

## Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia\*

ROSA MARÍA GÓMEZ, ING, MSc<sup>1</sup>, PAOLA ANDREA FILIGRANA, MAG. EPIDEMIOLOGÍA,  
FABIÁN MÉNDEZ, MD, PhD<sup>2</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las emisiones del sitio de disposición final de residuos sólidos en Cali, el Botadero de Navarro (BN), en la calidad del aire de una zona definida como expuesta (<3 km de distancia y en dirección predominante del viento) en comparación con otra seleccionada como control (>3 km y en sentido contrario al viento predominante).

**Materiales y métodos:** La toma de muestras se realizó con equipos semiautomáticos y los procedimientos seguidos obedecieron a lineamientos internacionales aceptados por la legislación ambiental colombiana. El monitoreo se efectuó simultáneamente en la zona expuesta y en la zona control durante tres períodos climatológicos diferentes: uno en verano, otro en invierno y en un período intermedio entre los dos anteriores. Se tomaron muestras durante 10 días en cada período en ambas zonas. Se midió material particulado menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>), dióxido de azufre, metano y los compuestos orgánicos volátiles: benceno, tolueno y xileno.

**Resultados:** Los resultados indican que el metano y el benceno tienen como fuente principal de emisión el BN y son dispersados por acción del viento en la dirección predominante hacia la zona denominada expuesta. Hay evidencia de un gradiente en la concentración de benceno desde el BN ( $p < 0.01$ ). Las concentraciones encontradas en la zona expuesta (mediana = 2.92 µg/m<sup>3</sup>) superaron 48% de las veces el nivel máximo permitido para prevenir afectación en la salud y fueron mayores que en la zona control (mediana = 1.54 µg/m<sup>3</sup>) donde sólo 22% de las veces se superó la norma. El metano presentó también un gradiente con concentraciones más altas en la zona expuesta que en la zona control, y hay evidencia de una mayor concentración de material particulado menor a 5 micras en la zona expuesta.

**Conclusiones:** Los hallazgos del presente artículo muestran evidencias de efectos ambientales en áreas <3 km del BN. Esta distancia se debe considerar cuando se estén definiendo el perímetro de áreas no habitadas alrededor de sitios municipales de disposición de basuras.

**Palabras clave:** Residuos sólidos; Botaderos a cielo abierto; Contaminantes del aire.

### Description of the air quality in the Navarro Dumpsite area of influence, in Cali, Colombia

### SUMMARY

**Background:** This study evaluated emissions from the municipal open dump in Cali, the Navarro dump (ND), and their effects in air quality of an area defined as exposed (<3 km distance and downwind) as compared with a control zone (>3 km and upwind).

**Methods:** Sample collection was carried out with semiautomatic equipments following approved international procedures accepted by local environmental laws. Sampling was carried out simultaneously in the study zones during three climatologic periods: dry, rainy and inter-season periods. Ten samples were taken during each period, for a total of 30 samples per zone. Particulate matter below 10 micras, SO<sub>2</sub>, methane and volatile organic compounds: benzene, toluene and xylene were measured in each sample.

\* Estudio financiado por el Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología, COLCIENCIAS, Contrato N° RC. 412-2004 y por la Universidad del Valle, Cali, Colombia.

1. Investigadora, Grupo Epidemiología y Salud Poblacional (GESP), Escuela de Salud Pública, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: gomezrosa@yahoo.com filigranapaola@yahoo.es  
2. Profesor Asistente, Grupo Epidemiología y Salud Poblacional (GESP), Escuela de Salud Pública, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Cali, Colombia. e-mail: famendez@univalle.edu.co

Recibido para publicación septiembre 20, 2007 Aceptado para publicación junio 26, 2008

**Results:** Results showed sources of methane and benzene are mainly inside the ND and are carried by wind dispersion to the exposed zone of the study. There is evidence of a gradient in benzene concentrations starting in the ND ( $p < 0.01$ ). Benzene concentrations were high in the exposed zone (median =  $2.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and 48% of samples collected there were above the maximum level of air quality norm. These measurements were higher than those made in the control zone (median =  $1.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) where only 22% of the samples were above the maximum levels. Methane also showed decreasing concentrations from exposed to control zone, and there was also a higher concentration of particle matter  $< 5$  micras in the exposed area.

**Conclusions:** Our study gives evidence of environmental effects in areas  $< 3$  km distant of a dump site. This distance should be considered when defining the perimeter of a non inhabited area around municipal solid waste disposals.

**Keywords:** *Solid wastes; Open dumps; Air pollutants.*

El sistema municipal de disposición final de residuos sólidos de Navarro en Cali, Colombia, puede ser definido como un botadero a cielo abierto, debido a la falta de controles adecuados de orden técnico, sanitario y operativo, y a que carece de las obras de infraestructura que minimizan los impactos negativos del ambiente<sup>1</sup>.

Los contaminantes generados durante el proceso de estabilización de los residuos sólidos en un relleno sanitario contaminan el suelo (superficial y subsuelo), la atmósfera (alta y baja) y las aguas (superficial y subterránea), y luego el hombre se expone a ellos por vía oral, aérea o por contacto.

