

Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia

Francisco Fernando García R.¹ • Rubén Alberto Agudelo G.² • Karen Margarita Jiménez J.³

Resumen

Diversos estudios epidemiológicos reportados en la literatura relacionan altos niveles de concentración de material particulado en el aire con efectos adversos a la salud de las personas expuestas a estas. En Santa Marta se presentan episodios importantes de alteración de la calidad del aire, referida a la concentración de material particulado, dados diversos factores naturales y antropogénicos que hacen pensar que presumiblemente se estén presentando efectos adversos en la salud de las personas que allí habitan. Entre febrero del 2004 y marzo del 2005 se condujo una investigación empleando medidores

de alto volumen con el objeto de encontrar la variación temporal y espacial de la concentración de material particulado en el área urbana de esta ciudad y se encontraron niveles preocupantes en la concentración de este parámetro de calidad del aire. A partir de los datos reportados será posible estudiar más adelante la asociación entre concentración de material particulado y efectos en la salud de las personas en Santa Marta.

Palabras clave

Calidad del aire, material particulado, partículas suspendidas totales

Spatial and temporal distribution of concentrations of particulate material in Santa Marta, Colombia

Summary

Several epidemiological studies reported in the literature link high concentration levels of particulate material in the air to adverse effects on the health of exposed persons. In Santa Marta there are significant episodes of air quality alteration in terms of particulate material concentration due to different natural and anthropogenic factors. This phenomenon is presumably having an adverse effect on the health of people living in the area. Between February 2004 and March 2005 a study was conducted using high volume samplers in order to

determine temporal and spatial variation in concentrations of particulate material within the urban area. Results revealed worrying levels of concentration for this air quality parameter. Data reported here make it possible to conduct a future study on the association between concentrations of particulate material and its effects on human health in Santa Marta.

Key words

Air quality, particulate matter, total suspended particles

1 M. Sc. en ingeniería ambiental y sanitaria, docente de la Universidad del Magdalena, Grupo de Control de la Contaminación Ambiental. Ciber-correo: francisco.garcia@epm.net.co

2 M. Sc. en ingeniería sanitaria, docente de la Universidad de Antioquia, Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental

3 Estudiante de ingeniería ambiental y sanitaria, Universidad del Magdalena, Grupo de Control de la Contaminación Ambiental

Recibido: 17 de mayo del 2006 Aceptado: 7 de noviembre del 2006

Introducción

Las partículas en la atmósfera se originan desde una variedad de fuentes y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas. Un ejemplo de la generación de partículas lo constituye la quema de combustibles fósiles, las partículas de sal emitidas por el mar y las partículas de tierra resuspendidas por el viento, entre otras.¹ Las partículas suspendidas totales (PST) se definen como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera.^{1,2} Las PST hacen parte de una gama de sustancias que, por su naturaleza y por ser ajenas a la composición natural de la atmósfera, se denominan contaminantes; estas son emitidas a la atmósfera por diversas fuentes urbanas, industriales y naturales.

Todas las alteraciones de la calidad atmosférica pueden conducir a daños y modificaciones significativa en los ecosistemas y llegar a afectar de manera diversa y cada vez más intensa la calidad de vida de los organismos vivos. En cuanto a la salud humana, la exposición a las PST se ha relacionado con deterioro de la salud respiratoria.^{3,4} En estudios epidemiológicos se ha demostrado que la exposición a altos niveles de PST están asociados con el aumento de las consultas hospitalarias de urgencia por asma y los síntomas respiratorios relacionados con el asma, así como a una disminución de la función respiratoria, y en particular de flujo espiratorio máximo.⁵⁻⁷ Las partículas sólidas se pueden impregnar en las paredes de la tráquea, bronquios y bronquiólos;^{8,9} igualmente, las más pequeñas de estas pueden alcanzar los alvéolos.^{10,11} El daño causado a los pulmones por la contaminación del aire puede contribuir a la aparición de enfermedades respiratorias como la bronquitis, el enfisema y el cáncer;¹² también puede afectar el corazón y el sistema circulatorio.^{13,14}

De la revisión de varios estudios epidemiológicos realizados en la década de los noventa, se puede afirmar que hay evidencia científica que correlaciona la exposición al material particulado atmosférico con diversos efectos adversos sobre la salud.^{1,15-18} Ostro *et al.* reportaron un incremento de 9% de casos de enfermedades respiratorias por cada incremento del 10 µg/m³ de PM₁₀, que es la fracción de material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 10 µm.¹⁹ Peters *et al.* encontraron una fuerte asociación entre altas concentraciones de material particulado en el aire y el asma en Sokolov, República Checa.²⁰ Gielen *et al.* condujeron un estudio en Ámsterdam, Holanda, que evaluó mediante análisis de series de tiempo la relación entre contaminación atmosférica por material particulado y hospitalizaciones por problemas respiratorios, y encontraron una fuerte relación entre estas dos variables.²¹

