

Levels of total suspended and inhalable particles in the city of Cabimas

*Marlene González de Nava, Beatriz Sosa de Borrego, Harvi Velásquez
y José A. Morales*

*Laboratorio de Química Ambiental, Departamento de Química
Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia
Apartado 526. Maracaibo 4001-A, Venezuela*

Abstract

In this paper we report the results of a monitoring survey of total suspended particulates (TSP) and inhalable particulates (PM10) in Cabimas, Venezuela, during the dry and rainy season. During the period studied, 64 samples of TSP and 52 samples of PM10 were collected using hi-volume air samplers following the methodology established by COVENIN (Venezuelan standard reference methods) for TSP and by the US-EPA for PM10.

The annual mean TSP levels ($113.27 \pm 38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) exceeded the primary standard ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) established in Venezuela. The percentage of collected samples with concentrations over 75, 150 and $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ are greater than the maximum exceedance percentage accepted by Venezuelan regulations (50%, 5% and 2%).

The annual arithmetic mean PM10 levels ($63.14 \pm 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) exceeded the primary annual PM10 standard ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The 24-hour standard level ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) was not exceeded.

The following conclusions can be drawn: the area under study in the city of Cabimas is polluted by atmospheric particulates. The TSP consists primarily of inhalable particulates (54%) which can cause adverse respiratory effects.

Key words: Total suspended particulates TSP, inhalable particulates PM10, air pollution, atmospheric particulates.

Niveles de partículas suspendidas totales e inhalables en el aire de la ciudad de Cabimas, Venezuela

Resumen

En el presente trabajo se estudiaron los niveles de concentración de partículas suspendidas totales (PST) y las partículas inhalables (PM10) en la zona urbana de la ciudad de Cabimas, Estado Zulia, durante la estación seca y la estación lluviosa.

En el lapso de estudio se recolectaron 64 muestras de PST y 52 de PM10, empleando muestreadores de aire de alto volumen con controlador automático de flujo constante, utilizando la metodología establecida por COVENIN para PST y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) para PM10.

El promedio ponderado anual de las concentraciones de PST ($113,27 \pm 38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sobrepasa el estándar promedio anual ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido para Venezuela. El porcentaje de muestras recolectadas con un contenido de PST mayor de 75, 150 y $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sobrepasa los porcentajes máximos de excedencia de 50%, 5% y 2% respectivamente establecidos para Venezuela.

La concentración promedio ponderada anual de PM10 ($63,14 \pm 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sobrepasa el estándar anual para PM10 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y ninguno de los valores excede el estándar diario ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se concluye que el aire de la zona estudiada de la ciudad de Cabimas se encuentra contaminada por partículas suspendidas a niveles perjudiciales para la salud. Del total de PST, el 54% corresponde a partículas inhalables, que son las que pueden penetrar al sistema respiratorio afectando la salud.

Palabras claves: Partículas suspendidas totales PST, partículas inhalables PM10, contaminación atmosférica, partículas atmosféricas.

Introducción

El medio ambiente atmosférico se contamina cuando se le agregan sustancias (gases y partículas) que originalmente no forman parte de su composición y que en forma directa o indirecta pueden afectar adversamente a los seres humanos, la vegetación o los materiales. Los contaminantes son introducidos por fuentes naturales y de origen antrópico [1-3].

El material particulado emitido a la atmósfera está constituido por partículas de gran tamaño que sedimentan rápidamente y por otras que permanecen en suspensión por periodos prolongados de tiempo, *partículas suspendidas totales (PST)*. Dentro de éstas, pueden distinguirse las *partículas no inhalables* y las *partículas inhalables (PM10)*. Las primeras son emitidas como producto de procesos físicos (trituration, molienda) y residuos de procesos de combustión incompleta. Las partículas inhalables (cuyo diámetro es inferior a $10 \mu\text{m}$) [4], representan un grave problema de contaminación: afectan la visibilidad y existen estudios epidemiológicos a largo plazo que demuestran la posibilidad de efectos adversos, ya que estas partículas pueden penetrar profundamente en el sistema respiratorio afectando la salud [5]. Su control se dificulta porque pueden ser transportadas a grandes distancias de las fuentes de origen y están sometidas a cambios constantes de tamaño en la atmósfera debido a los procesos de nucleación coagulación y condensación [6-8].

