

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL

### ‘Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011’

VARIACIÓN ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES EMITIDOS DESDE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN ETAPA DE POST-OPERACIÓN.  
CASO BASURERO DE NAVARRO – CALI

Ana P. Lasso, M.Sc. Ing. Sanitaria, Estudiante de Doctorado en Ingeniería, Grupo de Investigación ECCA, Universidad del Valle. Correo electrónico: [anaplasso@gmail.com](mailto:anaplasso@gmail.com)

Juan P. Silva, M.Sc. Ing. Químico, Profesor, Grupo de Investigación ECCA, Universidad del Valle. Correo electrónico: [juan.silva@correounivalle.edu.co](mailto:juan.silva@correounivalle.edu.co)

Miguel R. Peña, Ph.D. Ing. Sanitario, Profesor, GISAM, Universidad del Valle. Correo electrónico: [miguel.pena@correounivalle.edu.co](mailto:miguel.pena@correounivalle.edu.co)

Iris T. Cruz, Ing. Sanitaria, Grupo de Investigación ECCA, Universidad del Valle. Correo electrónico: [tatiana87800@gmail.com](mailto:tatiana87800@gmail.com)

#### Resumen

Con el propósito de establecer la potencial influencia de las emisiones gaseosas de benceno, tolueno y xileno (BTX) generadas en el Basurero de Navarro (BN) en Cali – Colombia, se determinó la variación espacial de las concentraciones de estos contaminantes en zonas aledañas a este sitio de disposición. Las mediciones de BTX se realizaron utilizando muestreadores pasivos los cuales fueron ubicados en siete puntos: uno en el basurero, cinco puntos en zonas aledañas en un radio de 4 km y un punto control a 12 km de distancia desde el basurero. Los resultados indicaron que las concentraciones más altas de benceno ( $2.01$  y  $1.52 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) y tolueno ( $25.56$  y  $5.00 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) se encontraron en el Vallado y las más altas de m,p-xileno ( $14.95$  y  $5.69 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) en Ciudad 2000, puntos localizados en la dirección norte del BN. Aunque estas concentraciones no son tan elevadas, al comparar con lo sugerido por la OMS, en el caso del tolueno y el m,p-xileno, se superan ligeramente los valores referencia sugeridos, lo que puede indicar que en la zona evaluada la calidad del aire es alterada por BTX. Sin embargo, no se pudo establecer si ello es debido solo a la existencia del BN.

**Palabras clave:** áreas urbanas, BTX, compuestos orgánicos volátiles, relleno sanitario, residuos sólidos.

#### Introducción

La degradación biológica de los residuos sólidos en sitios de disposición final genera contaminantes gaseosos que pueden ser nocivos para la salud y el ambiente. Aunque el metano y el dióxido de carbono son los principales gases generados en rellenos sanitarios, existen compuestos orgánicos volátiles (COV) como benceno, tolueno y xileno (BTX) entre otros, que si bien se generan en cantidades pequeñas (1–2%), pueden causar un efecto más significativo en la salud de las personas (Chiriac et al., 2007). Diferentes investigaciones muestran que las emisiones de gases en sitios de disposición final como rellenos sanitarios o basureros a cielo abierto están relacionadas con el tipo de sistemas, condiciones ambientales y tipo de residuo (Chiriac et al., 2007; Obersteiner et al., 2007; Parker et al., 2002). De acuerdo con Obersteiner et al. (2007), el mayor potencial de emisiones de gases provenientes de rellenos sanitarios se da en la fase de degradación alrededor de los 30 años de edad

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL

### 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

y prevalecen hasta los 100 años. Por tanto, el cierre de un sitio de disposición final no elimina la emisión de gases a la atmósfera.

