

Estudio sobre los niveles de concentración de partículas inhalables (PM10) en la atmósfera de la ciudad de Maracaibo, Venezuela

Marlene González de N., José Morales, Beatriz Sosa de B., Harvi Velásquez, Rixio Reyes y Mervin Briceño*

Laboratorio de Química Ambiental, Departamento de Química, Facultad Experimental de Ciencias, La Universidad del Zulia, Apartado postal 4011, Maracaibo, Venezuela.

Recibido: 27-04-98 Aceptado: 23-01-2001

Resumen

Se ha demostrado que las partículas inhalables (PM10) 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. En el presente trabajo se determinan los niveles de concentración de partículas inhalables (PM10) en dos sitios de la ciudad de Maracaibo, ubicados en la zona norte (Edificio Régulo Pachano Añez de Biología, Universidad del Zulia) y zona sur (Escuela de Policía, San Francisco). En el lapso de estudio se han recolectado 56 muestras, empleando muestreadores de aire de alto volumen para partículas inhalables equipados con controlador automático de flujo constante. El contenido de masa de partículas PM10 se determinó utilizando el método gravimétrico establecido por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (US-EPA). El promedio ponderado de partículas PM10 en la zona norte fue de $43 \pm 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en la zona sur fue de $34 \pm 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los niveles de concentración promedio de partículas inhalables en los dos sitios de muestreo no sobrepasan el estándar anual norteamericano de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y ninguno de los valores excede el estándar diario ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se concluye que el aire de la ciudad de Maracaibo no se encuentra contaminado por partículas inhalables a niveles perjudiciales para la salud.

Palabras clave: Contaminación atmosférica; partículas atmosféricas; partículas inhalables; PM10.

A study of the levels of inhalable particles (PM10) in the atmosphere of Maracaibo city, Venezuela

Abstract

It is well known that inhalable atmospheric particles (PM10) are very important air pollutants: they affect the visibility and epidemiological studies have indicated their adverse affects, because these particles can penetrate the respiratory system. In the present study, the levels of PM10 concentrations were determined at two different sites of city Maracaibo: in the northern (Edificio Régulo Pachano Añez de Biología, Universidad del Zulia) and southern (Escuela de Po-

* Autor para la correspondencia. E-mail: marlene@luna.ciens.luz.ve

licia, San Francisco). During the sampling period, 56 samples were collected using Hi-volume inhalable particle samplers collectors with automatic flow control. The mass content of PM10 was determined using the gravimetric method established by the U.S. Environmental Protection Agency. The overall average of PM10 particles in the northern area was $43 \pm 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and in the southern area $34 \pm 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The Average concentrations of PM10 do not exceed the annual standard ($50 \text{ g}/\text{m}^3$) and none of the daily concentrations exceeds the daily standard ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). It is conclude that the air of Maracaibo city is not polluted by inhalable particles at levels that can affect human health.

Key words: Atmospheric contamination; atmospheric particles; inhalable particles; PM10.

Introducción

Los contaminantes del aire son sustancias que, cuando están presentes en la atmósfera, en cantidad y periodos de permanencia suficientes, son capaces de modificar sus constituyentes naturales, alterando sus propiedades físicas o químicas; asimismo, pueden ser perjudiciales a la salud de las personas reflejándose en enfermedades agudas pudiendo incluso ser mortales, aumento de enfermedades crónicas, alteración de importantes funciones fisiológicas (ventilación pulmonar, transporte de oxígeno en la sangre) e irritaciones sensoriales. Tanto la flora como la fauna y los materiales usados para la construcción o cualquier otra actividad industrial, comercial y el transporte, se ven afectados por este tipo de contaminación; en general pueden interferir en la calidad de la vida, constituyendo no solo un problema de los países industrializados sino también un problema creciente en urbes de países en vías de desarrollo (1, 5)

Los contaminantes atmosféricos se caracterizan por ser de naturaleza gaseosa o particulada. El material particulado emitido a la atmósfera esta constituido por partículas de gran tamaño que sedimentan rápidamente y otras que permanecen en suspensión por periodos prolongados de tiempo, partículas suspendidas totales (PST). Las partículas suspendidas constituyen una fracción importante del aerosol atmosférico, y su importancia radica en el impacto que puedan tener sobre la salud y el ambiente y

en su uso como indicadores químicos de contaminación.

