



Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia

ISSN: 0120-6230

revista.ingenieria@udea.edu.co

Universidad de Antioquia

Colombia

Gómez, Alfredo; Henao, Enrique; Molina, Eliana; Molina, Francisco
Evaluación de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM10) en la zona de Guayabal, Medellín, Colombia
Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, núm. 30, diciembre, 2003, pp. 24-33
Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43003003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Evaluación de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM₁₀) en la zona de Guayabal, Medellín, Colombia

*Alfredo Gómez**, *Enrique Henao***, *Eliana Molina**** y *Francisco Molina*****

(Recibido el 7 de octubre de 2002. Aceptado el 25 de septiembre de 2003)

Resumen

En este trabajo se determinaron niveles de concentración de partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM₁₀), en el aire en sector de Guayabal, Medellín, durante un período de cinco meses en el año 2000.

La concentración diaria promedio de PST registrada fue de 113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor inferior a la norma diaria para Colombia (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), sin embargo las concentraciones presentaron una tendencia a superar la norma anual, de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones diarias de PM₁₀, con promedio de 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no superaron ninguna vez la norma diaria de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fijada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA), sin embargo existe la tendencia a superar la norma anual (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se logró obtener 101 parejas de datos diarios de PST y PM₁₀ lo cual permitió hacer una correlación poco explorada en Colombia, con resultados de $R^2 = 0,91$. Esto permite en estudios futuros una economía importante ya que midiendo PST se puede estimar con alta confiabilidad el valor de PM₁₀. La fracción PM₁₀/PST arrojó un promedio de 0,62 indicando una participación importante de partículas respirables con respecto al total de partículas suspendidas.

----- *Palabras clave:* Contaminación atmosférica, partículas suspendidas totales (PST), partículas respirables (PM₁₀), calidad del aire en Medellín, Colombia.

* Ingeniero Sanitario. Especialista en Salud Ocupacional. Especialista en Finanzas y Evaluación de Proyectos. Docente Facultad de Medicina. Universidad de Antioquia. acadavid@quimbaya.udea.edu.co.

** Ingeniero Sanitario. Especialista en Ingeniería Ambiental. Jefe de Control Contaminación Ambiental. ESE Metrosalud.

*** Ingeniera Sanitaria.

**** Ingeniero Sanitario. Especialista en Ingeniería Ambiental. M. Sc. Ingeniería Sanitaria. Director de la Corporación Ambiental de la Universidad de Antioquia.

Evaluation of total suspended particles (TSP) and respirable particles (PM₁₀) in the zone of Guayabal, Medellín, Colombia, 2000

Abstract

In this work total suspended particles (TSP) and breathable particles matter (PM₁₀) were determined, in Guayabal sector-Medellín (Colombia), over 5 months in the year 2000.

The TSP daily average concentration was 113 µg/m³, being lower than the daily norm value for Colombia (400 µg/m³). Nevertheless, the concentrations tended to be higher than annual norm of 100 µg/m³. The PM₁₀ daily concentrations, with an average of 74 µg/m³, were never higher than daily norm of 150 µg/m³, established by the Environmental Protection Agency of the United States (US EPA). But they tend to be higher than annual norm (50 µg/m³).

It was possible to obtain 101 TSP and PM₁₀ data couples daily, which permitted to make a correlation little explored in Colombia, with results of R² = 0,91. This permits an important economy in future studies, because, by measuring TSP it is possible to estimate with high reliability the PM₁₀ value. The PM₁₀/TSP ratio showed an average of 0,62, indicating an important participation of Breathable Particles Matter with respect to Total Suspended Particles.

Antecedentes

Evaluación de la calidad del aire

Durante el período comprendido entre julio de 1993 y diciembre de 1997, la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire (Redaire) realizó muestreos de PST en diez estaciones, encontrando que siete de éstas sobrepasaron el promedio anual permisible y en cinco se sobrepasó por lo menos una vez, la norma diaria de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual demostró que la contaminación por PST es un importante problema en la ciudad de Medellín [1]. De los registros de Redaire se deduce que el PST y el monóxido de carbono (CO), proveniente del tránsito de vehículos y de las industrias, presentan sus niveles más altos en el centro de la ciudad, el barrio Guayabal y el municipio de Itagüí [2]. Otros contaminantes evaluados durante estos años fueron el SO_2 y el NO_2 . El problema del SO_2 no es preocupante, ya que su concentración se mantuvo por debajo de la norma anual; esto se debe a que en nuestro medio se quema carbón con bajo contenido de azufre. En pocos casos, el NO_2 supera los límites permisibles [2].