Diferentes COV han sido encontrados en sitios de disposición final de residuos y áreas aledañas. Alcanos, alquenos, esteres, alcoholes, cetonas, hidrocarburos aromáticos han sido medidos y evaluados en diferentes estudios (Chiriac *et al.*, 2007; Hoque *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2006; Komilis *et al.*, 2004; Obersteiner *et al.*, 2007; Parker *et al.*, 2002). Sin embargo, los BTX son los compuestos orgánicos volátiles que más se han determinado en rellenos sanitarios, dada su naturaleza peligrosa y por ser considerados indicadores de la calidad del aire. En un relleno sanitario en operación en Turquía se encontraron concentraciones de benceno entre 5.6 y 3137.8  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , de tolueno entre 23.4 y 10234.4  $\mu\text{g.m}^{-3}$  y de xileno entre 5.3 y 426.1  $\mu\text{g.m}^{-3}$  (Durmusoglu *et al.*, 2009). Por su parte en China, se encontró que las concentraciones de BTX de los rellenos sanitarios en operación son mayores que aquellas medidas en rellenos sanitarios clausurados (benceno: 234  $\mu\text{g.m}^{-3}$  vs 31.8  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , tolueno: 10883  $\mu\text{g.m}^{-3}$  vs 259  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , m,p-xileno 2362  $\mu\text{g.m}^{-3}$  vs 10.4  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) (Kim *et al.*, 2006). Igualmente, en zonas aledañas a rellenos sanitarios con poca influencia de otras fuentes, se han encontrado concentraciones menores a aquellas medidas directamente en el relleno (i.e. benceno 234  $\mu\text{g.m}^{-3}$  vs 13.0  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en operación y 31.8  $\mu\text{g.m}^{-3}$  vs 0.96  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para un relleno clausurado) (Kim *et al.*, 2006). En general, en estos estudios se ha encontrado que el tolueno es el compuesto más abundante seguido por el xileno.

El Basurero de Navarro (BN) fue el sitio de disposición de residuos sólidos de Cali, Yumbo y Jamundí desde 1969 hasta su clausura en 2008. Durante este periodo de tiempo, aproximadamente 1600 toneladas de residuos fueron dispuestas diariamente. Aunque este sitio de disposición final fue inicialmente concebido como un relleno sanitario se convirtió en una botadero a cielo abierto debido a prácticas de operación inadecuadas que generaron problemas de índole social y ambiental (Mosquera-Becerra *et al.*, 2009).

Gómez *et al.* (2008) realizaron mediciones puntuales de benceno relacionadas con el BN. En estas mediciones se encontraron concentraciones de benceno en el BN de 8.03  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , en el área expuesta de 2.92  $\mu\text{g.m}^{-3}$  y 1.55  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en el punto control. Estas mediciones muestran que el basurero producía un impacto sobre la calidad del aire de la ciudad de Cali, principalmente en las zonas aledañas del basurero. Sin embargo, estos valores fueron preliminares y no muestran una exposición de largo plazo.

Dada la importancia de la determinación de la influencia de las emisiones de COV generadas en el BN, el propósito de esta investigación fue establecerla distribución espacial de la concentración de BTX en el área de influencia del basurero a través del uso de muestreadores pasivos. Por otra parte, con esta investigación se logró

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL

### 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

encontrar que los muestreadores pasivos son una metodología apropiada para la determinación de las concentraciones ambientales de COV.

#### Metodología

##### Ubicación y descripción del sitio de estudio

El presente estudio se realizó en el BN ( $3^{\circ}22'32.08''N - 76^{\circ}29'48.77''O$ ) ubicado sobre la margen izquierda del río Cauca al oriente de la ciudad de Cali, la principal ciudad del sur – occidente de Colombia.

El basurero de navarro estuvo en funcionamiento desde 1969 hasta 2008 y recibió un promedio diario de 1600 toneladas de residuos. El BN tiene un área total de 42 Ha, de las cuales aproximadamente 30 Ha fueron empleadas para la disposición de los residuos sólidos domésticos e industriales sin ningún pre-tratamiento. El basurero está conformado por un cerro antiguo y un relleno transitorio. El cerro antiguo con un área superficial de aproximadamente 20 Ha recibió residuos entre el inicio de la operación y hasta septiembre de 2001. Por su parte, el relleno transitorio conformado por los vasos 1, 2, 3, 4, 5, 6, C y D, en los cuales se depositaron los residuos entre octubre de 2001 y la clausura en 2008.

##### Monitoreo

Las concentraciones ambientales de BTX se determinaron en siete puntos. Un punto fue ubicado en el cerro antiguo del BN, cinco puntos en el área de influencia del BN seleccionados en un radio de 4 km en la dirección predominantes del viento. Adicionalmente, un punto fuera del área de influencia del BN ubicado a 12 km de distancia fue empleado como punto control. En la tabla 1 se presentan los puntos y las coordenadas respectivas.

