados para poder llegar a una profundidad de 120 metros atravesando tres estratos diferentes, es de 37.6 años.

Tomando en cuenta que el tiradero comenzó a operar en 1977, quedan solo 12.6 años para que los acuíferos sean contaminados.

Figura 2. Idealización de las condiciones del subsuelo en el sitio de estudio

### 4. Determinación de la cantidad actual y acumulada de biogás producida por la operación del tiradero a cielo abierto

De la ecuación 4, se separa la parte correspondiente al metano producido por una tonelada de RSM, con lo que se tiene que:  $0.48\text{CH}_4 = 0.48 \times (12+4) = 7.67 \text{ g/mol}$ ; la cantidad de metano es de:  $7.67 \times 0.121 \times 1 / 27.89 = 0.033 \text{ Ton.}$  y tomando la densidad del metano de  $0.7167 \text{ Kg/m}^3$  se tiene un volumen de  $47 \text{ m}^3$ .

De la misma forma, se obtienen las cantidades de Bióxido de carbono ( $50 \text{ m}^3$ ) y Amoniaco ( $3 \text{ m}^3$ ), cuya suma es de  $101 \text{ m}^3$ , lo cual indica que la cantidad de biogás potencial que se puede producir por tonelada es de  $101 \text{ m}^3$  con una

composición porcentual de: Metano (46%), Bióxido de carbono (50%) y Amoniaco (4%). Utilizando los datos históricos de disposición de RS y las ecuaciones que gobiernan la producción de biogás, obtenemos que el tiradero a lo largo de sus 24 años de operación, ha generado 72 millones de m<sup>3</sup> de biogás.

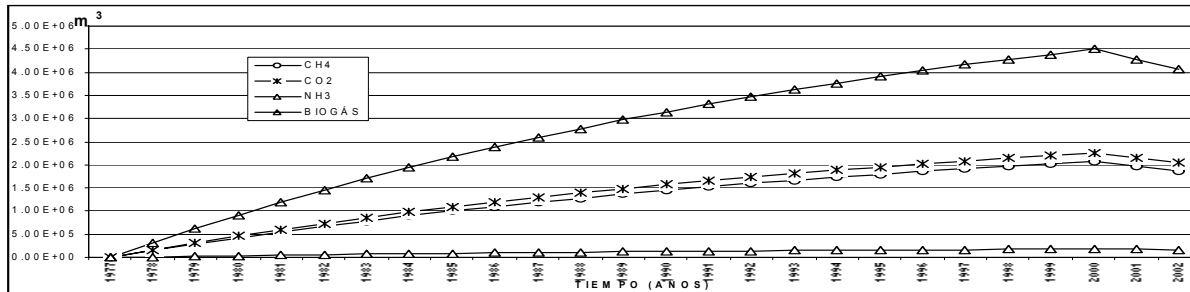


Figura 3. Generación de biogás por el tiradero a cielo abierto de Tultitlan.

#### 6. Determinación de la presencia de partículas viables en el aire existente en el sitio y en zonas habitacionales

Los resultados del muestreo aerobiológico se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Microorganismos indicadores de contaminación identificados en diferentes medios.

Microorganismos indicadores	Tiradero a cielo abierto de Tultitlan		
	A	B	C
Coliformes	ND	3	1
<i>Staphylococcus</i>	24	4	13
Hongos/ levaduras	5	6	3
<i>Candida</i>	1	1	1
<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND

A) Frente de trabajo; B) Laguna de evaporación; C) Zona habitacional; I) incontables; ND) No detectados.

## CONCLUSIONES

El volumen de lixiviados producido por el tiradero a cielo abierto de Tultitlan fue de 16,500 m<sup>3</sup> por año y la cantidad que ha generado a lo largo de sus 24 años de operación es de 205,627.50 m<sup>3</sup> de lixiviados, lo cual indica una contaminación grave al suelo y posiblemente a los acuíferos.

La falta de infraestructura de evacuación y control de lixiviados en el tiradero propicia la infiltración de los mismos al subsuelo, y con ello, pone en grave riesgo la integridad de los acuíferos existentes en el mismo. Una característica que hace más vulnerable el sitio de estudio, es que se encuentra en una zona de recarga de acuíferos, y se ha calculado que faltan 12.6 años para que dichos lixiviados entren en contacto con el acuífero, demostrando con esto la urgencia de la clausura de dicho tiradero. Este daño representa un grave riesgo a la salud pública, ya que la población obtiene el agua para uso y consumo del subsuelo, además de que al potabilizar el agua se debe que tratar de una forma más específica, lo que representa onerosos gastos. Por estas razones, los lixiviados deben ser extraídos de los RS y enviados a plantas de tratamiento o en el peor de los casos a lagunas de evaporación, con el fin de detener estas afectaciones.

