

CONCENTRACIÓN DE LAS PARTÍCULAS TOTALES SUSPENDIDAS EN LA ATMÓSFERA DE CARACAS

NADIA GUAJARDO¹, ARMANDO RAMÍREZ², FRESNEL DÍAZ¹, EVELYN CASTILLO¹, ADRIÁN OTERO¹, JENNIFFER PARRA¹

¹Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección de Calidad de Aire.

Dirección General de Calidad Ambiental. Caracas 1010, Venezuela. e-mail:

²Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias de la Tierra.

Apto 3895. Caracas 1010, Venezuela

Recibido: octubre de 2008

Recibido en forma final revisado: mayo de 2010

RESUMEN

El objetivo del este trabajo fue estudiar la distribución espacial y temporal de la concentración de partículas totales suspendidas (PTS) en las estaciones de calidad del aire de Caracas (Los Ruices, Bello Campo, El Cementerio, La Yaguara, La Trinidad y El Silencio). Las PTS fueron recolectadas con equipos de alto volumen, empleando filtros de fibra de vidrio, captadas cada seis días por un periodo de 24 horas, tal como lo establece la normativa venezolana. La concentración de PTS fue calculada mediante el uso del peso de partículas depositadas en el filtro y el volumen de aire medido (1700-2100 m³). Esta información fue procesada para obtener su distribución y sus valores promedios geométricos mensuales, anuales y para todo el periodo. Los valores de concentraciones de PTS para cada estación mostraron un comportamiento donde los primeros seis meses del año presentan las mayores concentraciones, especialmente marzo y abril. Este comportamiento coincide con los periodos de lluvia (julio-diciembre) y sequía (enero-junio) en la ciudad. Los valores promedio de concentración de PTS para las estaciones El Silencio, El Cementerio, La Yaguara, La Trinidad y Los Ruices fueron 97, 57, 88, 46 y 63 µg/m³, respectivamente para el periodo 1981-1991 y para el periodo 1992-2006 fueron de 71 µg/m³ para El Silencio, 48 µg/m³ para Los Ruices, 45 µg/m³ para Bello Campo y 43 µg/m³ para El Cementerio. Esto muestra una tendencia a disminuir la concentración de PTS a lo largo del periodo muestreado (1981-2006). En este sentido, solo las estaciones de El Silencio y La Yaguara presentaron concentraciones mayores a 75 µg/m³, solamente para el periodo 1981-1991.

Palabras clave: Partículas totales suspendidas (PTS), Caracas, Temporal, Espacial, Correlación, Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

CONCENTRATION OF TOTAL SUSPENDED PARTICLES IN THE CARACAS ATMOSPHERE

ABSTRACT

The aim of the present work was to study the spatial and temporal distribution of the total atmospheric suspended particles (TSP) in the city of Caracas (Los Ruices, Bello Campo, Cementerio, La Yaguara, La Trinidad and El Silencio). The TSP has been collected by using a high volume sampler and glass fiber filter, collected each six days during 24 hours, as has been established by Venezuelan regulations. The concentration of TSP was calculated by dividing the weight of particles deposited on the filter and the volume of air sampled. This information has been processed to obtain its distribution (geometric average) monthly, annually and for the entire period. The value of TSP concentration for each station during the first six months of the year is higher, especially during March and April. The average TSP concentrations for the El Silencio, El Cementerio, La Yaguara, La Trinidad and Los Ruices stations were 97, 57, 88, 46 y 63 µg/m³, respectively for the 1981-1991 period and during 1992-2006 were 71 µg/m³ for El Silencio, 48 µg/m³ for Los Ruices, 45 µg/m³ for Bello Campo and 43 µg/m³ for El Cementerio. These results show that the concentration values of TSP were higher during the 1981-1992 period in comparison with 1992-2006, but El Silencio and La Yaguara were the only stations to exceed TSP value of 75 µg/m³ during 1981-1991.

Keywords: Total suspended particles (TSP), Caracas, Temporal, Spatial, Correlations, Ministry of Environment.