El Botadero de Navarro (BN) se ubica en los límites urbanos de Cali en un lote de aproximadamente 42 hectáreas donde son depositados desde el año 1969 los residuos sólidos municipales provenientes de Cali, Yumbo, Candelaria y Jamundí. En el BN trabajan como recicladores en el frente de disposición más de 600 personas en condiciones de alto riesgo, lo que dificulta la compactación y el cubrimiento diario de los desechos, genera accidentes e incendios y favorece la consiguiente emisión de compuestos químicos peligrosos<sup>2</sup>.

En el BN se disponen diariamente 1,783 toneladas diarias de residuos sólidos (i.e.; producción de  $0.77 \text{ kg}$  de residuos/habitante/día)<sup>3</sup> de diverso origen: residuos domésticos, hospitalarios, comerciales, institucionales, industriales no peligrosos y restos de poda. Si se asume que aproximadamente 0.1% del peso total de los residuos domésticos son residuos sólidos peligrosos<sup>1</sup>, la

disposición de este tipo de residuos sería de casi 1,8 ton/día. El origen de estos residuos peligrosos en el BN se debe a la amplia utilización en la industria y a nivel doméstico de solventes, agentes desengrasantes, agentes espumantes y propelentes, que son recibidos en los rellenos como desechos industriales<sup>4</sup>.

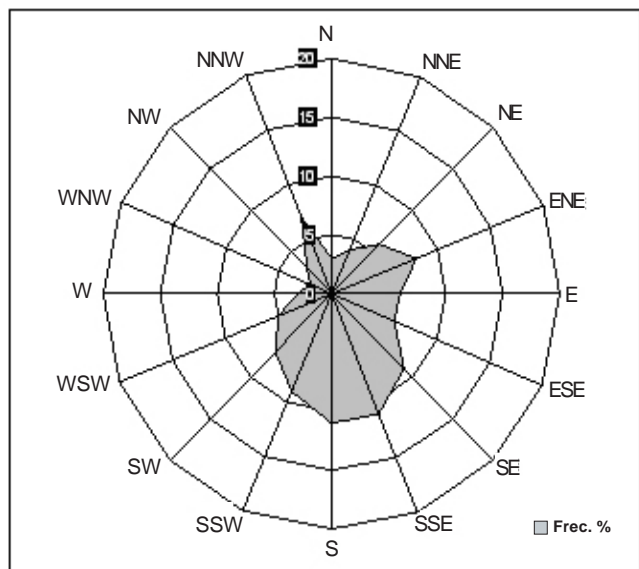
Durante el proceso de estabilización de los residuos, la descomposición orgánica genera gases que son emitidos a la atmósfera y afectan la calidad del aire respirable (inmisión). Adicionalmente, son producidos desechos líquidos como material disuelto o en suspensión<sup>5</sup> que se denominan lixiviados. La composición química de los contaminantes que son emitidos desde un botadero varía dependiendo de la antigüedad del sitio de disposición, por el avance en los procesos de estabilización de los residuos. La posibilidad de que los agentes se dispersen desde los botaderos hasta los sitios poblados en las zonas aledañas debe comprobarse para estimar los potenciales efectos en salud.

El presente estudio hace parte de un proyecto mayor realizado con el fin de identificar los efectos en la salud debido a las emisiones del BN. En este artículo se presentan los resultados obtenidos de evaluar la calidad del aire en la zona de influencia del BN, considerando las características de los desechos, las condiciones meteorológicas y la ubicación de la población que es potencialmente afectada.

## METODOLOGÍA

La evaluación de la calidad del aire se realizó teniendo en cuenta que los datos serían utilizados en un estudio epidemiológico, por lo que el proceso siguió los pasos sugeridos por la Organización Mundial de la Salud para evaluar los riesgos en la salud de la población expuesta a rellenos sanitarios<sup>6</sup>. Se procedió a planificar la toma de muestras a partir de una descripción del sitio de interés, de la identificación de los posibles contaminantes y de la definición de unas posibles rutas de exposición.

**Área de estudio.** Se realizó en el municipio de Cali, ubicado a una altitud de 960 msnm y con una temperatura promedio de  $24^\circ\text{C}$ . El BN se sitúa en una zona plana sobre la margen izquierda del río Cauca y colindando con una «madre vieja» (antiguo cauce del río). Se seleccionaron 2 zonas de estudio: una con alta probabilidad de ser influida por las emisiones del BN definida como expuesta y otra distante, seleccionada como control.



**Figura 1. Estudio detallado del campo de vientos, para el valle del río Cauca. Estación meteorológica de Meléndez. CENICAÑA. Septiembre 1993- Abril 1997**

Estas zonas se encuentran ubicadas al sur-oriente y sur de la ciudad, respectivamente.