Las partículas suspendidas totales comprenden la fracción no inhalable y la fracción inhalable. Las partículas no inhalables son emitidas como producto de procesos físicos (trititación, molienda) y residuos de combustión incompleta; se depositan con relativa facilidad y son menos perjudiciales para la salud que los gases y las partículas pequeñas.

Las partículas inhalables (cuyo diámetro es inferior a $10 \mu\text{m}$) (6), son producidas por emisiones industriales, procesos de combustión o transformación atmosférica de gases o partículas. Consisten principalmente de iones sulfato, nitrato, amonio, plomo, materia orgánica y algunos metales traza como zinc, cobre, níquel, manganeso, cadmio y vanadio. Las partículas inhalables representan un grave problema de contaminación, ya que afectan la visibilidad y pueden penetrar profundamente en el sistema respiratorio afectando la salud (7). 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 (8, 9).

Debido a la importancia de controlar los niveles de partículas suspendidas en la atmósfera se han adoptado normas, las cuales establecen patrones de calidad de aire para este parámetro (10, 11). La magnitud

de los daños ocasionados por cada contaminante, en función de la exposición a diversas concentraciones, ha sido la base de los estándares de calidad de aire establecidos por los diferentes países del mundo. En Venezuela la normativa legal vigente está contenida en las "Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica" (12), la cual establece límites permisibles de calidad de aire para partículas suspendidas totales (PST) de 75, 150, 200 y 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los cuales no deben excederse en más de un 50, 5, 2 y 0,5 % respectivamente, del total de muestras captadas durante un periodo de muestreo de 24 horas, aceptables para proteger la salud y el ambiente. 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 μm (PM10).

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar un estudio preliminar de los niveles de partículas inhalables (PM10) emitidas a la atmósfera en la ciudad de Maracaibo, Venezuela.

Materiales y Métodos

Ubicación de los sitios de muestreo

La ciudad de Maracaibo es la capital del Estado Zulia, se encuentra ubicada en la parte occidental del Estrecho de Maracaibo y al suroeste del complejo petroquímico "El Tablazo" entre las coordenadas geográficas 10° 34' 00" de latitud norte y 71° 56' 00" de longitud oeste. Su extensión es de 557 Km^2 , lo cual representa el 1,11% del territorio del Estado Zulia. Su clima es semiárido, influenciado por la cuenca y la dirección predominante de los vientos es noreste (13).

El sistema hidrico es marcadamente estacional con un periodo seco (Diciembre-

Abril) y otro lluvioso (Mayo-Noviembre). Como resultado de un año (1996) de recolección de muestras en la estación meteorológica La Cañada (ubicada en el km 10 de la carretera La Cañada) se han obtenido los siguientes valores promedio de algunos parámetros meteorológicos que sirven de referencia para el análisis de la relación con la concentración de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Maracaibo: temperatura promedio: 28,5°C, humedad relativa: 78%, velocidad del viento: 2.04 m/seg., precipitación anual: 501,7 mm, dirección prevalente del viento: noreste (14).

En esta ciudad existen industrias con diferentes actividades económicas (petroleras, cementeras, plantas termoeléctricas); así como un complejo petroquímico en "El Tablazo", en la margen nororiental del estrecho, el cual debido a las características de sus procesos industriales y a su ubicación geográfica, pudiera afectar la calidad del aire de esta ciudad, además de la influencia del parque automotor, incineradores instalados en hospitales y edificios residenciales carentes en muchos casos de sistemas de control.

La selección de los sitios de monitoreo para la determinación del material particulado atmosférico inhalable (PM10) en la ciudad de Maracaibo se realizó tomando en cuenta diversos factores tales como: la dirección de los vientos, la actividad comercial e industrial, el tráfico automotor, además de las consideraciones establecidas en las normas COVENIN, las normas técnicas para el control de la contaminación atmosférica, la densidad demográfica y el desarrollo de zonificación predominante.