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de emisión de partículas al aire en las áreas urbanas provienen de las actividades domésticas, de transporte, comerciales e industriales. Las emisiones asociadas a dichas fuentes (fijas y móviles) introducen a la atmósfera una variedad de especies químicas entre las cuales están las partículas suspendidas (Sena 2003; Takahashi *et al.* 2008). Las partículas atmosféricas han recibido importante atención principalmente en estudios epidemiológicos, los cuales han mostrado sus efectos adversos sobre la salud (Hwang *et al.* 2008). Diversos estudios muestran la contribución de diversas fuentes (naturales y antrópicas) en la composición de las partículas provenientes de ambientes urbanos (Byrd *et al.* 2010, Contini *et al.* 2010), así como también muestran un comportamiento estacional (Contini *et al.* 2010; Chrysikou y Samara 2009). La calidad del aire ha sido estudiada en Venezuela desde la década de los 70, especialmente en términos de los niveles de concentración de partículas totales suspendidas (PTS) en la ciudad de Caracas (Cáceres 1974, Sanhueza *et al.* 1979, Lara *et al.* 1984). El Ministerio del Ambiente inició en la década del 80, la evaluación de calidad del aire para conocer los niveles de concentración de contaminantes presentes en este componente ambiental debido al impacto generado por el parque automotor. A lo largo de esta evaluación, ha sido monitoreada la evolución de partículas totales suspendidas (MARN 1982-1990). El objetivo del presente trabajo es estudiar la distribución espacial y temporal de la concentración de PTS en seis estaciones de calidad de aire ubicadas en la ciudad de Caracas.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio esta ubicada en la ciudad de Caracas, la cual abarca una superficie de 2.050 km². Disfruta de un clima templado isoterma de montaña tropical, en especial los que superan los 1000 m de altitud. La temperatura media anual de Caracas es de 24 °C, con un mínimo de 21° y un máximo de 28° registrados para el año 2007, así mismo, los vientos provienen principalmente del cuadrante norte-este. Las precipitaciones medias anuales son superiores a los 900 mm y los meses de menor precipitación son marzo y abril (MINAMB 2007).

Las estaciones de calidad de aire estudiadas en el presente trabajo fueron La Yaguara, El Cementerio, El Silencio, La Trinidad, Bello Campo y Los Ruices (figura 1). La Yaguara está ubicada en la Av. Intercomunal de Antímano en un área industrial, residencial y comercial, con alto flujo vehicular. El Cementerio esta ubicada al sur oeste de la ciudad, en una zona comercial y residencial y a 50 m de la autopista El Paraíso-Coche. El Silencio abarca un área comercial y

residencial, con alto tráfico vehicular, ubicada en el centro de la ciudad. La Trinidad corresponde a un área industrial y comercial, con alto flujo vehicular, ubicada al sur-este de la ciudad. Bello Campo corresponde a un área comercial y residencial, ubicada al este de la ciudad. Los Ruices está ubicada en el este de la ciudad, en un área industrial y comercial, rodeada de vías de alto flujo vehicular. El área de cobertura de las estaciones mencionadas anteriormente es de 120 km² aproximadamente, lo que equivale al 6% de la superficie de la ciudad.

METODOLOGÍA

El muestreo de PTS ha sido realizado desde 1981 hasta el presente, en 6 estaciones que conforman la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Caracas, la cual ha sido supervisada desde sus inicios por el Ministerio del Ambiente, para lo cual ha empleado equipos de muestreo de alto volumen (Hi-Vol) marca General Metal Works, y filtros de fibra de vidrio (20,3 cm x 25,4 cm) (COVENIN 1996). Las muestras de PTS son colectadas durante 24 horas, cada 6 días, de acuerdo con el Decreto 638. La concentración de PTS es calculada mediante el uso del peso de partículas depositadas en el filtro y el volumen de aire medido (1700-2100 m³). De esta manera son obtenidos alrededor de 60 valores de concentración de PTS por año para cada estación. Todos estos resultados han sido agrupados de manera cronológica para cada año y para todo el periodo (1981-2006), para cada una de las estaciones. De esta manera ha sido calculado los valores promedios geométricos mensual, anual y para todo el periodo, empleando la herramienta Excel, el cual también permitió calcular las correlaciones lineales entre las diferentes estaciones para el periodo 1994-2006.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de concentración promedio anual de PTS para el periodo 1981-2006 (figuras 2 y 3) muestran una tendencia a disminuir a partir de 1990. En las estaciones El Silencio, La Yaguara y El Cementerio, el mayor valor promedio anual fue registrado en el año 1987. Asimismo, en las estaciones La Trinidad y Los Ruices el mayor valor registrado fue en el año 1984, mientras que en Bello Campo fue para el año 1994.