Para identificar si las emisiones del BN se dispersan hacia las zonas pobladas incluidas en el estudio, se emplearon las variables meteorológicas de velocidad y dirección predominante del viento. El comportamiento de los vientos se obtuvo del histórico de una estación meteorológica cercana al área del estudio (i.e.; estación de Meléndez, CENICAÑA). En la Figura 1 se observa la «rosa de los vientos», que es una representación gráfica que resume la frecuencia de la procedencia del viento<sup>7</sup>. La dirección de mayor frecuencia, o dirección predominante de procedencia de los vientos en este sector es del sur-sureste (S, SSE).

La zona seleccionada como expuesta a las emisiones del BN, se ubicó dentro de un perímetro de 0-3 km alrededor del BN y en la dirección predominante del viento; la zona control se seleccionó a una distancia >3 km y en sentido contrario a la dirección predominante del viento. Se procuró además que las zonas fueran lo más similares posibles en términos de otras características ambientales, topográficas y socioeconómicas (distribución urbana/rural, estratos 2, 3 y 4) o, en otras palabras, que la mayor diferencia entre ellas fuera su ubicación con relación al BN.

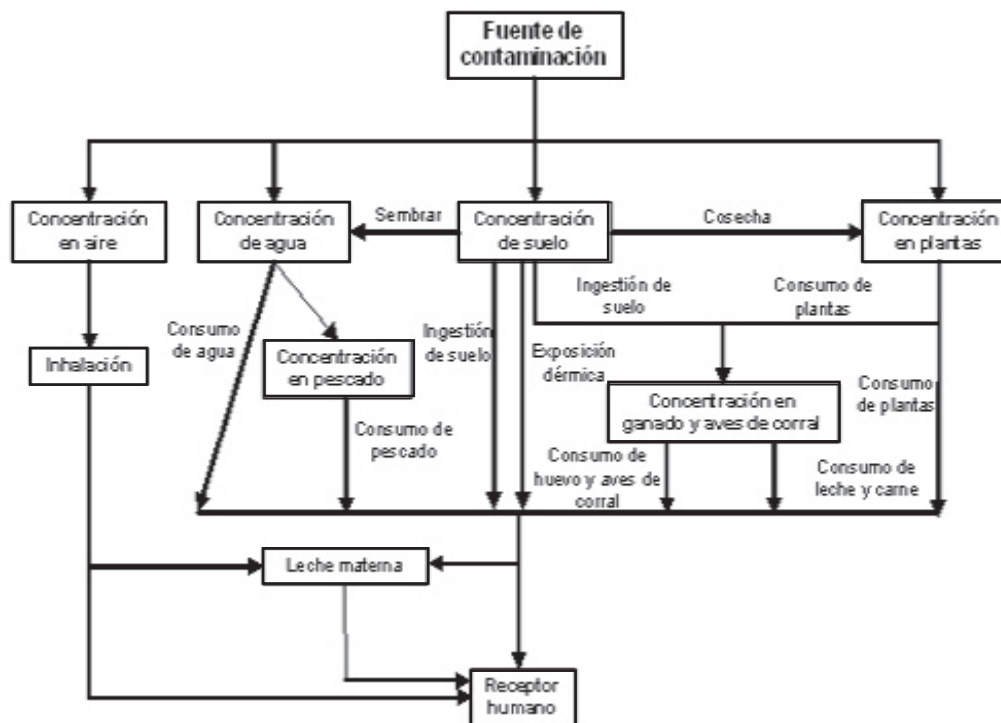
Los barrios que cumplieron con los criterios para ser seleccionados como expuestos fueron el corregimiento de Navarro, ubicado en zona rural y los barrios Morichal de Comfandi, Ciudad Córdoba y Caney, ubicados en zona urbana. Los barrios seleccionados como zona control fueron el corregimiento del Hormiguero, ubicado en la zona rural, y los barrios Departamental, Cristóbal Colón, León XIII y Conquistadores, ubicados en la zona urbana.

Para las mediciones de calidad del aire en la zona expuesta se seleccionó un sitio de muestreo ubicado a <3 km del BN (i.e.; iglesia del barrio El Caney a 3.6 km del BN), mientras que para la zona control, el sitio de muestreo se ubicó a >3 km (i.e.; estación de policía del corregimiento del Hormiguero a 6.7 km del BN). Adicionalmente, se realizaron mediciones de los contaminantes de interés al interior del BN.

**Selección de agentes a medir.** Teniendo en cuenta el origen y la composición probable de los desechos dispuestos en el BN, se seleccionaron los agentes contaminantes que pudiesen ser emitidos, considerando en especial aquellos que hipotéticamente presentarían efectos significantes en la salud de la población y que pudieran ser medidos con la tecnología disponible en el país. En particular, de acuerdo con estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA)<sup>8</sup>, los rellenos sanitarios son la 26<sup>a</sup> fuente de emisión de compuestos peligrosos al aire. Los más importantes agentes emitidos son los compuestos orgánicos no metanogénicos, que bajo la forma de compuestos orgánicos volátiles (COV)<sup>9</sup> representan 85% de este tipo de contaminantes en rellenos mixtos (receptor de desechos industriales y domésticos). Otros compuestos de igual importancia son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), generados durante la descomposición anaeróbica de la materia orgánica<sup>10</sup>.