Tabla 1. Puntos de monitoreo en el área de estudio

Puntos de monitoreo	Coordenadas
Senderos del Lili	$3^{\circ}22'43.37''N - 76^{\circ}30'54.47''O$
Morichal	$3^{\circ}23'46.00''N - 76^{\circ}30'10.73''O$
Caney	$3^{\circ}23'5.24''N - 76^{\circ}31'8.75''O$
Ciudad 2000	$3^{\circ}23'48.31''N - 76^{\circ}31'1.78''O$
Vallado	$3^{\circ}24'27.26''N - 76^{\circ}29'44.15''O$
Morada	$3^{\circ}15'51.60''N - 76^{\circ}30'40.20''O$

Los criterios para la selección de los sitios de monitoreo, además de la distancia respecto al BN, fueron la ubicación respecto a las vías vehiculares principales y la ausencia de obstáculos que permitieran el flujo del viento. Los muestreadores se colocaron a una altura entre 2 y 6 metros de altura dependiendo de las condiciones del sitio de muestreo.

Las campañas de monitoreo se realizaron durante dos periodos: entre el 6 de agosto y el 10 de noviembre de 2009 y entre el 3 de febrero y el 19 de abril de 2010. Las

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL

### 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

muestras de BTX fueron tomadas con una frecuencia semanal, durante 10 semanas en cada periodo de monitoreo. Las muestras de BTX fueron recolectadas con muestreadores pasivos suministrados y analizados por IVL Swedish Environmental Research Institute, Suecia. Los muestreadores pasivos son tubos metálicos de 89 mm de longitud y 5 mm de diámetro rellenos con un material adsorbente Tenax que tiene la capacidad de retener los compuestos conformados por entre 6 y 9 carbonos por difusión. La exposición de los muestreadores al ambiente fue de una semana, al cabo de la cual el muestreador es sellado y cambiado por otro.

El análisis químico fue realizado en dos etapas en serie: primero la desorción térmica de los compuestos orgánicos volátiles y su posterior análisis en un cromatógrafo de gases provisto de un detector de ionización de llama (FID).

#### Resultados y discusión

El promedio de las concentraciones de benceno, tolueno y m,p-xileno para cada periodo de muestreo en cada uno de los puntos del área de estudio se presenta en las gráficas 1, 2 y 3, respectivamente. Como se puede observar las concentraciones promedio medidas en los periodos 1 y 2, para benceno ( $0.88$  y  $0.70 \mu\text{g.m}^{-3}$ ), tolueno ( $4.43$  y  $1.53 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) y m,p-xileno ( $2.99$  y  $1.62 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) en el BN fueron menores que las medidas en el área de influencia y ligeramente similares a las de la zona control. Igualmente, las concentraciones más altas de benceno ( $2.01$  y  $1.52 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) y tolueno ( $25.56$  y  $5.00 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) se encontraron en el Vallado y las más altas de m,p-xileno ( $14.95$  y  $5.69 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) en Ciudad 2000, puntos localizados en la dirección norte del Basurero de Navarro, zona que coincide con la dirección predominante del viento.

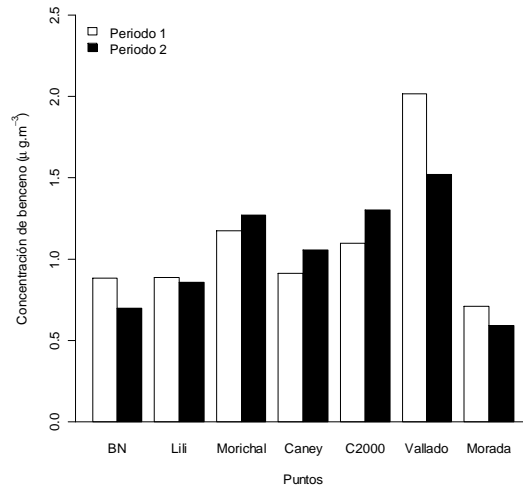
Mediante la prueba de Turkey ( $\alpha < 0,01$ ) y Mann Whitney (nivel de confianza 95%) se evidenció que en el periodo uno, las concentraciones de benceno y tolueno en el área de influencia (a excepción del Vallado) presentaron similitud en los valores obtenidos respecto al BN; mientras que en el segundo periodo, se presentaron tres puntos con diferencias significativas a la fuente de contaminación de estudio (Morichal, C2000 y Vallado). Respecto al xileno, se encontró que con un nivel de confianza del 95%, en el periodo 1 el m,p-xileno no presenta diferencias significativa entre el BN y las concentraciones de dicho compuesto en los puntos Lili, Morichal y Caney, mientras que en el periodo 2, las concentraciones de m,p-xileno de los puntos localizados en el área de influencia no presentaron diferencias significativas con la fuente de contaminación de estudio. Acorde con lo anterior, se encontró un incremento de las concentraciones desde el occidente hacia el norte en el sentido horario. Por su parte, las concentraciones más bajas de BTX fueron encontradas en el punto control, tal como se esperaba dada su ubicación espacial.