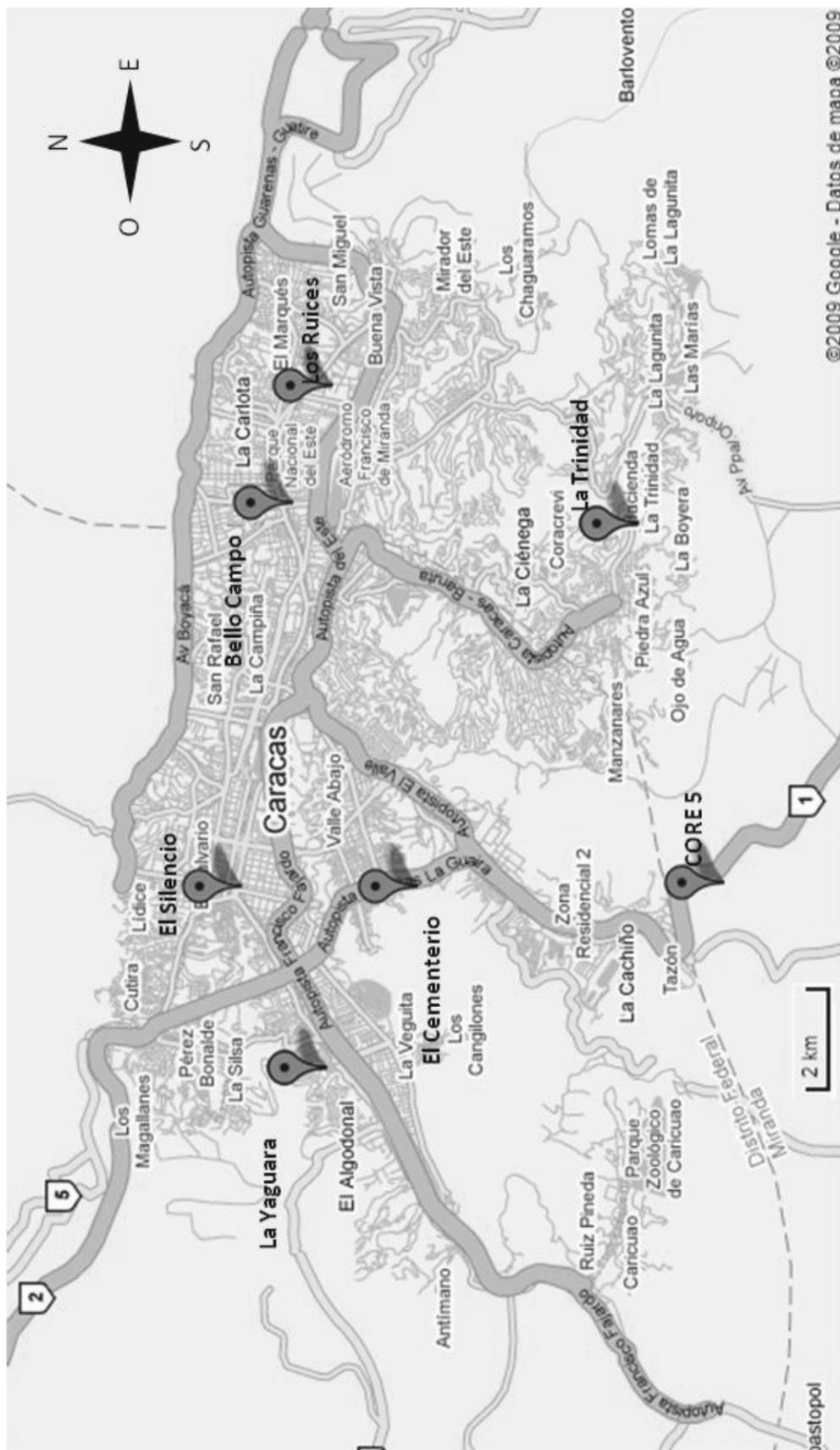


Figura 1. Estaciones de calidad del aire de Caracas.