Debido a la importancia que tiene el controlar los niveles de partículas suspendidas en la atmósfera, muchos países han adoptado normas para establecer patrones de calidad de aire en función del material suspendido total [9]. En Venezuela la normativa legal vigente está contenida en las "Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica" [10] la cual establece límites máximos de concentración

de partículas suspendidas totales (PST) aceptables para proteger la salud y el ambiente y el porcentaje de excedencia en el lapso de muestreo. Esta norma no es específica para un determinado intervalo de tamaño, por lo tanto, para comparar las concentraciones de partículas inhalables (PM10) se considera el estándar de calidad de aire establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) que se aplica solamente a partículas menores de $10 \mu\text{m}$ (PM10).

La finalidad del presente trabajo es realizar un estudio preliminar comparativo de los niveles ambientales de PST y PM10 en la ciudad de Cabimas.

Parte Experimental

Ubicación de los sitios de muestreo

Con la finalidad de efectuar un estudio preliminar de los niveles de material particulado en una zona de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, se seleccionó la ciudad de Cabimas la cual se encuentra ubicada geográficamente en la costa nor-oriental del Lago de Maracaibo en el estado Zulia entre las siguientes coordenadas: $10^\circ 20' 15''$ - $10^\circ 27' 05''$ latitud norte y $71^\circ 28' 37''$ - $71^\circ 24' 05''$ longitud oeste. El clima es seco y caliente en la zona norte costera y húmedo y caliente en la zona sur, estando influenciado por los vientos alisios provenientes del nor-este y los vientos locales.

El sistema hídrico es marcadamente estacional, con un período seco (Diciembre-Abril) y otro lluvioso (Mayo-Noviembre). Como resultado de treinta (30) años de recolección de datos en las estaciones meteorológicas de Maracaibo y La Cañada, (ubicada en el Km 10 de la carretera a La Cañada), se han obtenido los siguientes valores promedio de algunos parámetros meteorológicos que sirven de referencia para la zona norte

de la Cuenca del Lago de Maracaibo: temperatura promedio, 27,8°C; humedad relativa, 76%; insolación, 7,5 horas; radiación solar, 412 cal cm⁻² día⁻¹; velocidad de viento, 12,3 Km/h; precipitación anual, 564 mm.

En la ciudad de Cabimas se desarrolla una intensa actividad relacionada con la industria petrolera: se encuentran patios de tanques (La Salina), alrededor de 300 balancines, estaciones de bombeo y control, además de otro tipo de empresas que sirven de apoyo a la industria petrolera (constructoras y contratistas).

La selección de los sitios de monitoreo para la determinación de material particulado atmosférico en la ciudad de Cabimas se realizó tomando en consideración diversos factores, tales como la dirección de los vientos, actividad comercial e industrial, además de las consideraciones establecidas en la Norma COVENIN para la determinación de partículas suspendidas en la atmósfera (PST) [11].

Para la realización del proyecto se dispuso de dos muestreadores de PST y dos de PM10, lo que limitó a dos el número para hacer monitoreos simultáneos. Ambos sitios fueron localizados en la zona urbana de la ciudad: Sitio A (Edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia (LUZ), ubicado en la Av. Miraflores con la carretera H) y el sitio B (Edificio del Instituto de Previsión y Asistencia Social del Ministerio de Educación, IPASME, ubicado en la urbanización Buena Vista) (Figura 1). Esta zona se encuentra influenciada por actividades locales como tráfico automotor, actividades petroleras, además de emisiones fugitivas.