Al comparar los datos de concentración de BTX obtenidas en nuestras mediciones con lo reportado en la literatura (Tabla 2), se encontró que las concentraciones de BTX en el BN y zonas aledañas fueron relativamente más bajas que la de esos

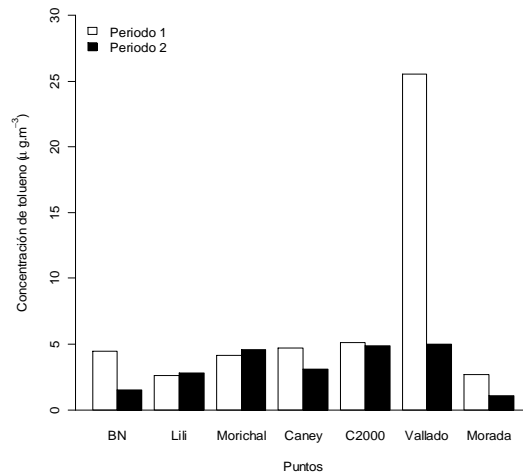
## II CONFERENCIA INTERNACIONAL

### 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

estudios e inclusive los valores alcanzados en la zona más crítica (Vallado) no llegaron a ser tan altos.



Gráfica 1. Promedio de las concentraciones de benceno en el área de estudio



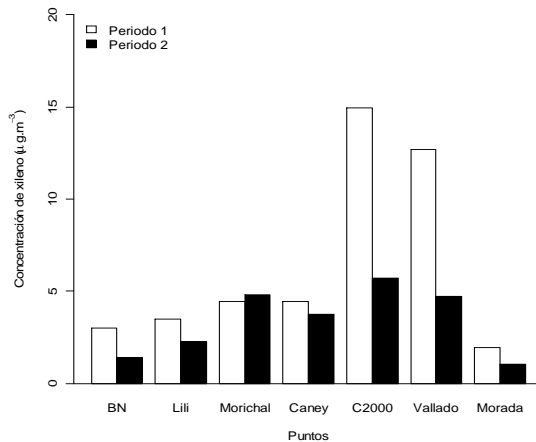
Gráfica 2. Promedio de las concentraciones de tolueno en el área de estudio

Las concentraciones típicas de benceno en zonas urbanas pueden encontrarse entre 5 y 20  $\mu\text{g m}^{-3}$  (Organización Mundial de la Salud, 2004); sin embargo concentraciones de benceno de 3137.8  $\mu\text{g m}^{-3}$  han sido reportadas en zonas con rellenos sanitarios (Durmusoglu *et al.*, 2009). En los resultados obtenidos, los promedios de concentración de benceno en los puntos de interés se encontraron por debajo del rango expuesto por la Organización Mundial de la Salud y de otros valores reportados en la literatura (Durmusoglu *et al.*, 2009). Estas diferencias podrían asociarse a la

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL

### 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

etapa de post-operación del BN en el cual la capa de cubierta instalada recientemente limitaría las emisiones gaseosas al ambiente.