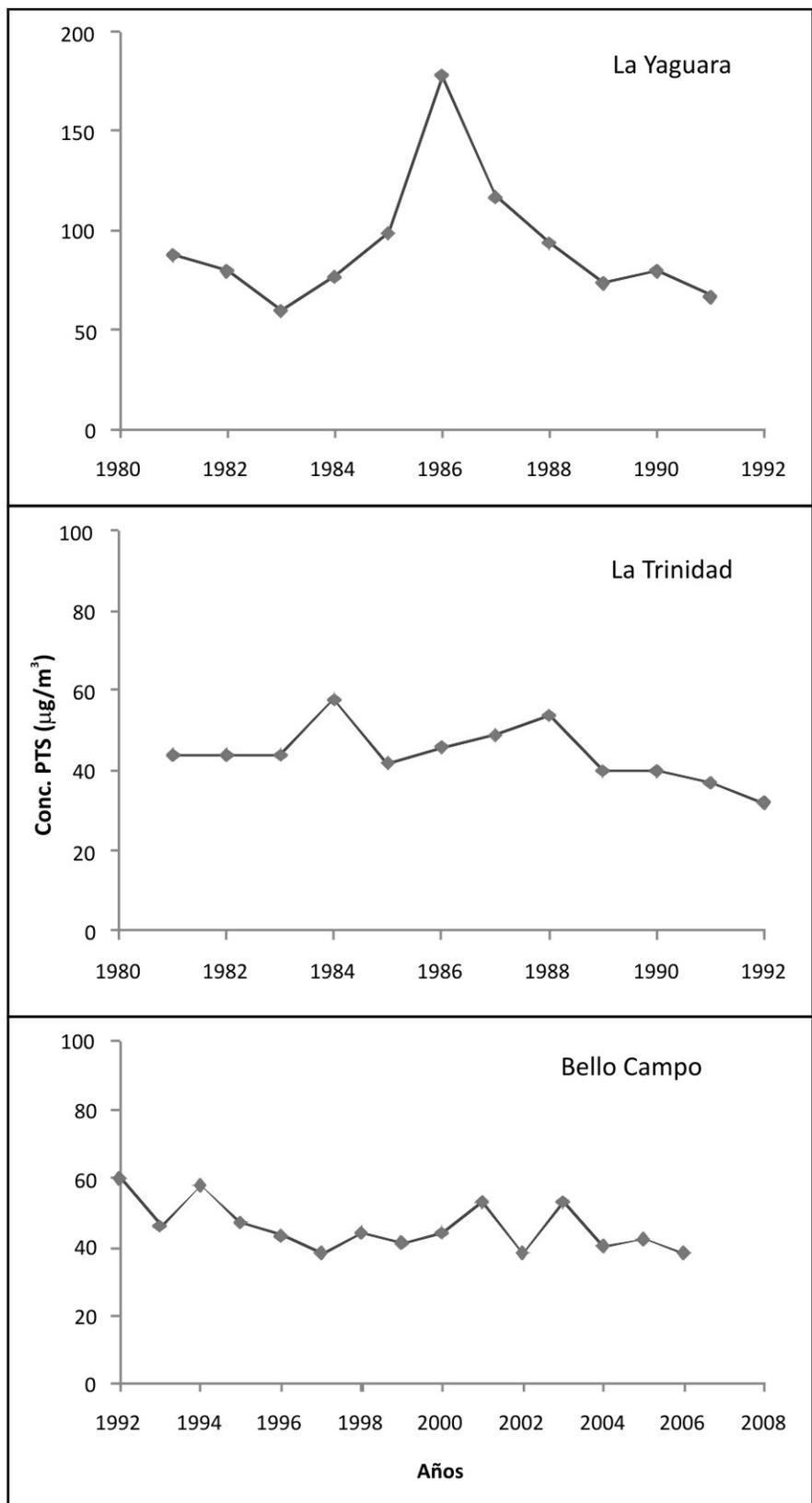


Figura 2. Concentración de PTS en La Yaguara, La Trinidad y Bello Campo.