Recolección de las muestras

La recolección de las muestras se realizó utilizando muestreadores de aire de alto volumen (Sierra Instruments hi-vol air samplers) equipados con filtros de fibra de vidrio como medio de recolección de las partículas suspendidas totales (PST) y muestreadores de particu-

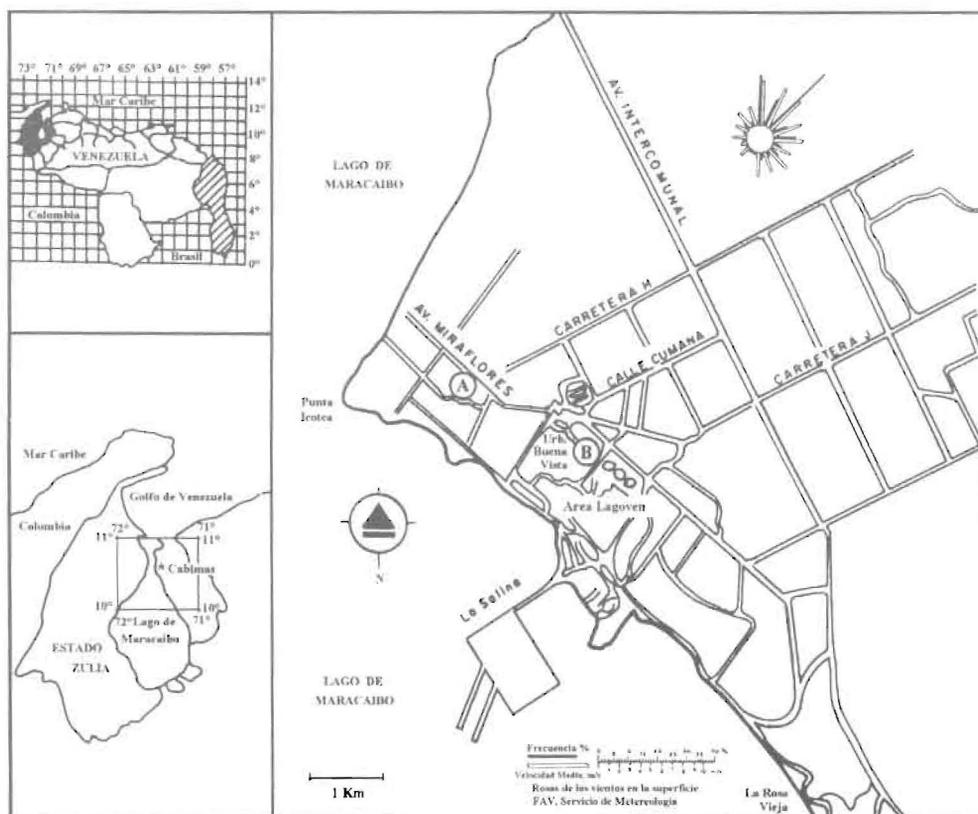


Figura 1. Mapa de Cabimas que presenta la ubicación de los sitios de muestreo: A (LUZ) y B (IPASME).

las inhalables de alto volumen (Andersen/GMW PM10 hi-vol air samplers) equipados con filtros de cuarzo como medio de recolección de partículas inhalables. Ambos equipos poseen controlador automático de flujo constante y fueron calibrados a una velocidad de flujo óptima de 40 pies cúbicos por minuto, utilizando un calibrador de orificio (Sierra Instruments).

Durante el año 1994 se monitorearon los niveles de material particulado simultáneamente en dos sitios mediante una programación semanal: los muestreadores de PST y PM10 fueron operados dos veces por semana durante 24 horas siguiendo las recomendaciones de la normativa legal para estudios que se realicen en un lapso menor de seis (6) meses [10]. En el lapso de muestreo se recolectaron 64 muestras de PST (32 muestras en los meses de sequía Marzo-Abril y 32 muestras durante los meses de lluvia, Mayo-Julio) y 52 muestras de PM10 (20 muestras en la estación de sequía y 32 en la estación lluviosa). Los muestreadores se instalaron a una altura de aproximadamente 15 m con la finalidad de evitar la colección de polvo proveniente del suelo.