Para la realización del proyecto se dispuso de dos muestreadores de PM10, lo que limitó el número de sitios de monitoreo a dos, permitiendo realizar el estudio en la zona norte (Edificio de Biología Universidad del Zulia. Grano de Oro) y zona sur (Escuela de Policía, Municipio San Francisco) Figura 1.

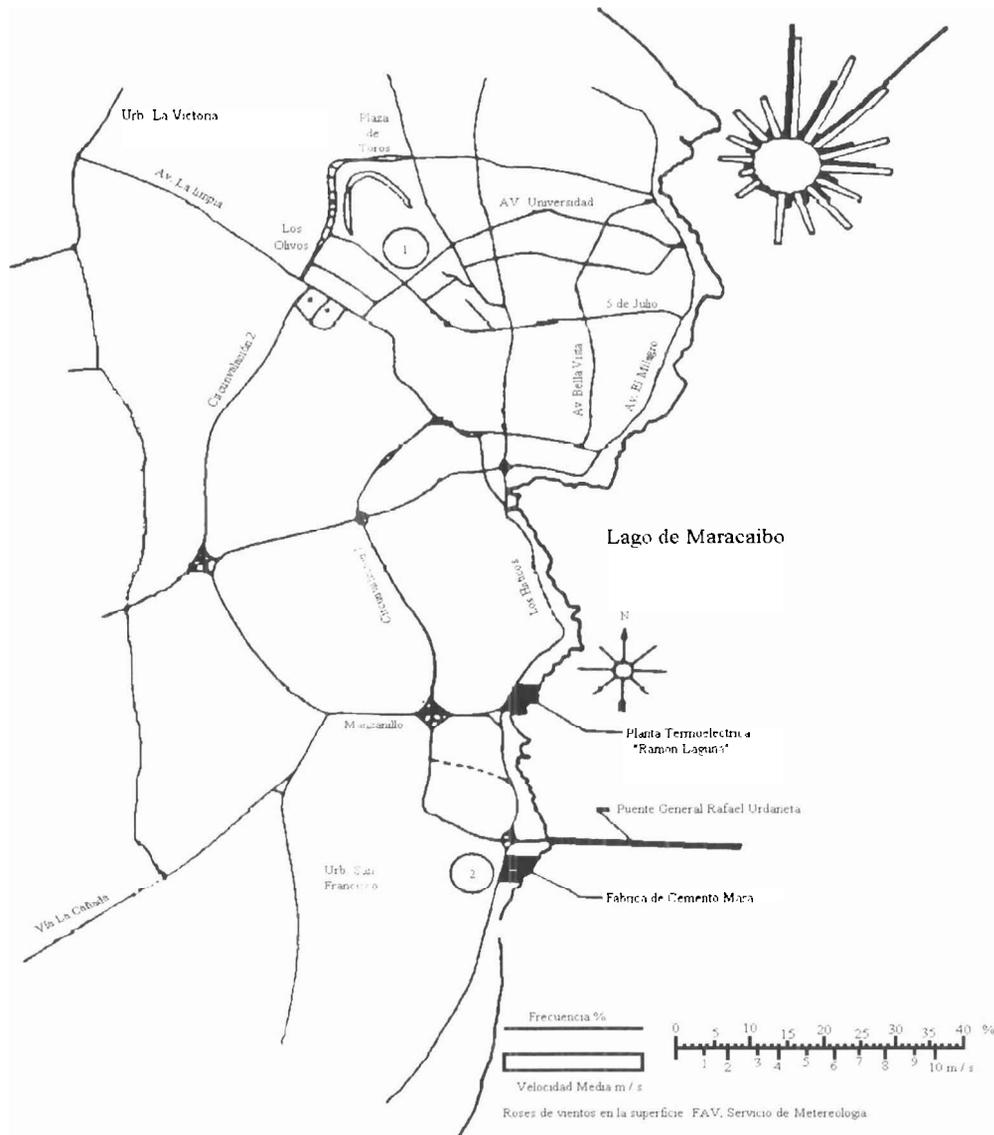


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo.