A finales de 2000 Redaire reinició sus actividades, con el relevo de las autoridades de salud por las autoridades ambientales, Área Metropolitana y Corantioquia. Cuenta con catorce estaciones de monitoreo, que registran concentraciones de partículas suspendidas totales (PST), partículas suspendidas respirables (PM_{10}), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), entre otros, localizadas en el Valle de Aburrá, incluida una estación reciente (2002) en el sector de Guayabal. Para el año 2001 se muestreó PST en diez estaciones del Valle de Aburrá de las cuales solamente la estación localizada en la Universidad Nacional con un promedio geométrico de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sobrepasó la norma anual ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En ninguna estación se sobrepasó la norma diaria de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [3].

A escala internacional, se han realizado diferentes estudios que correlacionan PST, PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$, entre los que se tienen:

- Brook *et al.* [4] estudiaron en 19 sitios de Canadá las relaciones entre partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$), entre los años 1986 y 1994, y encontraron que las concentraciones para PST oscilaban entre 10 y $575 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para PM_{10} entre 5 y $175 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pero la mayoría de las concentraciones estaban por debajo de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y entre 2 y $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2,5}$. La relación $\text{PM}_{10}/\text{PST}$ presentó un promedio de 0,44 y para la relación $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ un promedio de 0,49.
- Walsh *et al.* [5] realizan una estimación de concentraciones ambientales de $\text{PM}_{2,5}$ para el estado de Maryland (Estados Unidos), utilizando relaciones $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ que oscilan entre 0,50 a 0,94, previamente determinadas y de esta manera realizan mediciones de PM_{10} y estiman las concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$.
- Jinsart *et al.* [6], al estudiar la contaminación por partículas en los bordes de carretera en Bangkok, establecen relaciones $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ entre 0,62 y 0,74, plantean que para una mejor evaluación de los efectos en la salud de las partículas, se considera que la medición de PM_{10} debe complementarse con la medición simultánea de $\text{PM}_{2,5}$.
- Vukovich y Sherwel [7] realizan la comparación de las variaciones de masa de partículas entre un sitio urbano en Washington D. C. y un sitio en el campo en el parque nacional Shenandoah, V.A., realizando la evaluación a partir de datos de siete años. En dicha evaluación utilizan la relación $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$, la cual toma valores de 0,73 para el sitio urbano y de 0,71 para el sitio campestre.

Contaminación por material particulado y efectos en la salud

El material particulado solo, o en combinación con otros contaminantes, especialmente dióxido de azufre (SO_2), representa un grave riesgo para la salud, ya que las partículas menores de $10 \mu\text{m}$ penetran directamente por las vías respiratorias, y ocasionan alteraciones en este sistema en diferentes sitios [8].

Aun a bajas concentraciones (20 µg/m³) la contaminación por PST puede incrementar el riesgo de las infecciones respiratorias agudas (IRA), los episodios asmáticos y de otras enfermedades respiratorias [9].

Entre los efectos que puede producir la contaminación del aire en los organismos vivos, están:

- Efectos tóxicos, que bloquean los mecanismos de defensa como la limpieza mucociliar y adsorben agentes xenobióticos en su superficie transportándolos al pulmón.
- Efectos biológicos, como los fibróticos, los irritantes (mucosas de ojos y tracto respiratorio, enrojecimiento, hinchazón, rasquiña, lagrimeo, estornudo y tos), los carcinogénicos, los toxicosistémicos y efectos en la piel y el árbol respiratorio.

Las infecciones respiratorias agudas son la causa más frecuente de enfermedad y de consulta médica. A ella se deben entre dos y tres millones de muertes de niños menores de cinco años en el mundo. La mayoría de los episodios de IRA son infecciones banales; sin embargo, se estima que uno de cada cincuenta episodios de IRA terminan en neumonía, de la que, si no hay acceso al tratamiento, del 10 al 20% de los casos tiene consecuencias mortales [10].