Procedimiento

Los niveles de material particulado presentes en las PST y las PM10 fueron determinados usando el método gravimétrico recomendado por

COVENIN y la US-EPA [11,12], el cual consiste en pesar los sustratos de colección antes y después del muestreo de partículas, utilizando una balanza analítica de precisión. La masa total de las partículas recolectadas en función del volumen de aire muestreado, permite calcular las concentraciones de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas inhalables (PM10), expresadas como microgramos de partículas por metro cúbico de aire muestreado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La manipulación de los sustratos se redujo al mínimo empleando cartuchos para su transporte. Los sustratos fueron pesados empleando una balanza analítica bajo condiciones estables de temperatura y humedad relativa. Previo a la pesada, los sustratos limpios y muestreados fueron ambientados durante 48 horas.

Resultados y Discusión

Niveles de partículas suspendidas totales (PST)

Los valores promedio de PST mostrados en la Tabla 1 reflejan las condiciones de las estaciones de monitoreo en cuanto al ambiente físico de las mismas y las actividades que se desarrollan a su alrededor. Ambas estaciones se encuentran ubicadas en el área urbana de la ciudad, caracterizada por tener pocas zonas de terreno descu-

Tabla 1
Concentraciones promedio de partículas suspendidas totales PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
en los sitios de muestreo

Estación (meses)	Estadística	Sitio A (LUZ)	Sitio B (IPASME)
Seca (Marzo-Abril)	X	103,10	134,30
	S	24,49	38,41
	Límites	159,35-68,42	202,16-87,20
	N=32	16	16
Lluvia (Mayo-Julio)	X	111,70	107,12
	S	44,25	38,56
	Límites	197,18-42,02	212,02-56,41
	N=32	16	16
Promedio general	X	107,40	120,76
	S	35,45	40,32
	N=64	32	32
Promedio general ponderado	113 ± 38		

X: promedio aritmético, S: desviación estándar de los resultados, Límites: valor máximo y valor mínimo, N: número de muestras.

Tabla 2
Estándares de calidad de aire para material particulado establecidos en diversos países

País	Contaminante	Límite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencia en el lapso de muestreo	Periodo de medición
Venezuela (Mayo 1995)	PST	75	50%	24 horas
		150	5%	
		200	2%	
		260	0.5%	
Estados Unidos (Abril 1987)	PM10	Estándar primario:		24 horas
		150		Promedio arit. anual
		50		
		Estándar secundario:		24 horas
		150		Promedio arit. anual
		50		
Chile	PST	75		24 horas
		150		
		200		
		260		
Brasil	PST	80		Promedio anual
Japón	PST	100		24 horas
Canadá	PST	60		Promedio anual

biertas, vías de comunicación pavimentadas y tráfico automotor moderado.

Se observa que los niveles de PST se distribuyen en un intervalo de concentraciones relativamente amplio, como lo evidencia la desviación estándar de los resultados.

El valor de PST más alto se registró en el sitio B (202,16 y 212,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación seca y lluviosa respectivamente). La ubicación de este sitio al suroeste de la ciudad, cercano a las instalaciones petroleras, permite suponer que el incremento en las concentraciones de PST se debe a partículas provenientes de las actividades que ahí se desarrollan (incendios en los balancines, tráfico de vehículos de carga, etc.).

Al comparar los valores de concentración promedio de PST en ambos sitios, se observa que en el sitio A el valor es mayor durante el período lluvioso que en el período seco. Al analizar los valores diarios, se observa que el sitio B presenta valores de concentración altos durante todo el período muestreado, dando como resultado promedios altos en ambas estaciones. Sin embargo, el sitio A presentó los valores esporádicos más altos durante la estación lluviosa, producidas

probablemente por actividades de construcción en un área cercana al sitio de muestreo.

En la Tabla 2 se muestran los estándares de calidad de aire para material particulado establecidos para Venezuela y otros países [9,10,13].