Gráfica 3. Promedio de las concentraciones de m,p-xileno en el área de estudio

Tabla 2. Concentraciones de BTX en rellenos sanitarios reportados en la literatura

Referencia	Concentración (µg.m <sup>-3</sup> )		
	Benceno	Tolueno	Xileno
Kim and Kim (2002)	0.16 – 98.7	0.16 – 208	0.17 – 196
Wang <i>et al.</i> (2002)	7.3 – 73.0	12.0 – 113.0	6.2 – 45.7
Bogner <i>et al.</i> (2003)	0.74 – 1.8	20.59 – 76.8	52.84 – 85.5
Davoli <i>et al.</i> (2003)	–	3.99 – 4.83	4.73 – 4.78
Zou <i>et al.</i> (2003)	1.2 – 167.0	1.7 – 202.0	0.3 – 169.0
Dincer <i>et al.</i> (2006)	0.09 – 1.06	1.51 – 47.42	0.37 – 19.71
Kim <i>et al.</i> (2006)	0.48 – 115.0	1.02 – 6218	5.04 – 4166
Chiriac <i>et al.</i> (2007)	–	2190 – 2220	1359 – 2087
Kim <i>et al.</i> (2008)	1.02 – 21.37	3.92 – 66.7	0.43 – 13
Durmusoglu <i>et al.</i> (2009)	5.6 – 3137.8	23.4 – 10234.4	7.9 – 7464.3

Acorde con lo planteado por la Organización Mundial de la Salud (2004), las concentraciones promedio de tolueno obtenidas se encuentran en el rango establecido para zonas urbanas (5 – 150 µg.m<sup>-3</sup>). Igualmente, los promedios de las concentraciones medidas de tolueno son bajas en relación con otros estudios de COV en rellenos sanitarios (Durmusoglu *et al.*, 2009; Zou *et al.*, 2003). Sin embargo, de acuerdo al límite de detección para este contaminante (1 µg.m<sup>-3</sup>) estipulado por la Organización Mundial de la Salud (2004), se identificó que las concentraciones en ambos periodos de estudio superaron dicho valor, lo que puede significar un riesgo asociado a la presencia de este contaminante a largo plazo.

El xileno se encuentra incluido en la lista de compuestos peligrosos de la EPA National Priorities List (NPL); para este compuesto, la Agencia para Sustancias

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL

### 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés) establece que el rango de concentraciones típicas en atmosferas urbanas es  $4.33 - 130 \mu\text{g.m}^{-3}$ . La Organización Mundial de la Salud (2004), menciona que en un periodo de exposición de 24 horas y concentraciones por encima de  $4.8 \mu\text{g.m}^{-3}$  se han observado algunos efectos que el xileno ocasiona sobre la salud. En el primer periodo se identificó que las concentraciones de m, p-xileno superaron dicho valor en todos los puntos del área de influencia.

Debido a que las concentraciones de BTX obtenidas en el BN fueron menores a las encontradas en puntos como el Vallado, Morichal y C2000, se puede establecer que hubo influencia de otras fuentes (fijas y móviles) en los valores obtenidos. Al respecto, en la literatura se sugiere que para poder identificar cual fuente ejerce más influencia debe calcularse la relación Tolueno sobre Benceno (T/B) (Durmusoglu *et al.*, 2009; Kume *et al.*, 2008; Suthawaree *et al.*). En la Tabla 3 se presentan las relaciones T/B de la literatura y las encontradas en los puntos evaluados y de allí se puede determinar que la zona del Vallado se ve influenciada además del BN por fuentes industriales. Adicionalmente, para el resto de puntos existe influencia del tráfico vehicular.

Tabla 3. Relaciones T/B para caracterizar la influencia de fuentes fijas o móviles en las concentraciones de COV

Punto	Relación T/B				
	Periodo 1	Periodo 2	Literatura	Zona	Valor
BN	4.98	2.20	Kume <i>et al.</i> (2008)	Industrial	8.69
Lili	2.94	3.23	Lee <i>et al.</i> (2002)	Industrial	9.24
Morichal	3.53	3.57	Barletta <i>et al.</i> (2005)	Tráfico urbano	1.49
Caney	5.18	2.95	Zhu <i>et al.</i> (2005)	Urbano residencial	2.08
C2000	4.65	3.76	Edward <i>et al.</i> (2001)	Urbano residencial	1.45
Vallado	12.72	3.29	Kerbachi <i>et al.</i> (2006)	Autopista	1.58
Morada	3.73	1.71	-	-	-

Lo anterior nos lleva a concluir que debido a la interacción entre diferentes fuentes de BTX la distribución espacial no es explicable solo en términos de una sola de sus fuentes (BN). Otros factores como la distancia a otras fuentes (autopistas, estaciones de gasolina, etc.) y la dinámica del viento juegan un papel importante en la concentración ambiental de BTX.