Dentro de los COV se destacan el benceno<sup>4</sup>, cancerígeno y altamente tóxico; el tolueno y el etilbenceno, tóxicos por ingestión, inhalación y absorción cutánea; y el xileno, que por inhalación puede afectar el sistema nervioso<sup>11</sup>. Estos compuestos probablemente constituyen la segunda clase más extendida y diversa de emisiones después de las partículas.

La generación de olores se presenta por descomposición anaerobia (reducción), el sulfato puede reducirse a sulfuro (S<sup>-2</sup>), que combinado con el hidrógeno del aire forma ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y produce entre otros el



**Figura 2. Modelo conceptual de las rutas potenciales de exposición a los contaminantes provenientes del BN**

dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). El SO<sub>2</sub> puede ocasionar obstrucción severa de las vías respiratorias, hiperreactividad bronquial, conjuntivitis, irritación de las mucosas y tos<sup>12</sup>.

Del total de gases emitidos por un relleno sanitario, el metano representa entre 45% y 50%<sup>5</sup> y a concentraciones altas actúa sobre la salud humana generando problemas en el sistema nervioso central, irritación ocular, visión borrosa y dificultad respiratoria. La exposición a bajos niveles ocasiona sensación de hormigueo, mareo, convulsiones y coma<sup>10</sup>. A nivel mundial influye en el efecto invernadero.

El material particulado es otro de los contaminantes comunes en los rellenos; se ha sugerido que el poder tóxico de las partículas en los ambientes urbanos proviene de su alta composición de partículas finas (hasta 70% del PM<sub>10</sub>: diámetro <10 micras). Estas partículas pueden ocasionar la exacerbación de los problemas respiratorios e incrementar la coagulación plasmática<sup>12</sup>.

Consecuentemente, los marcadores ambientales seleccionados para medición en este estudio fueron el material particulado menor de 10 micras (PM<sub>10</sub>), SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y los COV: benceno, tolueno y xileno.

**Vías y rutas de exposición.** Se entiende por ruta de

exposición el camino que sigue un agente contaminante en el ambiente desde la fuente hasta que llega a establecer contacto con la población expuesta. Las principales rutas incluyen medios como el agua, el aire, el suelo y los alimentos. Por otra parte, se entiende por vía de exposición el mecanismo mediante el cual la sustancia entra al cuerpo, esto es, vía oral (ingestión de comida, agua o suelo); respiratoria (inhalación) o dérmica (contacto con la piel)<sup>13,14</sup>.

Con el fin de determinar la ruta de exposición principal para la población que vive en las cercanías del BN, se utilizó un modelo conceptual en el que se identifican la fuente de contaminación, las características del ambiente aledaño y los posibles procesos a través de los cuales los receptores potenciales podrían estar expuestos directa o indirectamente a los efectos de los contaminantes (Figura 2). Este modelo se ajustó a las condiciones locales y al interés de la investigación que fue la exposición de la población en las zonas vecinas al BN, y a que existen comunidades ubicadas dentro del radio <3 km en la dirección predominante del viento; se planteó como principal ruta de exposición la inhalación de agentes contaminantes en el aire. Las

zonas escogidas como expuesta y control son abastecidas directamente por acueductos municipales y no por pozos locales, y no existe evidencia de consumo de pescado del río aledaño en las áreas del estudio. Tampoco se evidenciaron mecanismos de exposición directa a suelos y al consumo de cultivos ubicados en la vecindad del BN.

**Determinación de la calidad del aire.** Se diseñó un plan de muestreo con el fin de estimar la concentración de los contaminantes y su dispersión. Para asegurar la calidad de los resultados, las muestras fueron procesadas por un laboratorio ambiental certificado y con procesos estandarizados. Los procedimientos empleados para el monitoreo y análisis de laboratorio siguieron los estándares de la US-EPA indicados en el Código Federal para Regulación de la Seguridad y la Salud Ambiental<sup>8,9</sup>. Los equipos utilizados fueron monitores semiautomáticos con autonomía de 24 horas, usualmente empleados en estudios cortos. Para cuantificar el  $PM_{10}$  se utilizaron equipos Hi-Vol y la captura del material particulado se efectuó con filtros de fibra de cuarzo con eficiencia del 99% para partículas mayores de 0.1 micras y menores a 10 micras. La medición se realizó por gravimetría a través de una balanza analítica con precisión al miligramo. Los equipos se calibraron previamente al inicio del monitoreo, teniendo en cuenta la presión atmosférica y la temperatura del lugar<sup>15</sup>.