Schwartz y Zeger *et al.* sugieren que una parte sustancial de los casos de mortalidad por problemas respiratorios en Boston y Filadelfia es atribuible a las altas concentraciones de MP.^{22,23} Beeson *et al.* y Abbey *et al.* reportan una relación importante entre los niveles de exposición a concentraciones altas de material particulado y la mortalidad por cáncer de pulmón en hombres mas no en mujeres.^{24,25} Algunos estudios epidemiológicos evalúan la asociación entre niveles de partículas y admisión hospitalaria por problemas respiratorios.²⁶⁻²⁸ Pantazopoulo *et al.* relacionaron positivamente el número de consultas de emergencia y la admisión hospitalaria por causas cardiacas y respiratorias en Atenas, con niveles altos en la concentración de material particulado.²⁹ Por otra parte, un número de estudios recientes, con niños menores de un año, mencionan los posibles efectos adversos para madres, fetos e infantes, dada la prolongada exposición a niveles altos de partículas en el aire en periodos cortos durante el embarazo.³⁰⁻³⁵ Bobak y León encontraron relación entre bajo peso al nacer y concentraciones de PST.³² Asimismo, algunos estudios reportan asociación entre exposición a concentraciones altas de material particulado y cambios en el ritmo cardiaco de personas ancianas.³⁶⁻³⁸

Estudios mucho más recientes se centran en los efectos de la exposición a largo plazo a las fracciones más finas del material particulado.³⁹⁻⁴¹ El mayor riesgo para la salud de la fracción PM_{2,5}, cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2,5 µm por su mayor capacidad de penetración en el organismo y mayor reactividad química.^{1,42} La principal conclusión alcanzada por estos estudios es la evidencia de una correlación significativa entre el incremento de la mortalidad y de los niveles de material particulado fino (< 2,5 µm). El incremento de la mortalidad está directamente relacionado con afecciones cardiovasculares. Las partículas en suspensión totales y aquellas en el rango PM_{2,5-10} no presentan una asociación significativa con la tasa de mortalidad por problemas cardiacos.^{1,41} Al margen del diámetro de partícula, los efectos en la salud del material particulado atmosférico dependen de su composición química. A pesar de que en la actualidad existen todavía incertidumbres acerca de los efectos provocados por las diferentes especies químicas, la mayoría de estudios apunta a que el mayor impacto en la salud viene causado por las partículas de carbono elemental, compuestos orgánicos, sulfatos y nitratos, partículas ultrafinas (< 0,1 µm) y determinados metales (As, Cd, Fe, Zn, Ni).^{1,20,42} El hecho de que la mayoría de estas partículas se acumulen en la fracción PM_{2,5} contribuye a incrementar sus efectos adversos sobre la salud.¹ Dados estos efectos potenciales sobre la salud del hombre, es conveniente monitorear la presen-

cia de partículas en el aire para determinar los posibles riesgos que existen en función de su concentración y composición.

En muchas ciudades alrededor del planeta, tales como Filadelfia (1973-1988), Dallas (1990-1994), Búfalo (1988-1990), Toronto (1970-1994), Ciudad de México (1990-1995), Londres (1987-1994), Birmingham (1992-1994), Róterdam (1983-1991), Roma (1992-1995) y São Paulo (1991-1992) se han efectuado estudios epidemiológicos para investigar la relación entre concentraciones de material particulado y efectos a la salud de las personas, y en todos los casos se encontró asociación positiva entre estas dos variables, para lo cual se reportan incrementos desde 0,6% en la tasa de mortalidad hasta 5% por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aumento en la concentración de partículas en Róterdam, según Hoek *et al.*⁴³ En Colombia, Rojas menciona los resultados reportados por Solar *et al.*, quienes determinaron una asociación positiva entre altas concentraciones de material particulado y el aumento en el número de consultas por enfermedad de vía aérea superior en menores de 14 años, en Bogotá.⁴⁴ El estudio predice, a partir de sus resultados, que una disminución de PM_{10} en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ produciría una disminución de 17% en el número de consultas por síntomas de enfermedades respiratorias.

Santa Marta, una ciudad con un asentamiento poblacional importante (594.000 habitantes*), ha venido mostrando en los últimos años cierto grado de desarrollo en el sector industrial y aumento en el flujo vehicular, entre otras causas por su vocación turística. Dados estos aspectos y la presencia de varios puertos de manejo y exportación de carbón en parte del área urbana o en las cercanías de la misma, además de las condiciones naturales del territorio y su cercanía al mar, se presentan alteraciones importantes de la calidad del aire por la elevación de los niveles de PST a concentraciones que superan los límites permisibles por la norma y los valores umbrales límites, lo que se convierte entonces en una amenaza potencial para la salud de las personas que habitan esta ciudad. Para caracterizar el problema asociado a la contaminación del aire por material particulado, se realizó entre febrero del 2004 y marzo del 2005, con la participación de la Universidad del Magdalena y la Universidad de Antioquia, una investigación dirigida a establecer la variabilidad espacial y temporal de las concentraciones de PST , cuyos resultados se presentan en este artículo.

* Plan de Ordenamiento Territorial de Santa Marta, 2000

Métodos

Área de estudio

La ciudad de Santa Marta bordea el sector oriental de la bahía que lleva su nombre. Está situada a los $11^{\circ} 14' 50''$ de latitud norte y $74^{\circ} 12' 06''$ de longitud occidental, a una altura de 6 metros sobre el nivel del mar (figura 1). Posee un clima cálido y seco, con precipitación media anual de 362 mm, humedad relativa de 77% y rango de temperatura entre los 23-32 °C. Las lluvias siguen un patrón monomodal, con precipitaciones concentradas en los periodos de junio-julio y septiembre-octubre y un período seco de diciembre a abril, con variaciones debidas a fenómenos locales.