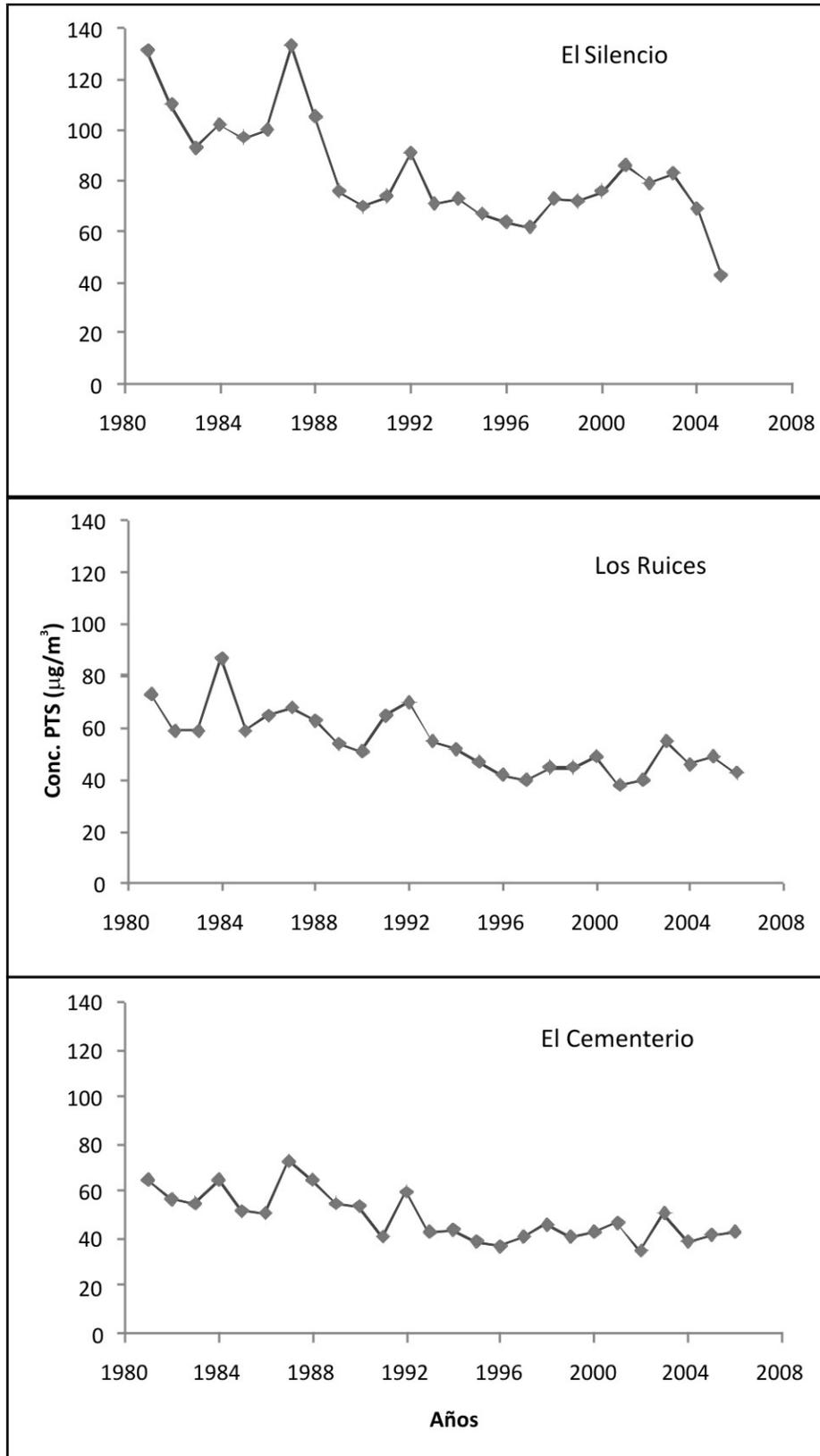


Figura 3. Concentración de PTS en El Silencio, Los Ruices y El Cementerio.