En la Tabla 3 y la Figura 2 se comparan las concentraciones diarias de PST en cada sitio durante las dos estaciones anuales (seca y lluviosa) con los límites de excedencia máximos establecidos para Venezuela [10]. Como se puede observar, el 81% (sitio A) y el 97% (sitio B) del total de muestras tomadas sobrepasan el valor límite de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido en la normativa legal. Estos porcentajes están por encima del límite de excedencia máximo de 50% permitido para Venezuela. También se sobrepasa el límite máximo de excedencia para 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5%) y para 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2%), siendo el sitio B el que más se excede. Este sitio se encuentra ubicado en la zona suroeste de la ciudad, más cercana a las instalaciones de la industria petrolera la cual constituye una fuente puntual muy significativa de emisión de partículas a la atmósfera de Cabimas, además de las emisiones de partículas

Tabla 3
Comparación de los niveles de PST con los límites de excedencia máximos establecidos para Venezuela

Sitio	50% $\leq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$	5% $\leq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2% $\leq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Número de muestras
A	81% (26 muestras)	16% (5 muestras)	-	32
B	97% (31 muestras)	22% (7 muestras)	9% (3 muestras)	32
A+B	89% (57 muestras)	19% (12 muestras)	5% (3 muestras)	64

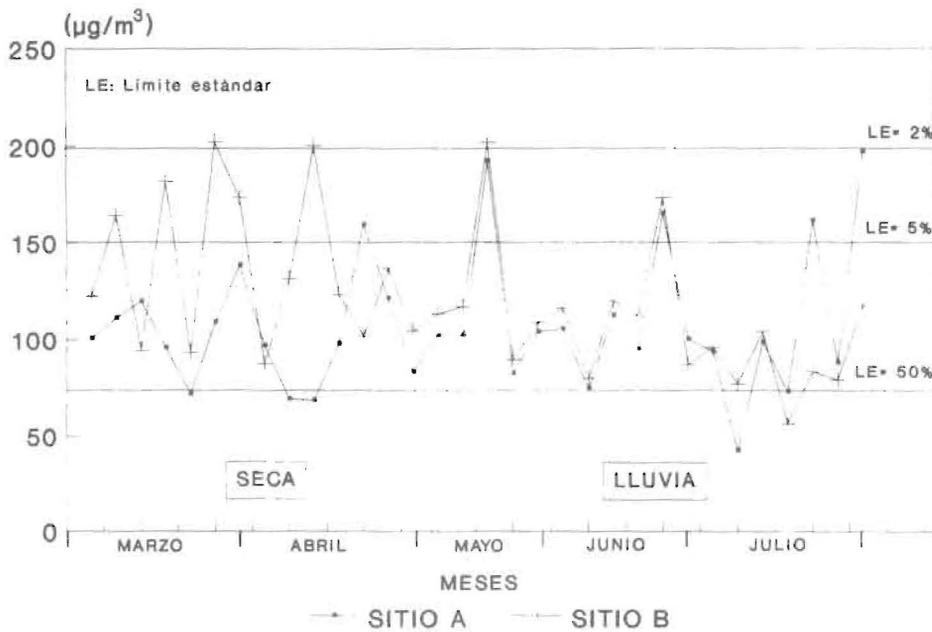


Figura 2. Comparación de las concentraciones diarias de PST con los estándares de calidad de aire.

transportadas por los vientos predominantes del noreste.

Al comparar el promedio ponderado de PST encontrado en la ciudad de Cabimas ($113,27 \pm 38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con el valor encontrado en la ciudad de Maracaibo ($82 \pm 32 \mu\text{g}/\text{m}^3$), se observa que las concentraciones de PST en Cabimas son estadísticamente ($p = 0.05$) más altas que las de Maracaibo [14].

Niveles de Partículas Inhalables (PM10)

Las concentraciones de partículas inhalables se comparan con el estándar norteamericano de calidad de aire PM10 para partículas cuyo

diámetro es menor de 10 micrones, el cual sustituye la legislación original para partículas suspendidas totales [9]. El estándar primario limita las concentraciones diarias de PM10 a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que no debe ser excedido más de una vez al año, y la concentración promedio anual no debe exceder en ningún momento el valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la Tabla 4 se presentan las concentraciones promedio de partículas inhalables en los sitios de muestreo en las dos estaciones: seca y lluviosa. Como se puede observar, los valores promedio de concentración en ambos sitios son más altos en los meses de sequía que en los meses de lluvia, lo que se justifica por el meca-

Tabla 4
Concentraciones promedio de partículas inhalables ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los sitios de muestreo

Estación (meses)	Estadística	Sitio A (LUZ)	Sitio B (IPASME)
Seca (Marzo-Abril)	X	76,55	87,61
	S	17,63	19,47
	Límites	110,80-56,62	120,30-54,82
	N=20	10	10
Lluvia (Mayo-Julio)	X	51,29	47,93
	S	21,62	18,66
	Límites	102,64-19,10	99,98-25,96
	N=32	16	16
Promedio general	X	61,01	63,19
	S	23,44	27,07
	N=52	26	26

X: promedio aritmético, S: desviación estándar de los resultados, Límites: valor máximo y valor mínimo, N: número de muestras.