Figura 1. Localización del área de estudio

Localización de estaciones

La determinación del material particulado en Santa Marta se efectuó durante 12 meses, entre marzo del 2004 y marzo del 2005, utilizando el método de la esfera de influencia, el cual incluye mediciones de campo y el uso de modelos de emisión y dispersión; se determinaron cuatro puntos representativos para la localización de las estaciones de monitoreo. En la tabla 1 se presenta la localización de las estaciones de monitoreo seleccionadas para este estudio.

Método de muestreo

En esta investigación se usaron muestreadores de altos volúmenes (Hi-Vol). El método de muestreo seguido co-

Tabla 1. Localización estaciones de muestreo

Estación	Coordenadas	
	Norte	Este
EMPST 01	989681	1734605
EMPST 02	985945	1735740
EMPST 03	987563	1734807
EMPST 04	990308	1733563

EMPST: estación de monitoreo de material particulado

responde al estándar EPA 40 CFR Pt. 50 App. B, en que se hace pasar una cantidad medida de aire a través de un filtro de fibra de vidrio durante 24 ± 1 horas, periodo nominal de muestreo, a una velocidad relativamente alta (caudal de aire 1,1 a 1,7 m³/min). El caudal del equipo de muestreo y la geometría del protector o cubierta favorece la colección de partículas, a velocidades del aire entre 1,3 y 4,5 m/seg (3 a 10 mph), con diámetros máximos entre 25 y 50 μm (diámetro aerodinámico), dependiendo de la dirección del viento. Los filtros están especificados para que tengan eficiencia de colección mínima de 99% para partículas de 0,3 μm . El filtro es pesado (después de equilibrar la humedad por desecación) antes y después de la colección de material particulado, cuya masa se obtiene por diferencia. El volumen de aire recogido es determinado a través de la medición del caudal y el tiempo de toma de muestra, corrigiéndolo para las condiciones estándar de 25 °C y 101,3 kPa.

El intervalo de aplicación del método es de 2 a 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ normal. El límite superior está determinado por el punto al cual el equipo de muestreo no puede mantener el caudal específico, debido al aumento de la caída de presión del filtro cargado. El límite inferior está dado por la sensibilidad de la balanza.

Resultados y discusión

Concentraciones de material particulado

La tabla 2 presenta los principales estadísticos encontrados en el área de estudio durante el periodo de observación. Durante los monitoreos se colectaron 160 muestras en cada estación de monitoreo de material particulado (EMPST); ninguno de los valores de concentración de PST determinados en estas estaciones sobrepasa el valor límite diario establecido por la normatividad (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La EMPST 02 presentó el valor diario más alto de PST,

con una concentración de 322,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, registrada el día 09/10/2004. El valor más bajo de la concentración de PST registrado durante el periodo de muestreo en las cuatro estaciones de monitoreo fue de 34,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dato obtenido el 12/09/2004 en la EMPST 01.

La ANOVA de una vía muestra que hay una diferencia estadísticamente significativa, con un nivel de confianza de 95% entre la concentración media de PST en las estaciones monitoreadas, lo cual se confirma por la prueba de Kruskal-Wallis. La estación con la media más altas es la estación EMPST 02, mientras que las medias de las estaciones EMPST 01, 03 y 04 presentan valores muy similares entre sí.

La prueba de rangos múltiples o de Duncan muestra la existencia de dos grupos homogéneos. El grupo principal o más numeroso está conformado por las estaciones EMPST 01, 03 y 04, que corresponden a valores medios de la concentración de PST de estas estaciones; no hay diferencias significativas. En el segundo grupo está la estación EMPST 02, cuyo valor medio presenta una diferencia significativa con la restantes estaciones de monitoreo. La estación EMPST 02 es de mayor cercanía a fuentes de emisión importantes, como la zona de almacenamiento de carbón mineral, el mar, algunos cerros denudados y en un sector con un alto índice de tráfico vehicular, por lo que presumiblemente estos factores contribuyan a las altas concentraciones allí reportadas. La variación temporal de PST en el área urbana es de 44%, valor promedio entre las estaciones de monitoreo, mientras que la variación espacial fluctúa entre 10 y 51%. La EMPST 02 presenta 6 datos entre los 10 valores más altos al analizar las concentraciones registradas en todas las estaciones, lo cual indica que esta estación marca una zona de representación espacial dentro del distrito de Santa Marta.

Tabla 2. Resumen estadístico de concentraciones PST en Santa Marta, 2004-2005

	EMPST 01	EMPST 02	EMPST 03	EMPST 04	AERAL
Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	303,80	322,90	201,60	287,10	322,90
Dato	12/09/2004	09/10/2004	26/08/2004	05/05/2004	09/10/2004
Mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	34,48	34,70	38,80	49,90	34,48
Dato	08/07/2004	12/06/2004	12/11/2004	16/11/2004	08/07/2004
Promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	119,13	163,25	106,97	112,63	125,50
Desviación estándar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	63,00	58,45	31,27	43,29	55,00
Coefficiente de variación temporal	0,53	0,36	0,29	0,38	0,44
Coefficiente de variación espacial	-0,51	0,30	-0,15	-0,10	