Los valores promedio de concentración de PTS fueron 97, 88, 63, 57 y 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para las estaciones El Silencio, La Yaguara, Los Ruices, El Cementerio y La Trinidad, respectivamente para el periodo 1981-1992, y para el periodo 1993-2006 fueron de 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en El Silencio, 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Los Ruices, 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Bello Campo y 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en El Cementerio. Los valores de concentración en la estación La Yaguara superaron los 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en casi todos los años del periodo 1981-1992, a excepción de 1983, 1989 y 1991 que presentó valores de 60, 74 y 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. La Trinidad para el periodo 1981-1992 y Bello Campo para el periodo 1992-2006, presentaron valores promedios anuales inferiores a 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en la estación El Silencio, los valores de concentración estuvieron por encima de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre los años 1981 y 1988. Cabe mencionar que para el periodo 1993-2006, todas las estaciones presentaron valores de PTS por debajo de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La estación El Silencio para el periodo 1981-1992 estaba cercana al único terminal de pasajeros con que contaba la ciudad capital, así mismo esta rodeada de vías de alto tráfico, lo que posiblemente originó los elevados valores de concentración. Para el año 1984, el metro de Caracas inicia las labores de excavación en las cercanías de esta estación, afectando posiblemente los valores de concentración de partículas suspendidas en la zona. Con relación a la estación La Yaguara, estaba ubicada cercana a la Av. Intermunicipal de Antimano, la cual para los años 1986 y 1987 estaba en construcción, así como también presentaba influencia debido a la cercanía con la fábrica SIVENSA. En términos generales la ciudad de Caracas para el periodo 1981-1992 experimentó un crecimiento en la actividad de construcción (autopistas, avenidas) así como del transporte subterráneo (metro), lo que condujo al aumento de las concentraciones de partículas. Sin embargo, para el periodo 1993-2006 los valores de concentración de PTS para todas las estaciones están por debajo de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Al comparar los dos periodos evaluados, los resultados indican que posiblemente existía en el periodo 1981-1992 una fuente de generación de PTS distinta a la fuentes que las generaron en el periodo 1993-2006, atribuible quizás a las obras de construcción del Metro de Caracas que estaban llevándose a cabo a lo largo de toda la ciudad, actividad que culminó alrededor del año 1994.

De acuerdo con los valores promedio de concentración mensual de PTS (figuras 4 y 5), para cada una de las estaciones mostraron un comportamiento donde los primeros seis meses del año presentan las mayores concentraciones para los dos periodos en estudio (1981-1992 y 1993-2006), especialmente en los meses de marzo y abril. Este comportamiento coincide con los periodos de lluvia y sequía en la ciudad. En este sentido los valores de concentración men-

sual para el periodo 1981-1992 durante el primer semestre para las estaciones El Silencio, La Yaguara, El Cementerio, Los Ruices y La Trinidad fueron 112, 105, 67, 72 y 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, y para el segundo semestre fueron El Silencio 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, La Yaguara 92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, El Cementerio 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Los Ruices 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y La Trinidad 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el caso de las estaciones de El Silencio, Los Ruices y El Cementerio, todas presentaron menores valores promedio mensual de concentración de PTS para el periodo 1993-2006 comparado con el periodo 1981-1992, es decir, que esto corrobora lo observado con los promedios anuales (figura 3).

Por otra parte, las figuras 6 y 7 muestran las correlaciones entre las estaciones Los Ruices, El Cementerio, Bello Campo y El Silencio para el periodo 1994-2006, encontrándose que todas son significativas a un nivel de confianza del 99%. Estos resultados sugieren que hay una correlación temporal entre cada una de las estaciones e independiente de las fuentes de emisiones cercanas a ellas; es decir, que las condiciones meteorológicas del medio deben de estar controlando la distribución temporal de los niveles de concentraciones de PTS en cada uno de los sitios muestreados y que las fuentes de emisiones controlan los valores de concentración de PTS. Esto es observado claramente (figura 6) al comparar Los Ruices, El Cementerio y Bello Campo con El Silencio, donde cada uno de ellos representa una fracción (0,63-0,66) del total encontrado en El Silencio. Es de hacer notar que la mayoría de los valores de concentración que superan los 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 6 y 7) fueron registrados en el periodo de menor precipitación (febrero-abril).

En las correlaciones de PTS entre las estaciones Los Ruices, Bello Campo y El Cementerio vs. El Silencio (figura 6) puede observarse que todos los puntos están por debajo de los 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para las cuatro estaciones. Este conjunto de valores de PTS refleja claramente que los valores mayores a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ son inferiores al 5% y que los valores mayores a 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ son menores al 50% para dicho periodo. Cabe destacar que ninguna de las cuatro estaciones de calidad del aire excedió los límites establecidos para PTS en la normativa venezolana para el periodo 1994-2006.