Metodología

La recolección de las muestras se realizó utilizando dos muestreadores de partículas inhalables de alto volumen (GRASEBY/GMW PM10 Hi Vol Air samplers) equipados con filtros de cuarzo, como medio de recolección de partículas inhalable; y con controlador automático de flujo constante (Figura 2). Los equipos fueron calibrados a una velocidad de flujo óptima de 40 pies cúbicos

por minuto utilizando un calibrador de orificio (Sierra Instruments, Mod. 333).

Se estableció un programa de muestreo simultáneo en los dos sitios, con un tiempo de recolección de 24 horas siguiendo las recomendaciones de la normativa legal para estudios que se realicen en un lapso menor de seis meses (12). En el período de muestreo se recolectaron 28 muestras, representativas de los meses de sequía y me-

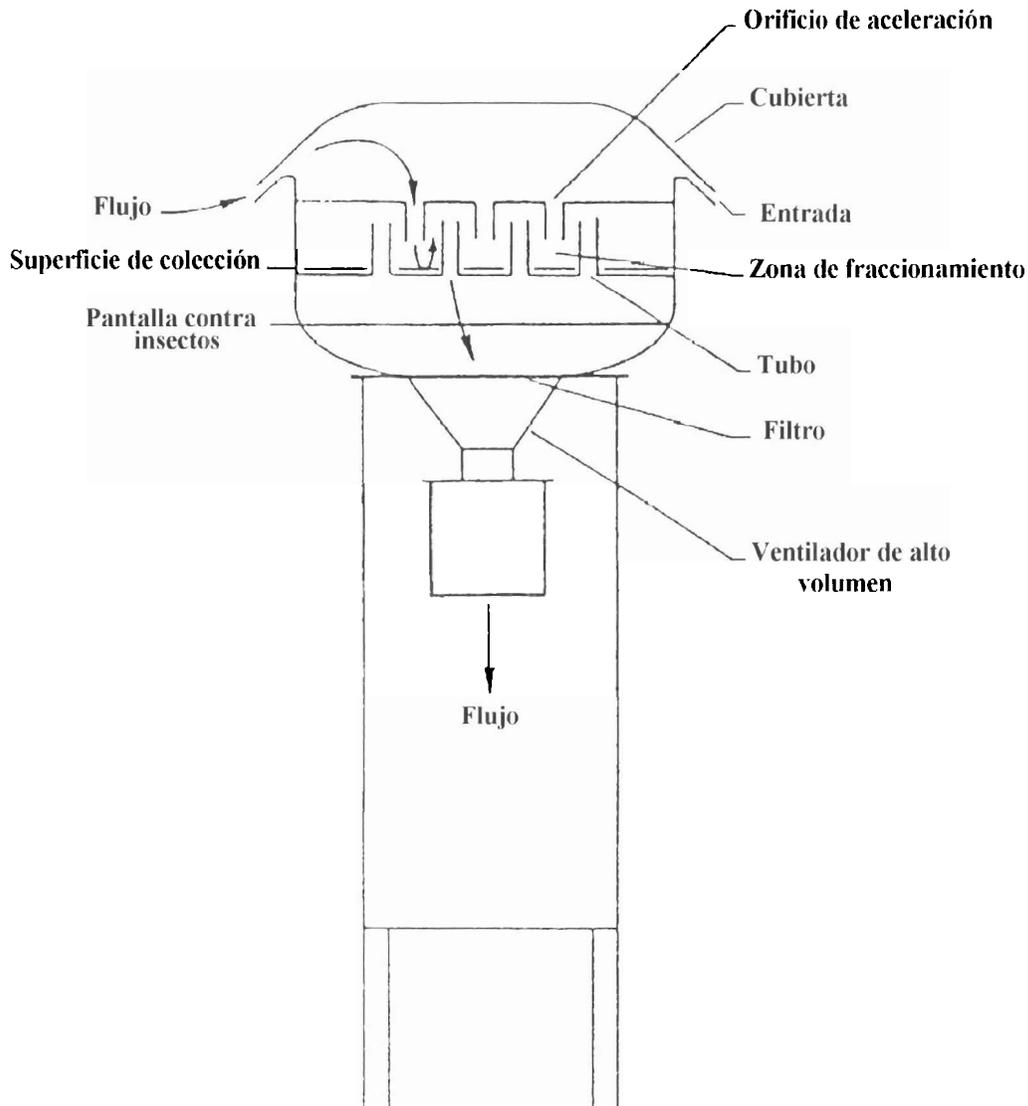


Figura 2. Muestreador de partículas inhalables de alto volumen.