Distribución anual de material particulado

La figura 2 presenta las isopletas de la concentración de la media geométrica anual de PST en el área urbana de Santa Marta. Los mayores niveles de contaminación se registran en el área del centro de la ciudad, donde presumiblemente la cercanía de algunas fuentes de emisión importante —como el manejo y almacenamiento de carbón y el tráfico vehicular— esté contribuyendo a la alteración de los niveles de PST en el aire. La media geométrica anual para el total de muestras colectadas en el área de estudio es de $114,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En todas las estaciones de monitoreo se sobrepasó el límite establecido por la norma para la media geométrica anual ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la estación EMPST 02 presentó el valor más alto con $150,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que las medias geométricas para las estaciones EMPST 01, EMPST 03, EMPST 04 fue muy similar, con concentraciones de $104,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $102,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $105,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

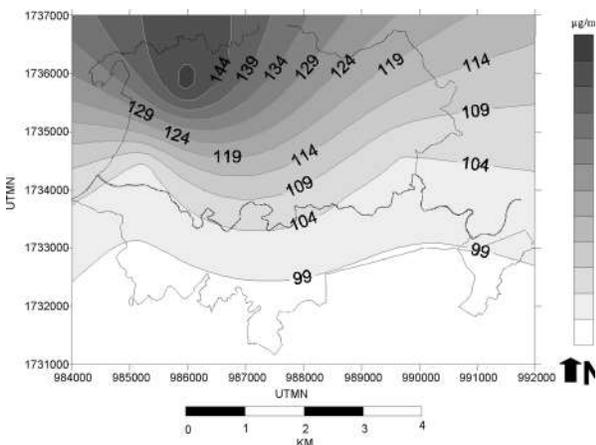


Figura 2. Isopletas media geométrica anual de PST en Santa Marta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Medias geométricas mensuales de la concentración de PST

Las figuras 3 a 14 muestran las medias geométricas de las concentraciones de PST en Santa Marta en cada uno de los meses del año. La media geométrica mensual más alta se registró en la estación EMPST 02 en el mes de febrero del 2005. Las concentraciones más altas coinciden con el periodo de escasas lluvias, entre enero y abril. Al analizar las medias geométricas mensuales de PST, se observa que durante todo el período de estudio se registraron concentraciones superiores a los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la mayor parte del área urbana de Santa Marta. Se encontró que en todos los meses, los mayores niveles de contaminación referida a la concentración de material particulado en el aire se registran en el área del centro de la ciudad, situación que se atribuye a las mismas causas esbozadas en el análisis de la concentración anual, además de la emisión de aerosol marino y la resuspensión de polvo desde los cerros denudados en la ciudad.

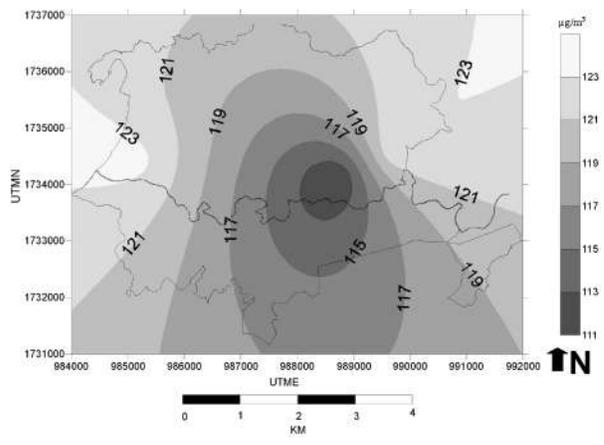


Figura 3. Isopletas medias geométricas, marzo del 2004

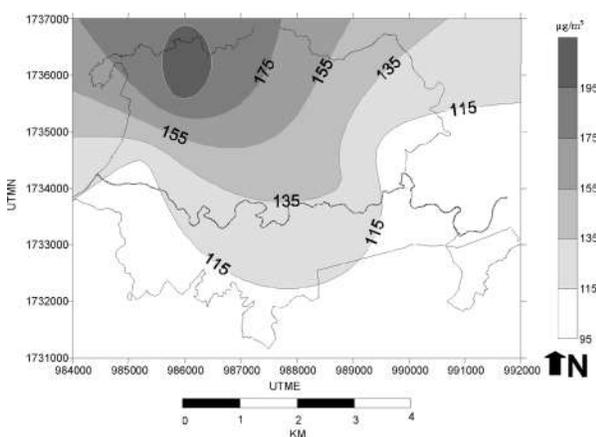


Figura 4. Isopletas medias geométricas, abril del 2004

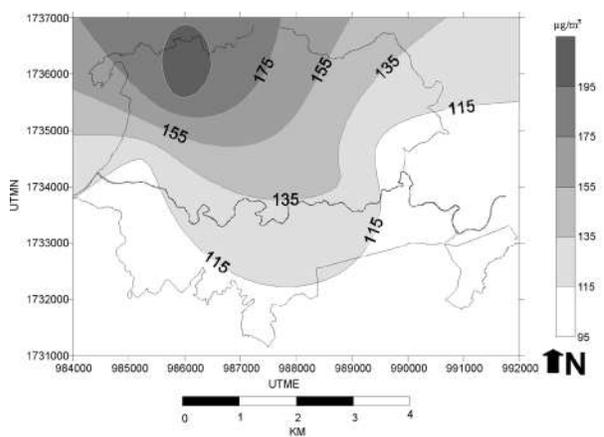


Figura 5. Isopletas medias geométricas, mayo del 2004

Dado que diferentes estudios epidemiológicos muestran una clara correlación entre riesgos para la salud y exposiciones a niveles altos en la concentración de material particulado, los resultados de esta investigación hacen pensar que presumiblemente se esté presentando un problema de salud pública en la ciudad de Santa Marta, que es necesario entrar a cuantificar.