En la identificación de la composición del  $PM_{10}$  en los filtros, se empleó el microscopio de luz polarizante (Petrográfico) determinando las fases visibles y reconocibles y luego un conteo de granos (300 granos por cada muestra) para obtener un porcentaje de la composición del material particulado en cada una de las muestras. La cuantificación de  $SO_2$  se realizó por absorbancia utilizando un espectrofotómetro colorimétrico a 548 nm, con límite de detección de  $5 \text{ mg/m}^3$ , con autonomía de 24 horas. Para la cuantificación de metano y COVs, se efectuó la toma de la muestra con una bomba de vacío, con autonomía de una hora, en una bolsa tedlar de 24 litros de capacidad, a una tasa de flujo constante de 0.75 l/min, durante una hora. La muestra se homogenizó y se introdujo en otra bolsa tedlar de 5 litros de capacidad. Finalmente, se hizo análisis por cromatografía de gases UNICAM 610<sup>14</sup>.

El monitoreo se efectuó durante 10 días continuos, en períodos de 24 horas tanto para  $PM_{10}$  como para el  $SO_2$ <sup>16</sup>. Los muestreos de COV y  $CH_4$ , fueron puntuales

con una duración que fluctuó entre 30 minutos y una hora, en equipos portátiles calibrados con patrones certificados y precisión estimada de 85%<sup>17</sup>.

Para la selección de los días de monitoreo se tuvieron en cuenta los cambios meteorológicos que ocurren durante el año, el día de la semana y la hora del día, pues estos factores temporales influyen en la concentración de los contaminantes atmosféricos. Para que la muestra fuese representativa se consideraron tres períodos climatológicos: verano, invierno y un período con condiciones climatológicas intermedias, que correspondieron a los meses de febrero, diciembre y marzo, respectivamente. Para cada período se seleccionaron 10 días continuos de muestreo en cada una de las zonas en estudio para un total de 30 días de muestreo repartidos en 6 meses.

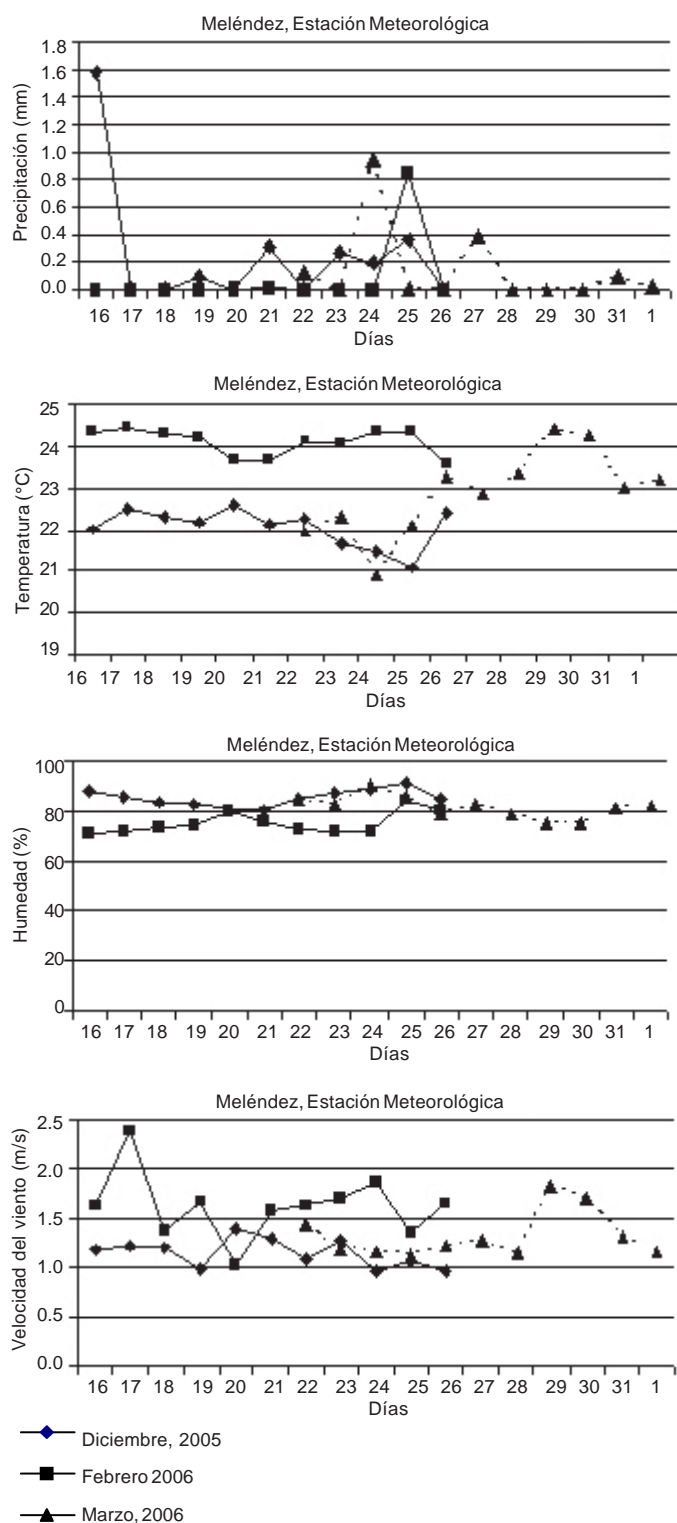
Los resultados obtenidos se compararon con las normas de concentración máxima permitida de contaminantes que no afectan la salud. Estos valores se ajustaron a las condiciones locales de temperatura promedio igual a  $23^\circ\text{C}$  y una presión atmosférica de 674 mm Hg.