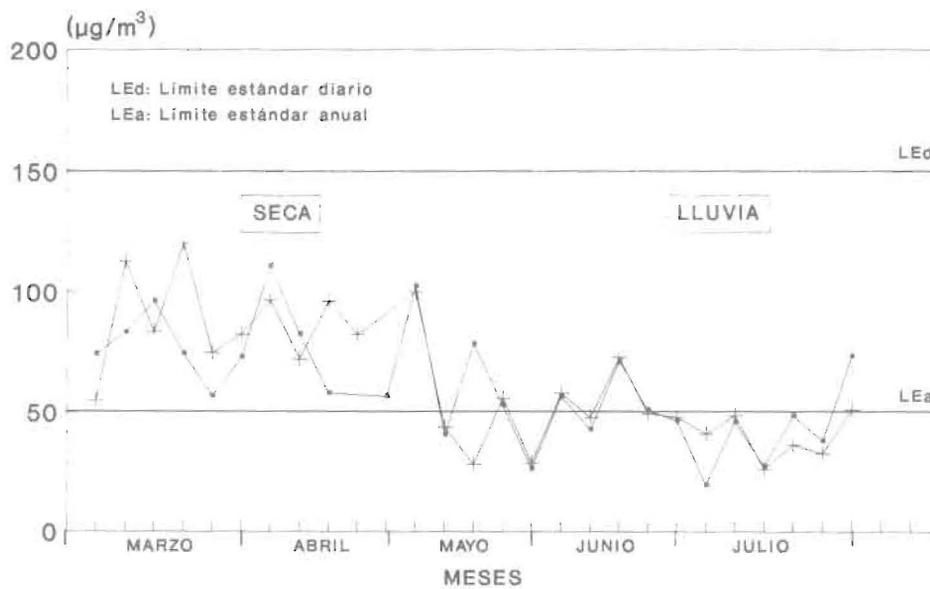


Figura 3. Comparación de las concentraciones diarias de PM10 con el estándar de calidad de aire norteamericano (US-EPA).

nismo de remoción y lavado de la atmósfera por efecto de la lluvia.

En la Figura 3 se muestran las concentraciones diarias de partículas inhalables y se comparan con el estándar diario norteamericano para PM10 ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se observa que ninguno de los días muestreados sobrepasa el valor límite establecido durante el lapso de muestreo.

El promedio anual ponderado de partículas inhalables en el área urbana de la ciudad de

Cabimas es de $63,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que sobrepasa el estándar norteamericano PM10 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Relación entre PST y PM10

Las partículas suspendidas totales están constituidas en un alto porcentaje por partículas inhalables. Una forma de considerar la proporción de concentraciones de PM10 y PST es enfocar el cociente PM10/PST como una función de la fracción inhalable. Este cociente depende de

la distribución de tamaño de las partículas. En el presente estudio se encontró un cociente $(PM_{10}/PST)_{\text{sitio A}} = 0,56$ y un valor $(PM_{10}/PST)_{\text{sitio B}} = 0,52$, lo cual indica que más de la mitad del material particulado total corresponde a la fracción de partículas inhalables.