Concentraciones de fondo

Las concentraciones de fondo de PST se analizaron mediante distribuciones de frecuencia acumulativa log-normal. Las figuras 15 a 18 representan la distribución de frecuencia acumulativa log-normal de las concentraciones de PST registradas en las estaciones de monitoreo. Las figuras presentan, según la distribución

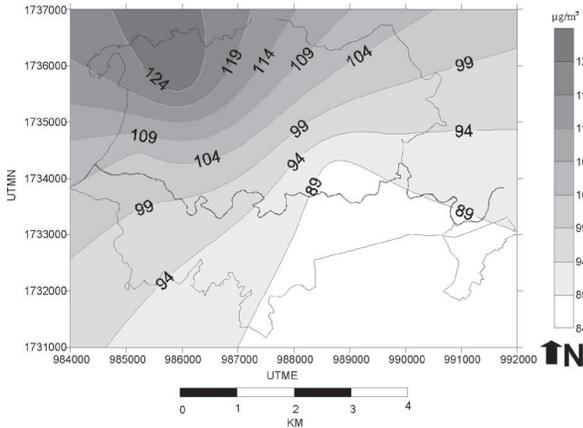


Figura 6. Isoplethas medias geométricas, junio del 2004

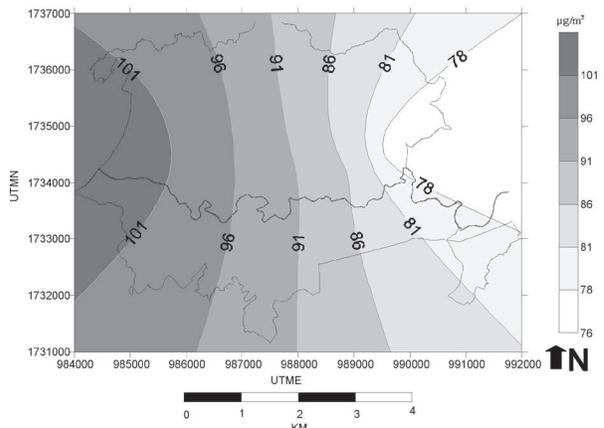


Figura 7. Isoplethas medias geométricas, julio del 2004

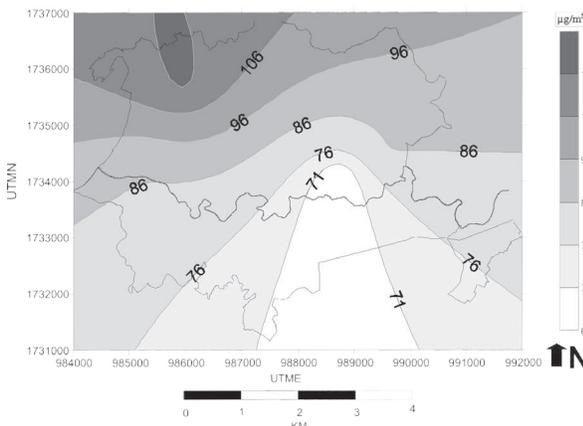


Figura 8. Isoplethas medias geométricas, agosto del 2004

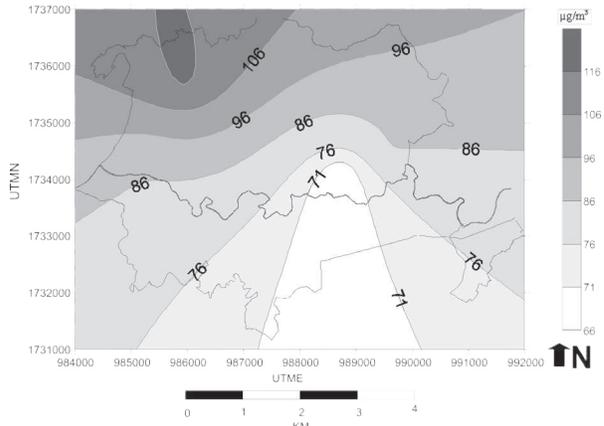


Figura 9. Isoplethas medias geométricas, septiembre del 2004

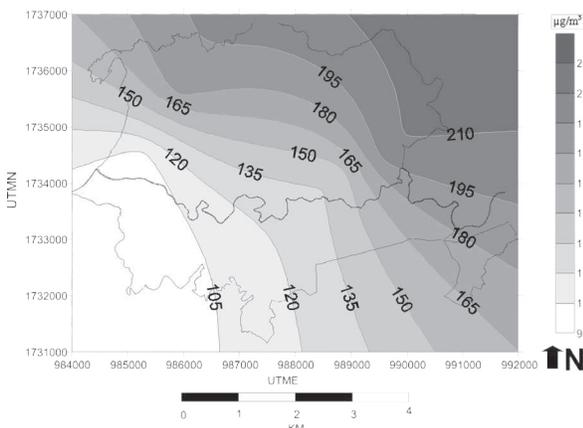


Figura 10. Isoplethas medias geométricas, octubre del 2004

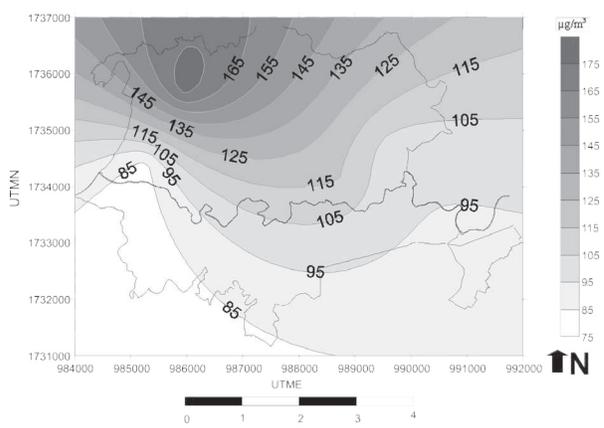


Figura 11. Isoplethas medias geométricas, noviembre del 2004

de frecuencia acumulativa log-normal, el porcentaje de tiempo en el que las estaciones registran concentraciones de fondo (fondo), concentraciones resultantes de las fuentes de emisión que influyen en la calidad del aire en el punto de muestreo (antropogénico) o la combinación de las dos condiciones anteriores (transición). Mediante

este análisis, en todas las estaciones se encontró que los datos registrados indican que la totalidad de las muestras colectadas obedecen a condiciones máximas que superan las condiciones de fondo que pudiesen existir, es decir, que no se encontraron datos para la concentración de fondo.