Los estándares de referencia utilizados para la captura y análisis de los monitoreos de calidad del aire corresponden a los autorizados por la normatividad ambiental colombiana, incluidos en los Decretos 948 de 1995 y la Resolución N° 601 de 2006, que a su vez han sido tomados de los estándares utilizados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos (EPA, CFR 40).

## RESULTADOS

Los muestreos se realizaron entre diciembre de 2005 y marzo de 2006. Durante la recolección de las muestras se determinaron las condiciones meteorológicas, con las que se pudo confirmar la ocurrencia de un período de invierno típico con mayor precipitación, bajas temperaturas, bajas velocidades de viento y alta humedad, en el mes de diciembre de 2005. Adicionalmente, se identificó a febrero de 2006 como un período de recolección en verano, con baja precipitación, altas temperaturas, altas velocidades de viento y baja humedad, y otro período con condiciones climatológicas intermedias entre invierno y verano, durante de marzo de 2006 (Gráfica 1).

**Material particulado menor a 10 micras ( $PM_{10}$ ).** El análisis inicial mostró que en la mayoría de las muestras (58/60) no se sobrepasó la norma ( $62.7 \mu\text{g/}$



**Gráfica 1. Comportamiento meteorológico durante los días de monitoreo de calidad del aire. Estación Meléndez. CENICAÑA, 2005-2006.**

$\text{m}^3$ ). Aún más, de manera paradójica, se encontró una mayor concentración de  $\text{PM}_{10}$  en la zona control que en la expuesta con medianas de  $44.9$  y  $22.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. No obstante, el análisis de las partículas de los filtros para la composición del material particulado mostró una mayor proporción de granos de polvo menor a 5 micras en la zona expuesta que en la control ( $p < 0.05$ ).

**Dióxido de azufre.** La mediana de las concentraciones de  $\text{SO}_2$  fue superior en la zona expuesta ( $0.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que en la de control ( $0.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), aunque esta diferencia no alcanzó significancia estadística y no se superó la norma nacional.

**Metano.** Se pudo identificar un gradiente, estadísticamente significativo, de la concentración de  $\text{CH}_4$  desde niveles mayores en el BN (mediana= $62.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), pasando por la zona expuesta ( $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y bajando a valores menores, con frecuencia no detectables, en la zona control ( $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Gráfica 2).

**Compuestos orgánicos volátiles.** De manera similar a lo descrito para el  $\text{CH}_4$ , el benceno presentó un gradiente de concentración estadísticamente significativo ( $p < 0.01$ ) que desciende desde el BN (mediana= $8.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) hacia las zonas expuesta ( $2.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y control ( $1.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Gráfica 3). La norma de calidad del aire para el benceno ( $4.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) fue superada en 92% de las mediciones en el BN, 48% en la zona expuesta y 22% de las veces en la zona control.

La mayoría de las mediciones de tolueno fueron negativas tanto en la zona expuesta (57/60) como en la de control (58/60), y en las mediciones de xileno este agente no fue encontrado. Adicionalmente, las normas locales para estos gases no fueron superadas.

## DISCUSIÓN

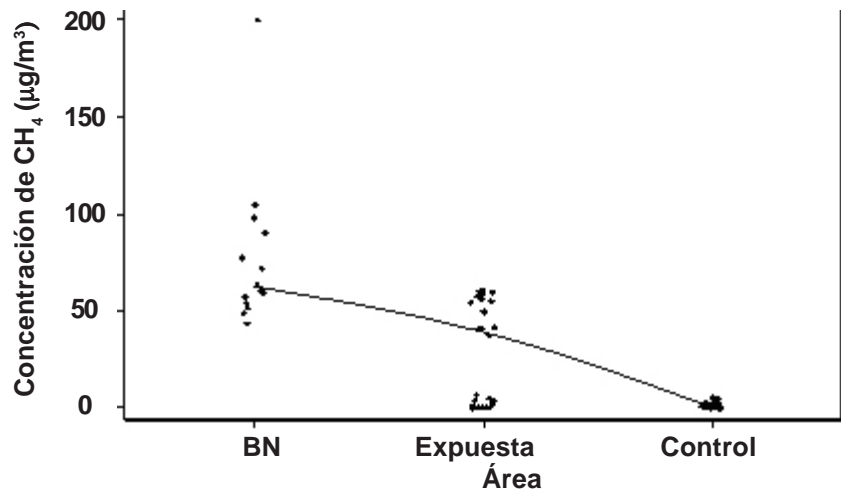
Este estudio en el área de influencia de un botadero a cielo abierto muestra efectos en la calidad de aire, con gradientes desde la fuente de interés y mayores concentraciones en una zona considerada expuesta (i.e.; en dirección del viento y a  $< 3$  km) en comparación con otra zona control.