### Conclusiones

Este estudio fue realizado en la zona sur – oriental de Cali en el área de influencia del Basurero de Navarro, el cual se encuentra clausurado desde finales de 2008. En el BN se encontraron concentraciones de  $0.88 \mu\text{g.m}^{-3}$  y  $0.70 \mu\text{g.m}^{-3}$  de benceno,  $4.43 \mu\text{g.m}^{-3}$  y  $1.53 \mu\text{g.m}^{-3}$  de tolueno y  $2.99 \mu\text{g.m}^{-3}$  y  $1.43 \mu\text{g.m}^{-3}$  de m,p-xileno para los periodos 1 y 2, respectivamente. Mientras que las concentraciones más altas de benceno ( $2.01$  y  $1.52 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) y tolueno ( $25.56$  y  $5.00 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) se encontraron en el Vallado y las más

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL

### 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

altas de m,p-xileno (14.95 y 5.69  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en Ciudad 2000. Los promedios de concentración de BTX hallados en este estudio resultaron menores que los reportados en varios estudios. Esta diferencia que podría asociarse entre otros factores con la existencia de una capa de cobertura vegetal que limita las emisiones atmosféricas del BN.

Acorde a los datos obtenidos, se puede decir que el BN no es la única fuente antropogénica de COV en el área de influencia. El incremento de las concentraciones de BTX de occidente a norte en sentido horario, indica la contribución de otras fuentes además del BN hacia el norte de Cali (fuentes móviles e industrias).

Aunque las concentraciones de BTX encontradas en el área de estudio son bajas respecto a otros datos de la literatura, el riesgo asociado a estas no debe ser subvalorado ya que largos periodos de exposición pueden resultar nocivos para la salud. Del mismo modo, queda también abierta la discusión y preocupación por el riesgo no cancerígeno, que puede generar o en el mejor de los casos agravar problemas de salud que van desde la irritación de mucosas hasta la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Claramente, estas afecciones además de generar una pérdida de bienestar para quienes las sufren, generan además una carga y costos adicionales sobre el sistema de salud, con lo cual se evidencian los efectos de esta inequidad ambiental, cuyo origen y vector debieron ser responsablemente asumidos y gestionados por las instituciones municipales y regionales competentes para este tipo de problemáticas.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen:

- Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – COLCIENCIAS por la financiación de la presente investigación.
- Al ingeniero Mario Gandini y al físico Santiago Laín Beatove del Grupo de Investigación Mecánica de Fluidos quienes participaron en la investigación. Del mismo modo, a todo el grupo de trabajo involucrado en el proyecto conformado por personal de la Universidad del Valle y la Universidad Autónoma de Occidente.

#### Referencias bibliográficas

- Barletta, B., Meinardi, S., Sherwood Rowland, F., Chan, C. Y., Wang, X., Zou, S., Yin Chan, L. and Blake, D. R. (2005) Volatile organic compounds in 43 Chinese cities. *Atmospheric Environment*, 39, 5979-5990.
- Bogner, J., Scheutz, C., Chanton, J., Blake, D., Morcet, M., Aran, C. and Kjeldsen, P. (2003) Field measurement of nonmethane organic compound emissions from landfill cover soils. In *Proceedings of the Ninth International Waste Management and Landfill Symposium* Cagliari, Italy, pp. 1-11.
- Chiriac, R., Carre, J., Perrodin, Y., Fine, L. and Letoffe, J.-M. (2007) Characterisation of VOCs emitted by open cells receiving municipal solid waste. *Journal of Hazardous Materials*, 149, 249-263.