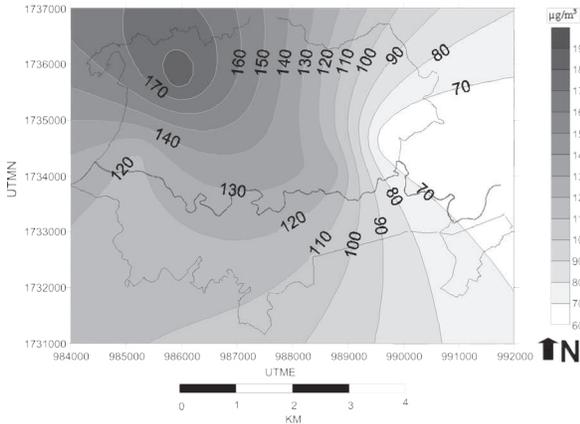


Figura 12. Isopletas medias geométricas, diciembre del 2004

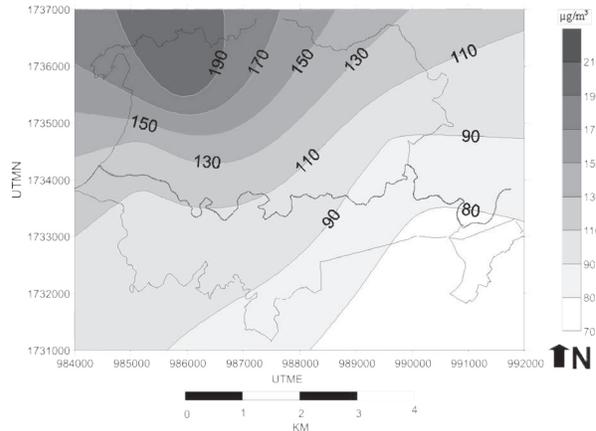


Figura 13. Isopletas medias geométricas, enero del 2005

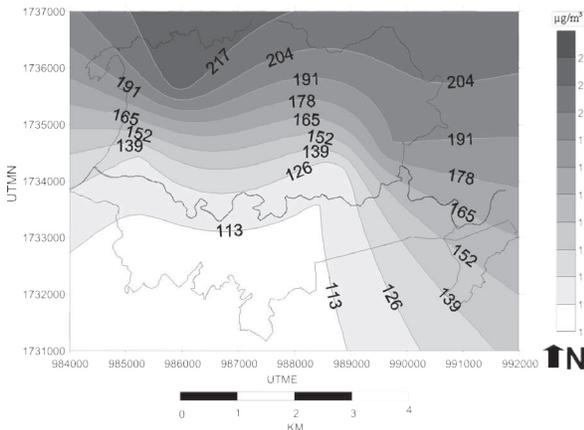


Figura 14. Isopletas medias geométricas, febrero del 2005

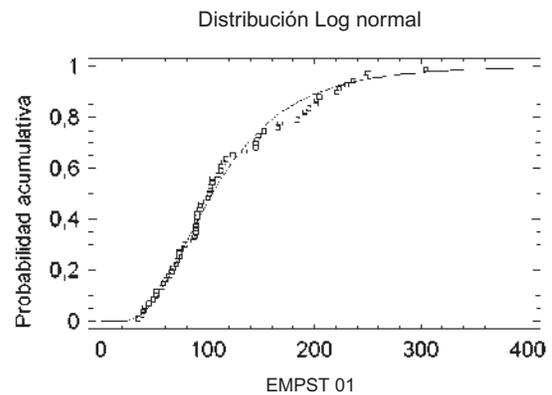


Figura 15. Distribución de frecuencia acumulativa log-normal de PST en EMPST 01

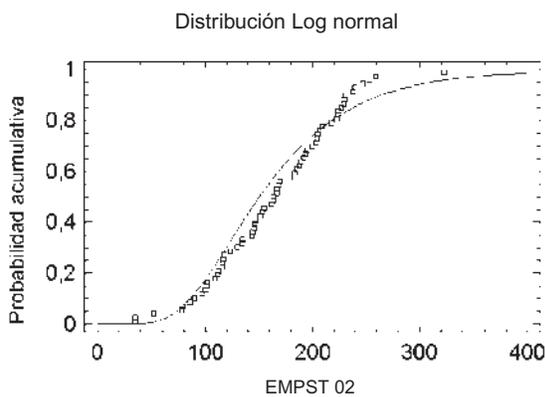


Figura 16. Distribución de frecuencia acumulativa log-normal de PTS en EMPST 02

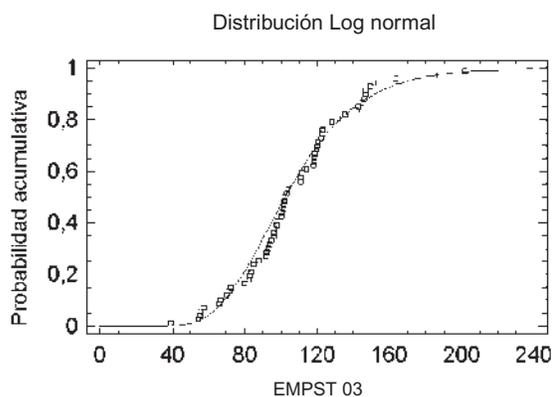


Figura 17. Distribución de frecuencia acumulativa log-normal de PTS en EMPST 03

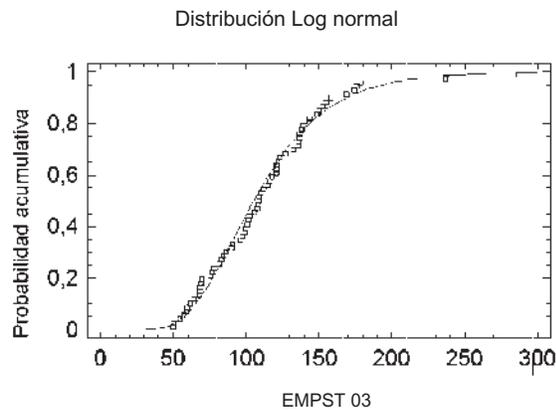


Figura 18. Distribución de frecuencia acumulativa log-normal de PTS en EMPST 04

Conclusiones

La media geométrica de los datos colectados durante un año de muestreo en todas las estaciones de monitoreo superan la norma ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), por tanto, se concluye que en la ciudad de Santa Marta se presentan niveles violatorios de la calidad del aire en la concentración de partículas.

En ninguna de las estaciones de monitoreo se presentaron niveles violatorios de la norma diaria de calidad del aire referida a los niveles máximos de partículas suspendidas totales en 24 horas ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Un análisis conjunto de la información de las concentraciones de fondo, generadas a partir de la metodología del cambio de puntos de inflexión en los segmentos de la curva de la probabilidad acumulada log normal, permite afirmar que las concentraciones en las estaciones de monitoreo están influenciadas fuertemente por la emisión de partículas desde fuentes antropogénicas.

La mayor parte del área urbana de Santa Marta registra durante todo el año altos niveles de concentración de PST, lo cual denota una prolongada exposición de la población, dados los niveles de concentraciones encontrados en esta investigación y la evidencia científica que los relaciona con efectos adversos para la salud de las personas. Amerita emprender esfuerzos encaminados a analizar más a fondo este fenómeno para determinar posibles afecciones a la salud de los habitantes de esta región.

Referencias