En las Figuras 4 y 5 se grafican la concentraciones de PST y PM10 tomadas simultánea-

mente en cada sitio durante 24 muestreos. El coeficiente de correlación (calculado asumiendo una correlación lineal entre PST y PM10), determinado para el sitio A es de $r = 0,89$ y en el sitio B es de $r = 0,79$, ambos con un nivel de significación de $p < 0,01$. Esto permite sugerir que ambos sitios están influenciados por una fuente común de partículas, pudiendo ser ésta, el parque au-

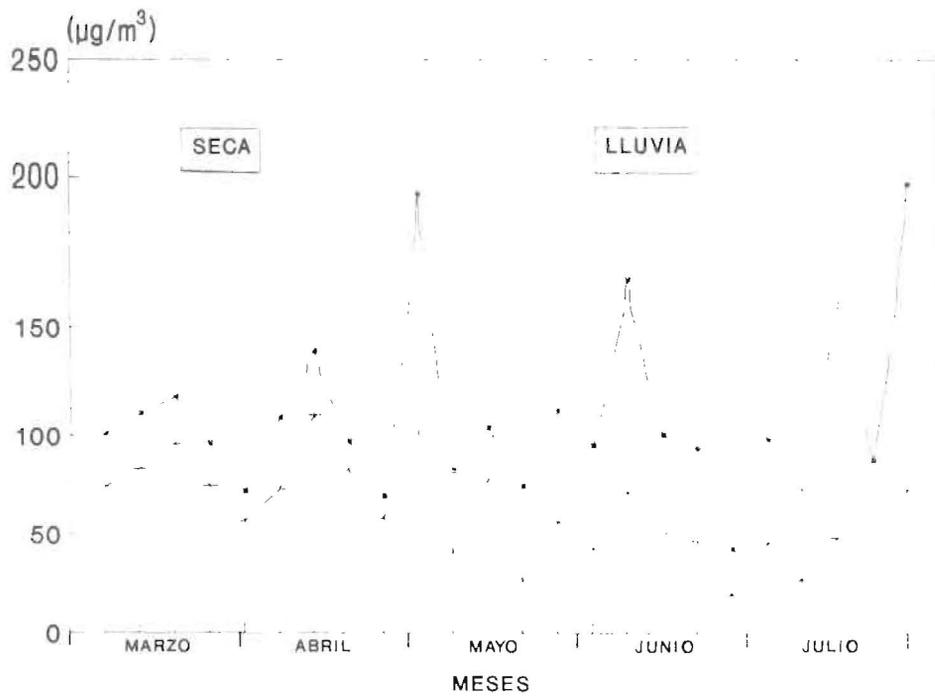


Figura 4. Concentraciones diarias de PST y PM10 en el sitio A.

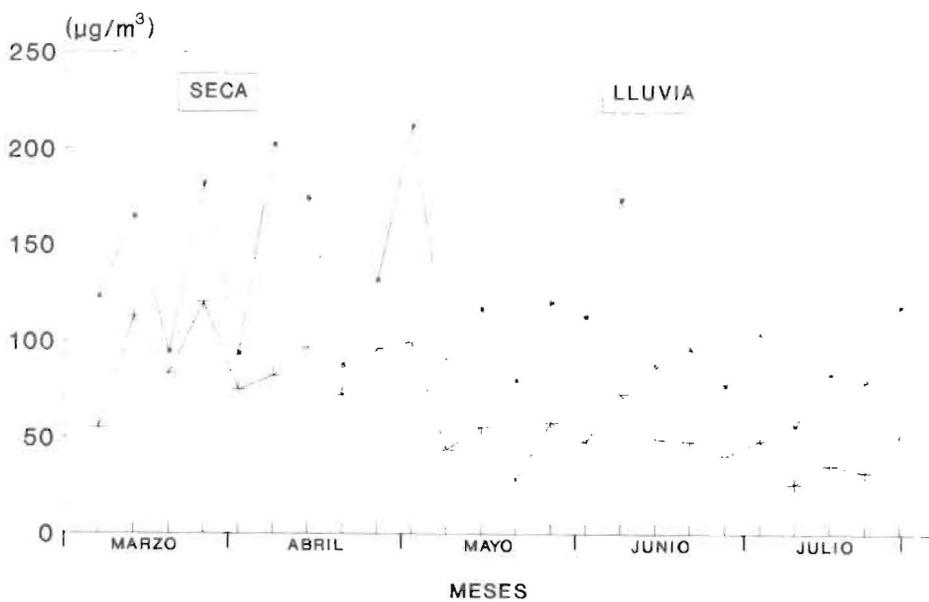


Figura 5. Concentraciones diarias de PST y PM10 en el sitio B.

tomotor y actividades relacionadas con la industria petrolera.