Para 1999 en la ciudad de Medellín las infecciones respiratorias agudas se presentan como la primera causa de consulta externa para el total de la población, con un 9,4% de participación, siendo más grave la situación para la población menor de cinco años, con un 20% [11]. Situación similar se presenta frente a los egresos hospitalarios, siendo neumonía, infecciones respiratorias agudas, bronquitis, enfisema y asma, las primeras causas para la población menor de diez años [11].

Existen diferentes estudios que correlacionan la contaminación por material particulado y los efectos en la salud:

- Aristizábal *et al.* [12] evaluaron en 1997 la relación entre la contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil

de Puente Aranda, Bogotá, encontrando relación entre calidad del aire e incidencia de la enfermedad respiratoria aguda.

- Dos estudios epidemiológicos realizados por la Sociedad Americana de Cáncer y la Universidad de Harvard muestran que las personas que viven en ciudades más contaminadas han aumentado el riesgo de muerte prematura, comparadas con personas que habitan en ciudades menos contaminadas [13].
- Gordian *et al.* [14] concluyen que con un incremento de 10 µg/m³ de PM₁₀ se produce un aumento entre 3 y 6% de las consultas por asma y entre 1 y 3% de enfermedades de las vías respiratorias superiores.

Características de la Comuna 15, Guayabal

El sector de Guayabal está ubicado en la zona suroccidental de la ciudad de Medellín. Tiene una extensión de 773,5 hectáreas, una población cercana a los 77.000 habitantes y una densidad de población de 100 hab/ha aproximadamente. Los estratos predominantes son el medio-bajo con el 70,5% y el medio con el 18%. El 15% de la población tiene menos de diez años [11].

El sector de Guayabal se caracteriza por tener un flujo vehicular importante, a través de dos ejes viales principales (vía Regional y avenida Guayabal) que cruzan la ciudad de sur a norte. Según aforos de tráfico automotor la Avenida Guayabal presenta tránsito horario equivalente (THE) de 6.191 vehículos [15]. Adicionalmente, se asientan en dicho sector 783 industrias, que corresponden al 17% de las localizadas en la ciudad de Medellín. Cerca al sector está ubicado el aeropuerto regional Enrique Olaya Herrera [11].

En mediciones realizadas por Redaire de PST en el período comprendido entre 1993 y 1996, para la estación ubicada en la Central Mayorista se encontró un promedio geométrico de 184 µg/m³ en el año 1994, el cual sobrepasa la norma anual (100 µg/m³) [16].

Metodología

En la investigación, se realizó el seguimiento de la calidad del aire en el Centro Administrativo Descentralizado (Cerca) de Guayabal, a través del monitoreo de las concentraciones de PST y PM₁₀ (partículas menores de 10 µm, comúnmente conocidas como partículas respirables). El período de seguimiento cubrió cinco meses, del 10 de mayo al 13 de octubre de 2000, para un total de 157 días, durante los cuales se tomaron 124 muestras de PST (79% de los días fueron muestreados) y 110 muestras de PM₁₀ (correspondientes al 70% de los días del período). No fue posible el cubrimiento total del período con muestreos de PST y PM₁₀, debido a dificultades en el acceso a la estación los fines de semana y a daños en los equipos de muestreo.

La calidad del aire se evaluó con base en los conceptos, criterios y metodología del Decreto 948 de 1995 [17], expedido por el Ministerio del Medio Ambiente de la República de Colombia, y según la estandarización del método de medición de material particulado referida en el Decreto 02 de 1982 [18], expedido por el Ministerio de Salud de

Colombia y ratificada en el Decreto 948 ya enunciado.

Para el muestreo de PST se utilizó el medidor de alto volumen (HI-VOL); la medición de partículas respirables se realizó con un medidor PM₁₀. Todos los resultados de PST y PM₁₀ se presentan a condiciones de referencia (25 °C y 1 atm.). Los datos fueron analizados utilizando el sistema de análisis de datos SPSS versión 10.0.