Se encontró evidencia de concentraciones elevadas de benceno y  $\text{CH}_4$  en una zona habitada ubicada a  $< 3$  km de la fuente con un gradiente de concentración desde el BN lo que sugiere que el origen de esos gases es el sitio de disposición de basuras. El benceno, que en

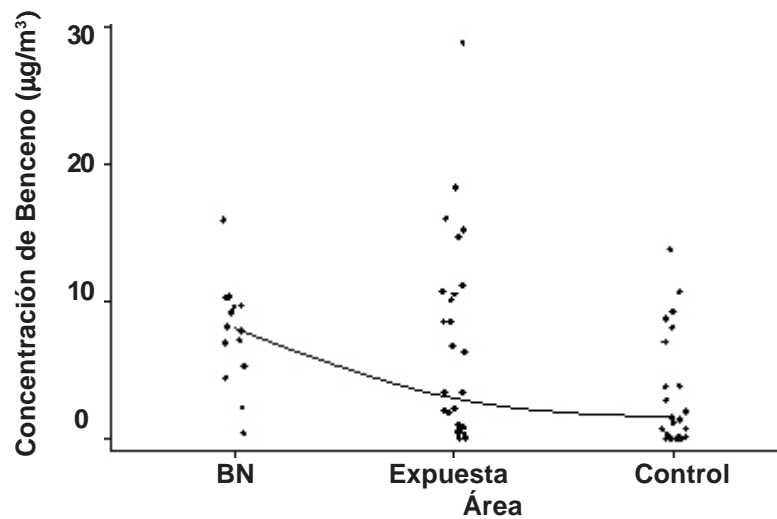
altas concentraciones puede causar la muerte, tiene además efectos agudos con síntomas y signos de toxicidad en el sistema nervioso central en humanos y animales en casos de inhalación o ingestión aguda. Sus efectos a largo plazo incluyen daños en la médula ósea con depresión del sistema inmune y aumento de la probabilidad de infección<sup>18</sup>.

De otra parte, se confirmó al BN como una fuente de emisión importante de CH<sub>4</sub>. El metano es el principal causante del efecto invernadero que se manifiesta con el incremento de la temperatura en el ambiente<sup>19</sup> y aunque no es tóxico por debajo de los niveles inferiores de riesgo de explosión, a concentraciones altas puede generar problemas en el sistema nervioso central y dificultad respiratoria por asfixia<sup>12</sup>, procesos irritativos de la mucosa de las vías respiratorias, y como consecuencia producir eventos inflamatorios e hipersecretorios que pueden reflejarse en la presencia de síntomas respiratorios. Adicionalmente, se ha descrito que este contaminante contribuye al aumento de la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en la atmósfera<sup>20</sup>, por tanto se esperaría una mayor concentración de este gas secundario a los altos niveles de metano presentes en la zona expuesta y como consecuencia la aparición de los efectos en la salud respiratoria secundarios a O<sub>3</sub> (i.e.; hiperreactividad bronquial, inflamación y alteración en la función pulmonar)<sup>21,22</sup>.

No obstante se encontró una concentración mayor de PM<sub>10</sub> en la zona control que en la expuesta; es probable que parte de esas partículas de la zona control se hayan originado en las carreteras destapadas, como las que existen en esa zona del estudio. De otra parte, el material particulado menor a 5 micras se encontró con mayor frecuencia en la zona expuesta. Como este material in-



Gráfica 2. Comportamiento del metano desde el BN hacia la zona expuesta y control. Cali, 2006



Gráfica 3. Comportamiento del benceno desde el BN hacia la zona expuesta y control. Cali, 2006

cluye las partículas ultrafinas (<2.5 micras), tiene una probabilidad mayor de generar efectos en salud, ya que puede llegar hasta las vías respiratorias más profundas con menor diámetro. En población vulnerable se ha mostrado una asociación significativa entre exposición a material particulado fino y mortalidad prematura. Otros efectos incluyen una mayor severidad de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, disminución de la función pulmonar y ataques de asma<sup>12,23</sup>.

Este estudio demuestra la presencia de agentes contaminantes, sobre todo benceno, que son dispersados dentro de áreas pobladas ubicadas a <3 km del lugar de disposición. La superación de la norma máxima permitida para el benceno en esa zona considerada expuesta da evidencia para que las autoridades municipales obliguen que en la

construcción de un relleno sanitario se considere un radio de influencia no menor a 3 km en el que no deben existir asentamientos humanos.

Con base en la literatura se ha encontrado que en condiciones normales, durante la descomposición de los residuos sólidos, la velocidad medida para la producción de gases en un relleno sanitario es máxima durante los primeros 2 a 5 años y luego desciende y continua así durante 25 a 50 años<sup>5</sup>. Esta afirmación ratifica la necesidad de no permitir asentamientos humanos alrededor del BN aún después de su cierre definitivo.

## AGRADECIMIENTOS

Leonel Gullos, MD., Carmen E. Ocampo, M.Ep., Nathalie Abrahams, Ecolog., Gerardo Franco, Lab. AsaFranco Ltda.