Tomando en consideración que ambas fuentes aumentan a la par del desarrollo industrial de la zona, es posible suponer que, de no ser tomadas medidas de control de emisiones, los niveles de concentración de partículas se incrementarán progresivamente, constituyéndose en un riesgo para la salud de la población.

Conclusiones

1. Los niveles de concentración de las partículas suspendidas totales en el área urbana de Cabimas sobrepasan el estándar promedio anual de calidad de aire y los porcentajes máximos de excedencia establecidos para Venezuela en la normativa legal vigente.

2. De la totalidad de la masa de PST, el 55% corresponden a partículas inhalables, que son las que pueden penetrar en el sistema respiratorio afectando la salud.

3. Los niveles totales de concentración de partículas inhalables, PM10, sobrepasan el estándar anual norteamericano ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que el estándar diario ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no fue excedido ni una sola vez.

Por estas razones se puede considerar que el aire del área urbana de la ciudad de Cabimas se encuentra contaminada por partículas suspendidas totales. Debido a que el efecto que estas partículas pueden tener sobre la salud depende del tamaño de las mismas, y que más de la mitad (55%) de las PST corresponden a PM10, es posible suponer que los niveles de concentración de PM10 constituyen un riesgo para la salud.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES-LUZ) por el financiamiento del presente proyecto.

Referencias bibliográficas

- Williamson, S. J.: *Fundamentals of air pollution*. Addison-Wesley Publishing Co. New York, 1973.
- Godish, T.: *Air Quality*. 2a. edición. Lewis Publishers, Inc., Michigan, 1982.
- Abbey, D.E., Euler, G.L., Moore, J.K., Petersen, F.: *Applications of a method for setting air quality standards based on epidemiological data*. JAPCA, Vol. 39, No. 4, (1989) 437-445.
- Hilleman, B.: *Particulate matter: the inhalable variety*. Environmental Science and Technology, Vol. 15, No. 9 (1981) 983-986.
- "Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter", Office of air quality planning and standards, U.S Environmental Protection Agency, 1982; "Proposed revisions to national ambient air quality standards for particulate matter to control particles 10 micrometers or less". Federal Register Vol. 40: 10408 (1984).
- Theodore, L., Buonicore, A. J.: *Industrial air pollution control equipment for particulates*. CRC Press, Ohio, 1978.
- Schroeder, W. J., Lane, D.: *The fate of toxic airborne pollutants*. Environ. Sci. and Technol. Vol 22, No. 3 (1988) 240-246.
- Lioy, P.J., Daisey, J. M.: *Airborne toxic elements and organic substances*. Environ. Sci. and Technol., Vol. 22 No. 1 (1986) 8-14.
- U. S. Environmental Protection Agency: *National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter*. Federal Register, Vol. 52 (1987).
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela: *Normas sobre calidad de aire y control de la contaminación atmosférica*. Decreto No. 4.899, mayo de 1995.
- Norma Venezolana COVENIN: *Determinación de la concentración de partículas totales suspendidas en la atmósfera (PST)* No. 2060-83, 1983.
- U. S. Environmental Protection Agency: *National Ambient Air Quality Measurement Methodology*. Code of Federal Regulations 40 CFR Part 50. Reference Method for the determination of suspended particulate in the atmosphere (High-volume method), 1983.

13. Romo-Kroger, C. M.: Elemental analysis of airborne particulates in Chile. *Environmental Pollution*, Vol. 68, 161-170, 1990.
14. Morales, J., Sosa de B., B., González de N., M., Velázquez, H., Chirinos, M., Vacca, V.: Estudio sobre los niveles de partículas suspendidas totales en la ciudad de Maracaibo. *Rev. Téc. Universidad del Zulia* Vol. 18, No. 1 (1995).

Recibido el 30 de Mayo de 1995

En forma revisada el 17 de Septiembre de 1996