ses de lluvia en la zona norte (Municipio Maracaibo) y zona sur (Municipio, San Francisco) respectivamente, para un total de 56 muestras.

Los muestreadores se instalaron a una altura aproximada de 15 m con la finalidad de evitar la colección de polvo proveniente del suelo.

Procedimiento

Los niveles de partículas presentes en las PM₁₀ fueron determinados por el método

gravimétrico recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (Environmental Protection Agency, US-EPA) y COVENIN (15, 16), el cual consiste en pesar los sustratos de colección antes y después de la recolección de las partículas, utilizando una balanza analítica de precisión. Su concentración en el aire, expresada como microgramos de partículas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), se calculó en base a la masa recolectada y al volumen de aire muestreado.

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

Épocas	Estadística	Municipio Maracaibo	Municipio San Francisco
		Zona Norte	Zona Sur
Sequía	X	44 ± 19	35 ± 18
	Límites	82 - 10	84 - 20
	n	11	11
Lluvia	X	43 ± 18	34 ± 8
	Límites	85 - 15	50 - 17
	n	17	17
	P	0.83	0.94
Zona metropolitana de Maracaibo			
Promedio	X	43 ± 18	34 ± 12
Ponderado	n	28	28
	P	0.03	

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

Más del 40% del material particulado total (PST) de la zona norte (Municipio Maracaibo) y zona sur (Municipio, San Francisco) corresponde a la fracción de partículas inhalables.

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 (7). 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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Durante el período muestreado no se encontró evidencia de variación estacional

de los resultados de concentraciones de PM10. La Tabla 1 presenta las concentraciones promedio de PM10 en los sitios de muestreo durante los meses de sequía y lluvia. Al comparar los valores en las épocas de sequía y de lluvia, se puede observar que los promedios ponderados de concentración de las PM10 no presentan diferencias significativas ($p > 0,05$), lo cual puede atribuirse a la baja pluviosidad registrada durante los meses de la época húmeda, según datos climatológicos de la ciudad de Maracaibo para el año 1996.

Los resultados revelan que existe una variación espacial de las concentraciones de PM10. El estudio comparativo entre las localidades estudiadas (norte y sur) evidencia diferencias significativas ($p < 0,05$), encontrándose el mayor valor promedio en la zona norte, lo cual confirma la influencia de las fuentes contaminantes puntuales existentes en la zona (complejo petroquímico El Tablazo, refinerías de Amuay y Aruba-Curaçao).

Estudios anteriores realizados en la ciudad de Maracaibo (17), han demostrado que los niveles de concentración de los iones sulfato, nitrato y amonio son mucho más altos que los observados en otra región "natu-