Resultados

Concentraciones diarias

Los resultados de las concentraciones de PST para el período en referencia, se presentan en la figura 1, donde se consigna además la norma colombiana de calidad del aire diaria, que es 400. Los resultados para PM₁₀ se muestran en la figura 2. Por no contar con normatividad colombiana, se utiliza la norma de calidad diaria de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) de 150 µg/m³ [19].

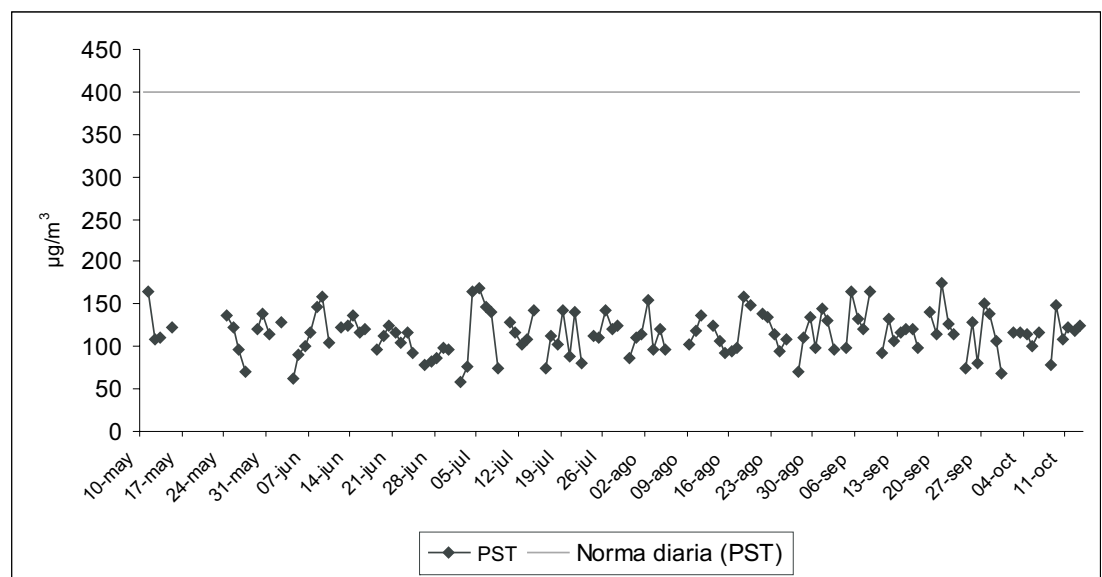


Figura 1 Concentraciones diarias de partículas suspendidas totales (PST). Guayabal, Medellín, 10 de mayo a 13 de octubre de 2000

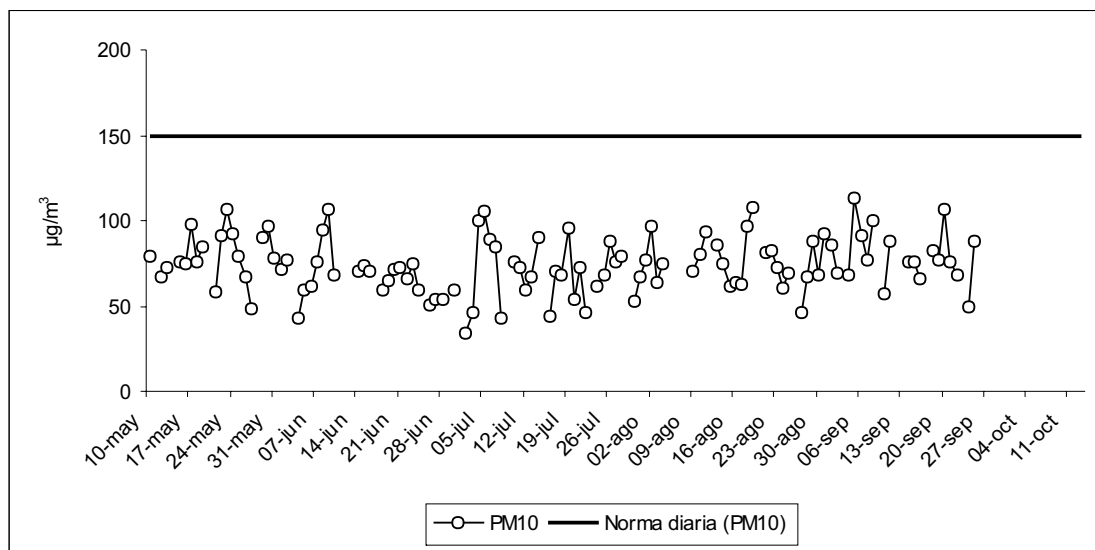


Figura 2 Concentraciones diarias de partículas suspendidas respirables (PM₁₀). Guayabal, Medellín, 10 de mayo a 13 de octubre de 2000