## REFERENCIAS

1. Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S.A. *Gestión integral de residuos sólidos*. Volumen I. Madrid: McGraw-Hill; 1994.
2. Cardona A, Portilla A, Paz A, Hernández W, Paipilla J, López L. Informe del estado de los recursos naturales y del medio ambiente del municipio de Santiago de Cali vigencia 2001. Informe de la Contraloría Municipal de Santiago de Cali 2001. [fecha de acceso enero 2007] Disponible en: <http://www.contraloriacali.gov.co/archivos-df/informes/recursos/recursos2001.pdf>
3. Ministerio del Medio Ambiente. *Rellenos sanitarios, Guía ambiental*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente; 2002.
4. Scheutz C, Mosbæk H, Kjeldsen P. Bioremediation and biodegradation. Attenuation of methane and volatile organic compounds in landfill soil covers. Technical reports. Technical University of Denmark, Environment & Resources. *Environ Qual*. 2004; 33: 61-71.
5. Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil SS. *Gestión integral de residuos sólidos*. Vol. II. Madrid: McGraw-Hill; 1994.
6. OMS. Oficina regional para Europa, Centro Europeo para el Medio Ambiente y la Salud. *Métodos de evaluación de riesgos para la salud generados por la exposición a las sustancias peligrosas liberadas por rellenos sanitarios*. EUT/00/5026441. Polonia 2000. Traducido OPS/CEPIS, 2001. [fecha de acceso enero 10 de 2008]. Disponible en: <http://www.4shared.com/get/30180303/bf16f211/metodosevalriesgsustpelrellsanit.html;jsessionid=C474751E540A4E31CE38EECC5412BBF0.dc82>
7. Nevers De N. *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. México, DF: McGraw-Hill; 1998.
8. National Air Toxics Program: The integrated urban strategy. Environmental Protection Agency of USA; 1999. Federal Register 64: 38705-40. [fecha de acceso enero 10 de 2008]. Disponible en: <http://wais.access.gpo.gov>
9. Air pollutants, hazardous; national emission standards municipal solid waste landfills. Environmental Protection Agency of USA 2000; Federal Register 65: 66672-86. Disponible en: [http://www.gpo.gov/su\\_docs/fedreg/a001107c.html](http://www.gpo.gov/su_docs/fedreg/a001107c.html)
10. Ullas H, Tsan-Chang C, Shang-Shyng Y. Methane and carbon dioxide emission from Shan-Chu-Ku landfill site in Northern Taiwan. *Chemosphere* 2003; 52: 1275-85.
11. Lee FG, Jones-Lee A. *Impact of municipal and industrial non-hazardous waste landfills on public health and the environment: an overview*. El Macero: Comparative risk project, CEPA, May, 1994. [fecha de acceso enero 10 de 2008]. Disponible en: [http://www.gfredlee.com/cal\\_risk.htm](http://www.gfredlee.com/cal_risk.htm)
12. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. CAS#: 1330-20-7, septiembre 2005.
13. Berglund M, Elinder CG, Järup L. *Human exposure assessment, an introduction*. [fecha de acceso enero 10 de 2008]. WHO 2001. Disponible en: <http://www.imm.ki.se>
14. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. México, DF: INE; 2003.
15. Air Monitoring Quality Assurance. *Standard operating procedures for air quality monitoring*. State of California, Air Resources Board. April, 2000.
16. Air Quality Guidelines for Europe. World Health Organization Regional Office for Europe. 2nd ed. European Series, N° 91. Copenhagen: WHO Regional Publications; 2000.
17. Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAMA). *Normas técnicas y estándares ambientales para la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire en el perímetro urbano de la ciudad de Bogotá D.C.* Resolución 391 de 2001. Bogotá: Registro Distrital 2348 del 9 de marzo de 2001. [fecha de acceso enero 10 de 2008]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4721>
18. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Interaction profile for benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX)*. [fecha de acceso enero 10 de 2008]. US, May 2004. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/interaction/profiles/IP-btex/ip05-p.pdf>
19. Kumar S, Gaikwad SA, Shekdar AV, Kshirsagar PS, Singh RN. Estimation method for national methane emission from solid waste landfills. *Atmospheric Environment*. 2004; 38: 381-7.
20. West J, Fiore A, Horowitz L, Mauzeral D. Global health benefits of mitigating ozone pollution with methane emission controls. *PNAS*. 2006; 103: 3988-93.
21. Briggs D. Environmental pollution and the global burden of disease. *Br Med Bull*. 2003; 68: 1-24.
22. Katsouyanni K. Ambient air pollution and health. *Br Med Bull*. 2003; 68: 143-56.
23. Sánchez CC. *Evaluación de índices de exposición en el estudio de efectos a la salud por contaminantes atmosféricos del sistema de vigilancia epidemiológica ambiental en la zona metropolitana de la ciudad de México*. México, DF: Centro Nacional de Salud Ambiental; 1998.