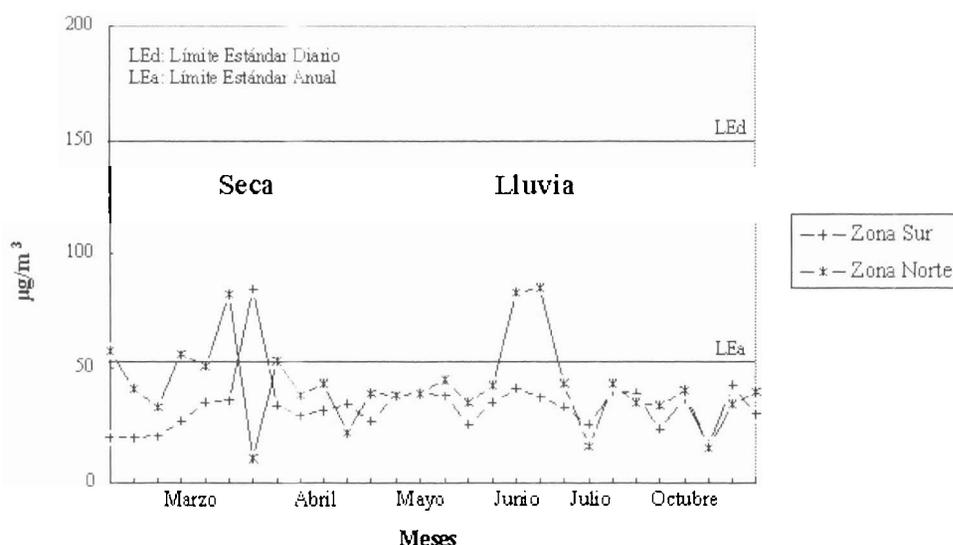


Figura 3. Comparación de las concentraciones diarias de PM10 con el estándar de calidad norteamericano (US-EPA).

ral” de Venezuela; lo cual sugiere que la mayor parte de las partículas inhalables que se encuentran en la atmósfera de la ciudad de Maracaibo son producto de las emisiones industriales de la región relacionadas con la actividad petrolera, así como las emisiones amoniacaes de la planta de fertilizantes que funciona en el complejo petroquímico El Tablazo. Es probable que las emisiones de nitrato provengan de los procesos de combustión de la planta termoeléctrica, de las emisiones de los vehículos automotores, además del posible transporte de las emisiones viento arriba de las refinerías de Amuay y Aruba-Curaçao y la recirculación de polvo.

En la Figura 3 se comparan las concentraciones diarias de las partículas inhalables con el estándar diario norteamericano PM10 ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se observa que ninguno de los días muestreados excede el valor límite establecido durante el lapso de muestreo. Los promedios anuales ponderados de las partículas inhalables, para ambas zonas, no sobrepasan el estándar anual norteamericano ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, los valores promedio encontrados están relativamente cerca al límite estándar razón por la cual se recomienda tomar medidas para el control

de la emisión y/o formación de partículas inhalables en la ciudad de Maracaibo: cumplimiento de las normas respecto al uso de medidas de control de emisiones en las fuentes.

Además de la ciudad de Maracaibo, en la región zuliana sólo se han reportado niveles de partículas inhalables en la ciudad de Cabimas (18). Al comparar estos resultados con los obtenidos en las zonas norte y sur de la ciudad de Maracaibo, se observa que los valores promedio de PM10 en Cabimas son estadísticamente más altos, probablemente debido a la influencia de las instalaciones petroleras cercanas a esta región.

Al comparar los valores de concentración de PST con otras localidades que presentan altos niveles de contaminación, se observa que son semejantes a los reportados para la ciudad de Maracaibo (Figura 4).

Conclusiones

En el Municipio Maracaibo, zona norte, la concentración promedio ponderada de PM10 ($43 \pm 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es significativamente más alta ($p=0,03$) que la concentración promedio ponderada del Municipio San Fran-

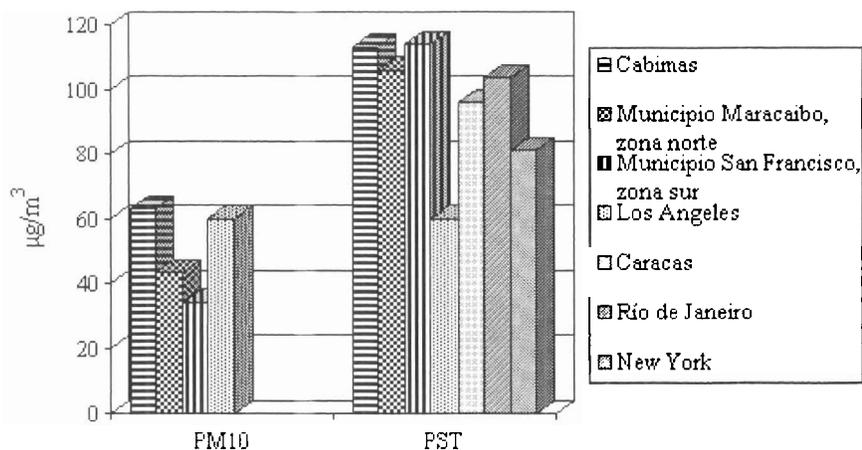


Figura 4. Comparación entre los niveles de PM10 y PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de la ciudad de Maracaibo con otros lugares.

cisco, zona sur ($34 \pm 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$), siendo esta zona la que presenta mayores niveles de contaminación.