1. Viana RM. Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores norte y este de la península Ibérica y Canarias. Barcelona: Universidad de Barcelona; 2003.

2. Mészáros E. Fundamentals of atmospheric aerosol chemistry. Londres: Akadémiai Kiado; 1999.
3. Amdur MO. Toxicologic appraisal of particulate matter: oxides of sulfur and sulfuric acid. J. Air Pollut Control Association 1969;19:633-644.
4. Dockery DW, Pope CA. Acute respiratory effects of particulate air pollution. Annu Rev Public Health 1994;15:107-132.
5. Schachter EN. Airway effects of low concentrations of sulfur dioxide: dose response characteristics. Arch Environ Health 1984;39:34-42.
6. Neas LM. The association of ambient air pollution with twice daily peak expiratory flow rate measurements in children. Am J Epidemiology 1995;141:111-122.
7. Rornieu I. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. Am J Respir Crit Care Medical 1996;154:300-307.
8. Cass GR. Minimizing the cost air pollution control. Environ Sci Technology 1981;15:748-757.
9. Chepil WS. Climatic index of wind erosion conditions in the Great Plains. Proc Soil Soc. American 1963;27:449-451.
10. Bagnold RA. The transport of sand by wind. Geog Journal 1937;89:409-438.
11. Das BM. Principles of geotechnical engineering. Boston: PWS Publishing; 1998.
12. Kim MD. Concentration and sources of cadmium. Sci Total Environ 1993;138:1-22.
13. Davis BL. Quantitative analysis of asbestos minerals by the reference intensity x-ray diffraction procedure. Am Indus Hyg Assoc Journal 1990;51:297-301.
14. Jacob DJ. The $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HNO}_3 - \text{NH}_3$ system at high humidities and in fogs. J Geophys Researche 1986;91:1073 -1088.
15. Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay M, Ferris BG, Speizer FE. An association between air pollution and mortality in six U. S. cities. N Engl J Med 1993;329:753-759.
14. Schwartz J. What are people dying of on high air pollution days? Environmental Research 1994;64:26-35.
15. Bascom R, Bromberg PA, Costa DA, Devlin R, Dockery DW, Frampton MW, Lambert W, Samet JM, Speizer FE y Utell M. Health effects of outdoor air pollution. Am J Resp Crit Care Medical 1996;153:3-50.
16. Zeger SL, Liang KY. Long-term ambient air pollution and respiratory symptoms. Biometrics 1986; 42:121-130.