## II CONFERENCIA INTERNACIONAL

### 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

- Davoli, E., Gangai, M. L., Morselli, L. and Tonelli, D. (2003) Characterisation of odorants emissions from landfills by SPME and GC/MS. *Chemosphere*, 51, 357-368.
- Dincer, F., Odabasi, M. and Muezzinoglu, A. (2006) Chemical characterization of odorous gases at a landfill site by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of chromatography A*, 1122, 222-229.
- Durmusoglu, E., Taspinar, F. and Karademir, A. (2009) Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment. *Journal of Hazardous Materials*, 176, 870-877.
- Edwards, R. D., Jurvelin, J., Saarela, K. and Jantunen, M. (2001) VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*, 35, 4531-4543.
- Gómez, R. M., Filigrana, P. A. and Méndez, F. (2008) Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del botadero de Navarro, Cali, Colombia. *Colombia Médica*, 39, 245-252.
- Hoque, R. R., Khillare, P. S., Agarwal, T., Shridhar, V. and Balachandran, S. (2008) Spatial and temporal variation of BTEX in the urban atmosphere of Delhi, India. *Science of The Total Environment*, 392, 30-40.
- Kerbachi, R., Boughedaoui, M., Bounoua, L. and Keddami, M. (2006) Ambient air pollution by aromatic hydrocarbons in Algiers. *Atmospheric Environment*, 40, 3995-4003.
- Kim, K.-H. and Kim, M.-Y. (2002) The distributions of BTEX compounds in the ambient atmosphere of the Nan-Ji-Do abandoned landfill site in Seoul. *Atmospheric Environment*, 36, 2433-2446.
- Kim, K.-H., Shon, Z.-H., Kim, M.-Y., Sunwoo, Y., Jeon, E.-C. and Hong, J. H. (2008) Major aromatic VOC in the ambient air in the proximity of an urban landfill facility. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 754-764.
- Kim, K. H., Baek, S. O., Choi, Y. J., Sunwoo, Y., Jeon, E. C. and Hong, J. H. (2006) The emissions of major aromatic VOC as landfill gas from urban landfill sites in Korea. *Environmental monitoring and assessment*, 118, 407-422.
- Komilis, D. P., Ham, R. K. and Park, J. K. (2004) Emission of volatile organic compounds during composting of municipal solid wastes. *Water Research*, 38, 1707-1714.
- Kume, K., Ohura, T., Amagai, T. and Fusaya, M. (2008) Field monitoring of volatile organic compounds using passive air samplers in an industrial city in Japan. *Environmental Pollution*, 153, 649-657.
- Lee, C. R., Yoo, C. I., Lee, J. H., Kim, S.-R. and Kim, Y. (2002) Hematological changes of children exposed to volatile organic compounds containing low levels of benzene. *The Science of The Total Environment*, 299, 237-245.
- Mosquera-Becerra, J., Gómez-Gutiérrez, O. L. and Méndez-Paz, F. (2009) Percepción del Impacto del Vertedero Final de Basuras en la Salud y en el Ambiente Físico y Social en Cali. *Revista de Salud Pública*, 11, 549-558.
- Obersteiner, G., Binner, E., Mostbauer, P. and Salhofer, S. (2007) Landfill modelling in LCA—A contribution based on empirical data. *Waste Management*, 27, 58-74.
- Organización Mundial de la Salud (2004) Guías para la calidad del aire. OPS/CEPIS/PUB/04.110.
- Parker, T., Dottridge, J. and Kelly, S. (2002) Investigation of the composition and emissions of trace components in landfill gas. R&D Technical Report P1.
- Suthawaree, J., Kato, S., Okuzawa, K., Kanaya, Y., Pochanart, P., Akimoto, H., Wang, Z. and Kajii, Y. Measurements of volatile organic compounds in the middle of Central East China during Mount Tai Experiment 2006(MTX 2006): observation of regional background and impact of biomass burning. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 1269-1285.
- Wang, X., Sheng, G., Fu, J., Chan, C., Lee, S. C., Chan, L. Y. and Wang, Z. (2002) Urban roadside aromatic hydrocarbons in three cities of the Pearl River Delta, People's Republic of China. *Atmospheric Environment*, 36, 5141-5148.
- Zhu, J., Newhook, R., Marro, L. and Chan, C. C. (2005) Selected volatile organic compounds in residential air in the city of Ottawa, Canada. *Environmental science & technology*, 39, 3964-3971.

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL

### 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

Zou, S. C., Lee, S. C., Chan, C. Y., Ho, K. F., Wang, X. M., Chan, L. Y. and Zhang, Z. X. (2003)  
Characterization of ambient volatile organic compounds at a landfill site in Guangzhou, South  
China. Chemosphere, 51, 1015-1022.