De la totalidad de la masa de PST ($106 \mu\text{g}/\text{m}^3$), del Municipio Maracaibo el 41% corresponden a partículas inhalables, que son las que pueden penetrar en el sistema respiratorio afectando la salud.

Los niveles totales de concentración de partículas inhalables, PM10, en las dos zonas no exceden los estándares diario ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de calidad del aire norteamericano. Por esta razón se puede considerar que el aire del área urbana de la ciudad no se encuentra contaminada por partículas inhalables (Figura 3).

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

- SEINFELD J. *Contaminación atmosférica. Fundamentos Físicos y Químicos*, Instituto de Estudios de Administración
- ROSS R.D. *La industria y la contaminación del aire*, Diana, México, pp. 120-134, 1974.
- WILLIAMSON S. J. *Fundamentals of air pollution*, Addison-Wesley Publishing Co, New York (USA), pp. 350-258, 1973.
- GODISH T. *Air Quality*, Lewis Publishers Inc, Michigan (USA), pp. 55-57, 1991.
- ABBEY D. E., EULER G. L., MOORE J. K., PETERSEN, F. *JAPCA* 39 (4): 437-445, 1989.
- HILLEMANN B. *Environ Sci and Tech* 15 (9): 983-986, 1981.
- "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.
- SCHROEDER W. J., LANE D. *Environ Sci and Tech* 22 (3): 240-246, 1988.
- LIOY P. J., DAISEY J. M. *Environ Sci and Tech* 22 (1): 8-14, 1986.
- ISHIZAKI C. H., SANHUEZA E. *Interciencia* 4: 6-9, 1979.

11. MORALES J., BORREGO B., GONZALEZ M., VELÁSQUEZ H., CHIRINOS M., VACCA V. *Rev Téc Ing* 18 (1): 131-141, 1995.
12. **Gaceta Oficial de la República de Venezuela**. Normas sobre calidad de aire y control de la contaminación atmosférica. Decreto No. 638, Caracas (Venezuela), 1995.
13. PARRA G. **La Conservación del Lago de Maracaibo. Diagnóstico Ecológico y Plan Maestro**, Departamento de Protección Integral y Relaciones Públicas de LA-GOVEN S. A., Caracas, (Venezuela), pp. 5-13, 1986.
14. Resumen Climatológico. Fuerza Aérea Venezolana, Servicio de Meteorología, Sistema CLICOM. Estación La Cañada, Maracaibo (Venezuela), 1996.
15. Norma Venezolana COVENIN. Determinación de la concentración de partículas totales suspendidas (PST) en la atmósfera. No. 2060-83, Caracas (Venezuela), 1983.
16. Environmental Protection Agency: National Ambient Air Quality Measurement Methodology. Code Federal Regulations 40 CFR Part 50. Reference Method for the determination of suspended particulate in the atmosphere (High-volume method), USA, 1983.
17. MORALES J., SÁNCHEZ L., BORREGO B., GONZÁLEZ M., VELÁSQUEZ H. *Concentraciones atmosféricas de sulfato, nitrato, cloruro, sodio y calcio, en partículas PM-10 de la ciudad de Maracaibo, Venezuela*. Ier Congreso Iberoamericano de Química Ambiental, Resúmenes. Termas de Jahuel, (Chile), pp. 34, 1997.
18. GONZÁLEZ M., BORREGO B., VELÁSQUEZ H., MORALES J., REYES R. *Rev Téc Ing* 19 (3): 159-168, 1996.