Concentraciones por día de la semana

Con la intención de analizar el patrón de comportamiento, los datos de concentración de PST y PM₁₀ se agruparon por día de la semana, re-

gistrando aproximadamente veinte datos por día de lunes a viernes y diez mediciones los sábados y domingos. Las tablas 1 y 2, presentan las concentraciones de PST y PM₁₀ por día de la semana, lo cual se ilustra en la figura 3.

Tabla 1 Concentraciones de partículas suspendidas totales (PST) por día de la semana. Guayabal, Medellín, 10 de mayo a 13 de octubre de 2000

Día	No. de datos	Promedio geométrico (µg/m ³)	Valor máximo (µg/m ³)	Valor mínimo (µg/m ³)	No. veces que sobrepasa 400 µg/m ³	No. veces que sobrepasa 100 µg/m ³	% de días que sobrepasa 100 µg/m ³
Lunes	20	114	149	76	0	16	80
Martes	19	115	166	81	0	15	79
Miércoles	21	124	175	87	0	18	86
Jueves	21	117	165	89	0	15	71
Viernes	22	125	164	96	0	20	91
Sábado	11	92	148	69	0	3	27
Domingo	10	80	125	57	0	1	10
Total	124		175	57	0	88	71

Tabla 2 Concentraciones de partículas suspendidas respirables (PM₁₀) por día de la semana. Guayabal, Medellín, 10 de mayo a 30 de septiembre de 2000

<i>Día</i>	<i>No. de datos</i>	<i>Promedio aritmético (µg/m³)</i>	<i>Valor máximo (µg/m³)</i>	<i>Valor mínimo (µg/m³)</i>	<i>No. veces que sobrepasa 150 µg/m³</i>	<i>No. veces que sobrepasa 50 µg/m³</i>	<i>% de días que sobrepasa 50 µg/m³</i>
Lunes	18	72	92	47	0	17	94
Martes	16	80	113	54	0	16	100
Miércoles	19	81	107	54	0	19	100
Jueves	18	74	94	54	0	18	100
Viernes	20	80	107	59	0	20	100
Sábado	9	65	108	43	0	6	67
Domingo	10	53	85	34	0	5	50
Total	110	113	34	0	101	92	

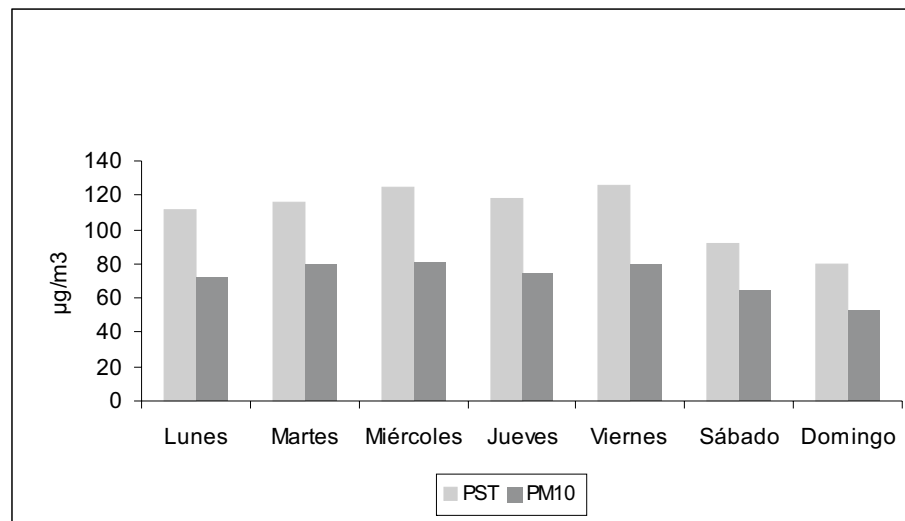


Figura 3 Concentraciones medias de PST y PM₁₀ por día de la semana. Guayabal, Medellín, 10 de mayo a 30 de septiembre de 2000