17. Brunekreef B, Janssen NAH, Harssema H, Knappe M, Vliet PV. Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways. *Epidemiology* 1997;8:8-19.
18. Künzli N, Kaier R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, Herry M, Puybonnieux-Textier V, Quénel P, Schneider J, Seethaler R, Vergnaud JC, Sommer H. Public health impact of outdoor and traffic related air pollution: an European assessment. *The Lancet* 2000;356:795-801.
19. Ostro BD, Lipsett M J, Manna JK, Braxton-Owens H, White MC. Air pollution and asthma exacerbations among African-American children. *Inhalation Toxicology* 1995;7:711-722.
20. Peters A, Dockery DW, Heinrich J, Wichmann HE. Short-term effects of particulate air pollution on respiratory morbidity in asthmatic children. *Europ Resp Journal* 1997;10:872-879.
21. Gielen MH, Van Der Zee SC, Van Wijnen JH, van Steen CJ, Brunekreef B. Acute effects of summer air pollution on respiratory health of asthmatic children. *Am J Respr Crit Care Medical* 1997;155:2105-2108.
22. Schwartz J, Norris G, Larson T, Sheppard L, Claiborne C, Koenig J. Episodes of high coarse particle concentration associated with increased mortality. *Environ Health Perspect* 1999;107:339-342.
23. Zeger SL, Dominici F, Samet J. Harvesting-resistant estimates of air pollution effects on mortality. *Epidemiology* 1999;10:171-175.
24. Beeson WL, Abbey DE, Knutsen SF. Long-term concentration of ambient air pollution and incident lung cancer in California adults: results from the AHSMOG study. *Environ Health Perspect* 1998;106:813-822.
25. Abbey DE, Nishino N, McDonnell WF, Burchette RJ, Knutsen SF, Beeson WL, Yang JX. Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *Am J Res Crit Care Medical* 1999;158:289-298.
26. Burnett RT, Dales RE, Brook JR, Krewski D. The role of particulate size chemistry in the association between summertime ambient air pollution and hospitalization for cardiorespiratory diseases. *Environ Healt Perspect* 1997;105:152-156.
27. Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiology* 1996;7:20-28.
28. Moolgavakar SH, Luebeck EG, Anderson EL. Air pollution and hospital admissions for respiratory causes in Minneapolis-St. Paul and Birmingham. *Epidemiology* 1997;8:364-370.
29. Pantazopoulou A, Katsouyanni K, Kourea-Kremastinou J y Trichopoulos D. Short-term effects of air pollution on hospital emergency outpatient visits and admissions in the greater Athens, Greece area. *Environ Research* 1995;69:31-36.
30. Dejmeck J, Selevan SG, Benes I, Solansky I y Sram RJ. Fetal growth and maternal exposure to particulate matter during pregnancy. *Environ Health Perspect* 1999;107:475-480.
31. Ritz B, Yu F. The effect of ambient carbon monoxide on low birth weight among children born in southern California between 1989 and 1993. *Environ Health Perspect* 1999;107:17-25.
32. Bobak M, Leon DA. Pregnancy outcomes and outdoor air pollution: an ecological study in district of the Czech republic 1996-1998. *Occup Environ Med* 1999;56:539-543.
33. Xu X, Ding H, Wang X. Acute effect of total suspended particles and sulfur dioxides on preterm delivery: a community-based cohort study. *Arch Environ Health* 1995;50:407-415.
34. Wang X, Ding H, Ryan L, Xu X. Association between air pollution and low birth weight: a community-based study. *Environ Health Perspect* 1997;105:514-520.
35. Woodruff TJ, Grillo J, Schoendorf KC. The relationship between selected causes of postneonatal infant mortality and particulate air pollution in the United States. *Environ Health Perspect* 1995;105:608-612.
36. Pope CA, Hill RW, Villegas GM. Particulate air pollution and dialy mortality on Utah's Wasatch Front. *Am J Respr Crit Care Medical* 1999;159:365-372.
37. Liao D, Creason J, Shy C, Williams R, Watts R, Zweidinger R. Daily variation of particulate air pollution and poor cardiac automatic control in the elderly. *Environ Healt Perspect* 1999;107: 521-525.
38. Gold A, Litonius J, Schwartz M, Verrier R, Milstein A, Larson E, Lovett B. Cardiovascular vulnerability to particulate pollution. *Am J Respr Crit Care Medical* 1998;153:15-27.
39. Lipfert FW. The Washington University-EPRI Veterans' Cohort Mortality Study. *Inhalation Toxicology* 2000;12(4):41-73.
40. Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, Brandt PA. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *The Lancet* 2002;360(41):1203-1209.
41. Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002;287(9):1132-41.
42. Wichmann HE, Peters A. Epidemiological evidence on the effects of ultrafine particle exposure. *Phil T Roy Soc A* 2000;358:2751-1769.

43. Environmental Protection Agency. Air Quality Criteria for Particulate Matter. Washington: EPA; 1996.

44. Rojas YN. Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel. Revista de Ingeniería 2004;29:56-66.