El tiradero de Tultitlan produce 2.72 m<sup>3</sup>/Ton-año de biogás, el cual a falta de sistemas de control puede emigrar a la atmósfera, acumularse dentro de los RS, en cavidades en el subsuelo o en la zona habitacional aledaña al sitio, con los peligros que esto representa. Así mismo, se obtuvo por medio de estequiometría y una ecuación cinética de primer orden que actualmente el tiradero produce 4,000,000 de m<sup>3</sup> de biogás al año y que a lo largo de su operación ha generado 72 millones de m<sup>3</sup>, por lo que es evidente la urgencia del control de dicho subproducto, ya que este gas se compone básicamente de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> (60-40% respectivamente) por lo que se está contribuyendo al cambio climático. Además el CH<sub>4</sub> representa un grave riesgo, ya que en concentraciones del 5-15 % en volumen de aire, la mezcla se

vuelve explosiva generando un riesgo a la seguridad pública de las cercanías del sitio. También el biogás produce malos olores, lo que es otra afectación, estos, provienen principalmente del H<sub>2</sub>S lo cual no solo afecta el bienestar de las personas que viven en las cercanías, si no también, reduce la plusvalía de los terrenos en las cercanías del tiradero, generando un problema económico y social. Es altamente recomendable que dicho biogás sea captado y tratado para su utilización como combustible alternativo y con ello aprovechar dicho gas y sobre todo evitar los efectos antes mencionados.

Las partículas suspendidas se consideran como impactantes por la operación de tiraderos a cielo abierto, las cuales pueden penetrar al aparato respiratorio y provocar diferentes tipos de enfermedades respiratorias que van desde alergias hasta enfermedades asmáticas. En el caso de estudio se encontraron indicios de la presencia de Coliformes, Staphylococcus, Hongos y levaduras, Candida Albicans y Salmonella.; por lo que este tipo de afectación pone en riesgo a todas aquellas personas que laboran en el tiradero e incluso a aquellas que viven en las cercanías del lugar. Para este tipo de impactante, la minimización del problema es la desaparición de este tipo de sitios, lo cual es urgente en muchos casos como lo es en el de Tultitlán.

Una afectación más causada por la operación de tiraderos a cielo abierto es la proliferación de fauna nociva como las ratas, perros, gatos, aves e insectos; los cuales obtienen su comida a través de los RSM que se depositan diariamente en estos lugares, razón por la cual no emigran a las afueras del tiradero y se concentran dentro del área donde tienen sus madrigueras. Esta fauna también llamada vectores representa un grave riesgo a la salud de todas las personas que viven en las inmediaciones de los tiraderos. Esta afectación es posible controlarla con campañas de eliminación, lo cual debe efectuarse como trabajo previo a la clausura de tiraderos a cielo abierto.

## BIBLIOGRAFIA

1. Cruz, 2002; "Anteproyecto de la clausura del tiradero a cielo abierto de Tultitlán, Estado de México", Tesis de Maestría, UNAM, México
2. ERIC, 1996; "Extractor Rápido de Información Climatológica", Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
3. González de la F. R., 2000; "Estudio de prospección geofísica - hidrogeológica como parte de los estudios de caracterización del sitio abandonado con residuos sólidos peligrosos, relleno sanitario de Tultitlán en el estado de México" Informe final, Geofísica y perforaciones del medio ambiente, S.C, México, D.F. 120 pp.
4. INE, 1999; "Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos", SEMARNAP, México, D.F., parte 1-3.
5. Lemus V. E., 1992; "Las celdas de control como dispositivos para el monitoreo ambiental y para el conocimiento de los procesos de estabilización en los sitios de disposición final de residuos sólidos", Tesis de maestría, IPN, México.
6. Reyes M., et al, 1998; "Monitoreo Ambiental en Instalaciones para el manejo de Residuos Sólidos, DGSU, D.F. 1998.
7. Sánchez G.J., Ortega R.R., Semadeni M.I. y Cedillo V., 1996; "Obtención de parámetros de Ajuste para el Cálculo del Balance de Agua en Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos Peligrosos." Memorias del XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Volumen III, Tratamiento y Disposición de Residuos Sólidos. Celanese Mexicana.
8. Vidales A. H., 1994; " Generación y cuantificación de biogás en rellenos sanitarios", Notas de los residuos sólidos y peligrosos, Revista, Tomo I, Vol. 8, AMCRESPAC, México, D.F.