Correlación PM₁₀-PST

La figura 4 presenta la correlación PM₁₀-PST, para 101 parejas de datos dando como resultado un coeficiente de determinación R² de 0,91 y un coeficiente de correlación R de 0,95. El coefi-

ciente R² indica el porcentaje de variabilidad de PM₁₀ que es explicado por PST. El coeficiente R representa la fuerza y dirección de la asociación entre los datos. Por último la pendiente del modelo de regresión lineal toma un valor de 0,6197.

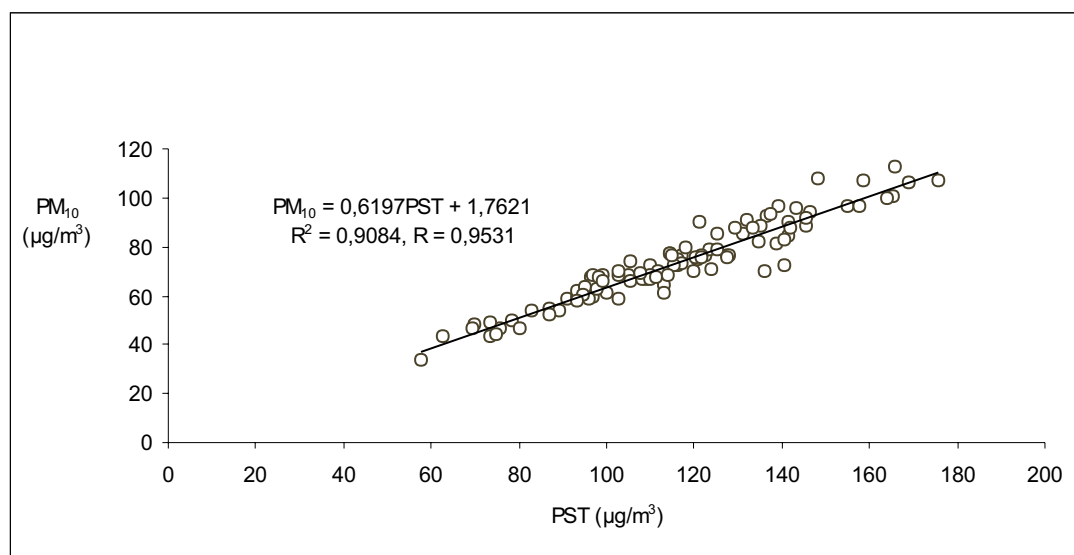


Figura 4 Relación entre las mediciones de PST y PM₁₀. Guayabal, Medellín, 2000

Análisis de resultados

Concentraciones diarias

Partículas suspendidas totales (PST). El promedio geométrico en los 124 días estudiados es de 113 µg/m³, con un valor máximo de 175 y un mínimo de 57. De acuerdo con la legislación colombiana [17, 18], la norma diaria para PST es de 400 µg/m³, la cual no se superó en ninguno de los días. Sin embargo las concentraciones diarias muestran tendencia a superar la norma anual de 100 µg/m³, lo que ocurre en 88 días (71% de las mediciones realizadas).

La serie de datos presenta un coeficiente de variación del 21%, lo cual indica que los datos son homogéneos. Los datos se ajustan a una distribución normal, de acuerdo con el test de normalidad Kolmogorov-Smirnov.

Partículas suspendidas respirables (PM₁₀). El promedio aritmético de los 110 datos es de 74 µg/m³, con un valor máximo de 113 y un mínimo de 34, la norma diaria para PM₁₀ [19] establece que la concentración de 150 µg/m³ no debe superarse en más de una ocasión durante un año. Las concentraciones encontradas cumplen con

la norma diaria. De otro lado la norma establece que el promedio anual de las concentraciones de PM₁₀, no debe superar 50 µg/m³. Nuevamente si analizamos los 110 datos obtenidos, existe la tendencia a superar la norma anual, lo que ocurre en el 92% de los casos, porcentaje muy superior al registrado en los datos de PST.

La serie de datos presenta un coeficiente de variación del 22%, indicando que los datos son homogéneos, ajustándose a una distribución normal, de acuerdo con el test de normalidad Kolmogorov-Smirnov.

Correlación PM₁₀-PST. El tamaño de las partículas tiene una íntima relación con el proceso de formación de las mismas, las partículas grandes generalmente están relacionadas con la desintegración mecánica de la materia o la suspensión de polvos en el ambiente, presentan diámetros mayores a 2 µm [20], mientras que las partículas pequeñas tienen origen en la condensación de vapores o reacciones entre gases [21], caracterizándose por diámetros menores a 2 µm [20].

Al correlacionar PST y PM₁₀ se pretende evaluar la relación entre ambos parámetros, el valor del coeficiente de determinación ($R^2 = 0,91$) re-

sultante, indica que los valores de PM_{10} son explicados en un 91% por los valores de PST, mostrando una relación fuerte entre estos dos parámetros, el 9% restante se atribuye a otros factores, como por ejemplo la meteorología y la dinámica de las fuentes de emisión.

El valor del coeficiente de correlación ($R = 0,95$) muestra una fuerte asociación entre PST y PM_{10} expresando una relación de tipo directo.

Concentraciones por día de la semana

Partículas suspendidas totales (PST). Los valores máximos para el promedio geométrico se alcanzaron los días viernes y miércoles, con valores de 125 y 124 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, el valor máximo absoluto se obtuvo un día miércoles y fue de 175 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el mínimo fue de 57 un domingo. El día que más se sobrepasó la norma anual (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) fue el viernes con un total de veinte veces, correspondiente al 91% de los casos.

Partículas suspendidas respirables PM_{10} . Los valores máximos para el promedio aritmético se alcanzaron los días martes, miércoles y viernes, con un valor de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el valor máximo absoluto se obtuvo un día martes y fue de 113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el mínimo fue 34 un domingo. De martes a viernes la norma anual se superó en el 100% de las mediciones.

Análisis conjunto PST y PM_{10} . Se realizó una ANOVA con los datos por día de la semana, tanto para PST como para PM_{10} , dando como resultado que al menos uno de los días de la semana tiene diferencias significativas con los demás. Posteriormente se realizó una comparación múltiple, encontrando que existe diferencia significativa entre el domingo y los días lunes a viernes, tanto para PST como para PM_{10} . El día sábado aparece como un período de transición, al no presentar diferencias significativas ni con los días lunes a viernes, ni con el domingo; sin embargo el sábado para los datos de PST presenta un comportamiento más cercano al domingo, mien-

tras que para PM_{10} tiene características de una clara transición entre el viernes y el domingo, lo que tiene su explicación en que las partículas finas permanecen más tiempo suspendidas en la atmósfera.

Conclusiones

Se identifica una participación importante de partículas finas en el sector, representadas en promedio por una fracción de 0,619 del total de partículas suspendidas, lo cual tiene su explicación en la cercanía de la avenida Guayabal (vía de alto flujo vehicular) y la presencia de sector industrial. Esta situación es preocupante debido que estas partículas de menor tamaño representan mayor riesgo para la salud, especialmente en las poblaciones más vulnerables (niños y ancianos).

La evaluación de PST en el área de estudio no supera la norma diaria (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), pero muestra una tendencia a superar la norma anual (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); sin embargo la norma establece que se requieren por lo menos cien datos distribuidos durante todo el año, para realizar la respectiva comparación.

Los datos obtenidos en este estudio en la estación Cerca Guayabal, muestran una buena correlación entre los niveles de partículas suspendidas totales y partículas respirables ($R = 0,95$), lo cual permitiría realizar la medición de un solo contaminante (PST o PM_{10}) y estimar el otro utilizando la regresión lineal encontrada. Por razones económicas se recomienda el muestreo de PST y la estimación de PM_{10} , realizando muestreos de PM_{10} en forma más espaciada con el fin de corroborar la correlación.

Agradecimientos

Se agradece de manera muy especial a la comunidad educativa del sector que apoyó e hizo posible la recolección de información, a la Administración y al personal del Cerca Guayabal, quienes apoyaron las labores de muestreo, a la División de Atención al Medio Ambiente de la

ESE Metrosalud por facilitar los equipos de muestreo y la participación de personal, a la Universidad de Antioquia que apoyó el proyecto por intermedio del Comité Central de Investigación-CODI.

Referencias

1. Red de Vigilancia de la Calidad del Aire Valles de Aburrá y San Nicolás-Redaire. "Presentación y análisis de datos de la calidad del aire". En: *Boletín REDAIRE*. No. 5. Medellín, 1996. pp. 46-47.
2. Henao, Enrique. "Vigilancia de la calidad del aire en el Valle de Aburrá". En: *Seminario Experiencias en Diseño de Redes de Monitoreo para Calidad del Aire*. Tunja. Octubre, 1996.
3. Molina, Francisco *et al.* "Análisis de concentraciones de partículas suspendidas totales (PST) en el Valle de Aburrá durante el año 2001, ciclos y tendencias". En: *Boletín REDAIRE*. No. 10. Medellín. Julio, 2002. pp. 13-22.
4. Brook, Jeffrey *et al.* "The relationship among TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and inorganic constituents of atmospheric particulate matter at multiple canadian locations". En: *Journal of the Air and Waste Management Association*. Vol. 47. No. 1. January, 1997. pp. 2-19.
5. Walsh, Kenneth *et al.* "Estimation of ambient PM_{2.5} concentrations in Maryland and verification by measured values". En: *Journal of the Air and Waste Management Association*. Vol. 52. No. 10. October, 2002. pp. 1.161-1.175.
6. Jinsart, Wanida *et al.* "Roadside particulate air pollution in Bangkok". En: *Journal of the Air and Waste Management Association*. Vol. 52. No. 9. September, 2002. pp. 1.102-1.110.
7. Vukovich, Fred *et al.* "Comparision of fine particles and the relationship between particles variations and meteorology at an urban site and a remote site in the eastern United States". En: *Journal of the Air and Waste Management Association*. Vol. 52. No. 5. May, 2002. pp. 573-584.
8. Nieto, Óscar. "Efectos en la salud de la contaminación por material particulado". En: *Curso Contaminación del aire por material particulado*. AINSA. Medellín. Octubre, 1993.
9. Abbey, D. *et al.* "Chronic respiratory symptoms associated with long-term ambient concentrations of fine particulates less than 2,5 microns in aerodynamic diameter (PM_{2.5}) and other air pollutants". En: *J-Expo-Anal-Environ-Epidemiol*. Vol. 5. No. 2. Abril-junio, 1995. pp. 137-159.
10. Posada, A. *et al.* *El niño sano*. Medellín. Universidad de Antioquia. 1998. pp. 24-31.
11. Alcaldía de Medellín. Secretaría de Planeación Municipal. *Macroindicadores Medellín 1999*. Medellín, 2000.
12. Aristizábal, Gustavo *et al.* *Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda, Santafé de Bogotá, 1997*. Bogotá. Universidad El Bosque. 1998. pp. 119-121.
13. <http://www.nrdc.org/faqs/aibrefaq.html>.
14. Gordian, M. "Particulate air pollution and respiratory disease in Anchorage". En: *Environ-Health-Perspect*. Vol. 104. No. 3. Marzo, 1996. Alaska. pp. 290-297.
15. Municipio de Medellín, Secretaría de transportes y tránsito. *Red de Aforos*. 1998.
16. Henao, Enrique. "Experiencias de la ciudad de Medellín sobre el manejo de la calidad del aire". En: *Seminario Internacional: Contaminación Atmosférica*. Medellín, 1997.
17. Ministerio del Medio Ambiente. República de Colombia. *Decreto 948 del 5 de junio de 1995*. Bogotá, 1995.
18. Ministerio de Salud. República de Colombia. *Decreto 02 del 11 de enero de 1982*. Bogotá, 1982.
19. <http://www.epa.gov/airs/criteria.html>.
20. Bedoya, Julián. "Comparación entre medidores Hi-Vol y PM-10". En: *Curso Contaminación del Aire por Material Particulado*. AINSA. Medellín. Octubre, 93. pp. 108-110.
21. Mesquita, Armando. *et al.* *Engenharia de ventilação industrial*. Cetesb/Ascetesb. São Paulo, Brasil. 1985. pp. 91-95.