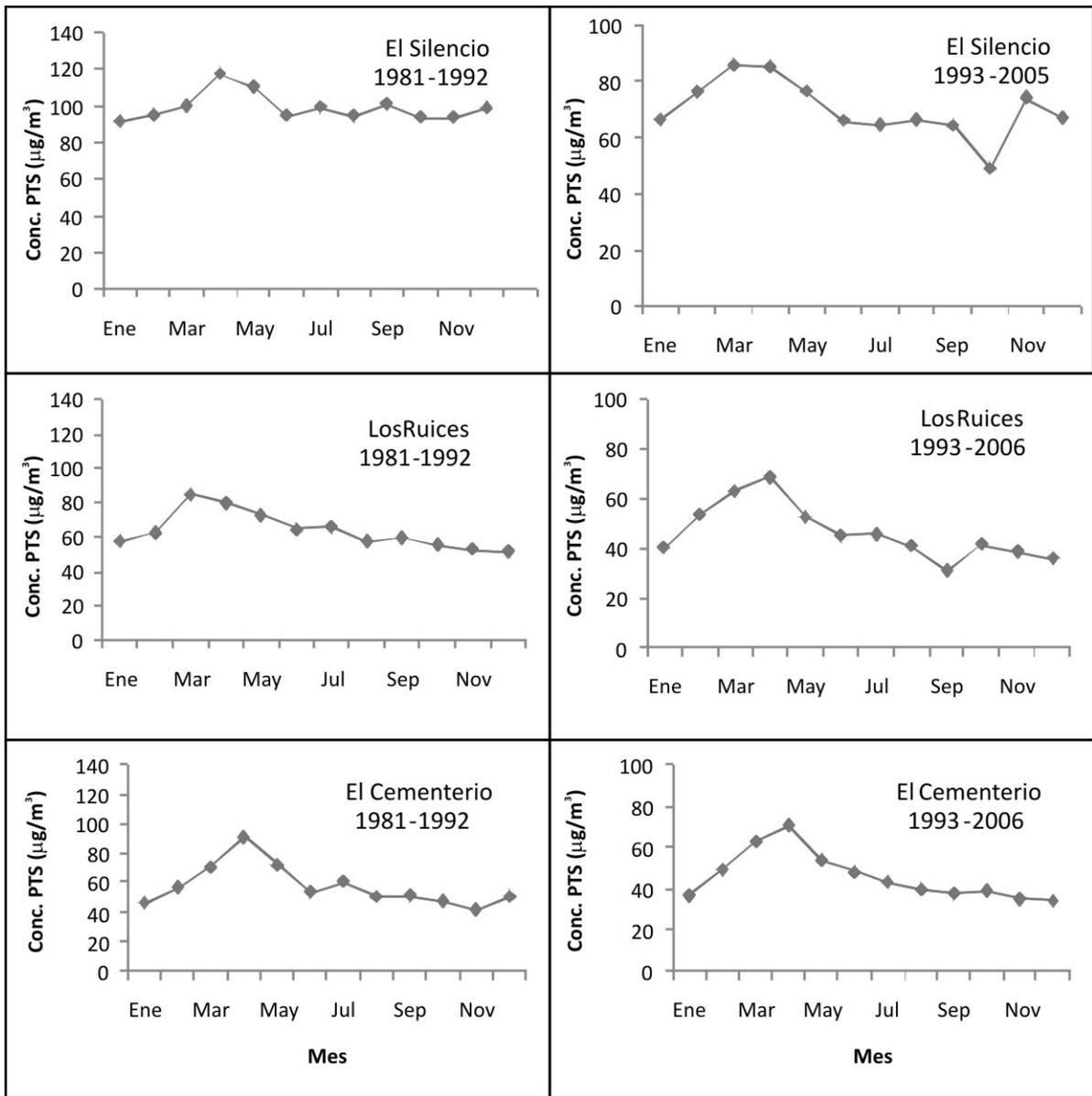


Figura 4. Concentración promedio mensual de PTS en El Silencio, Los Ruices y El Cementerio.

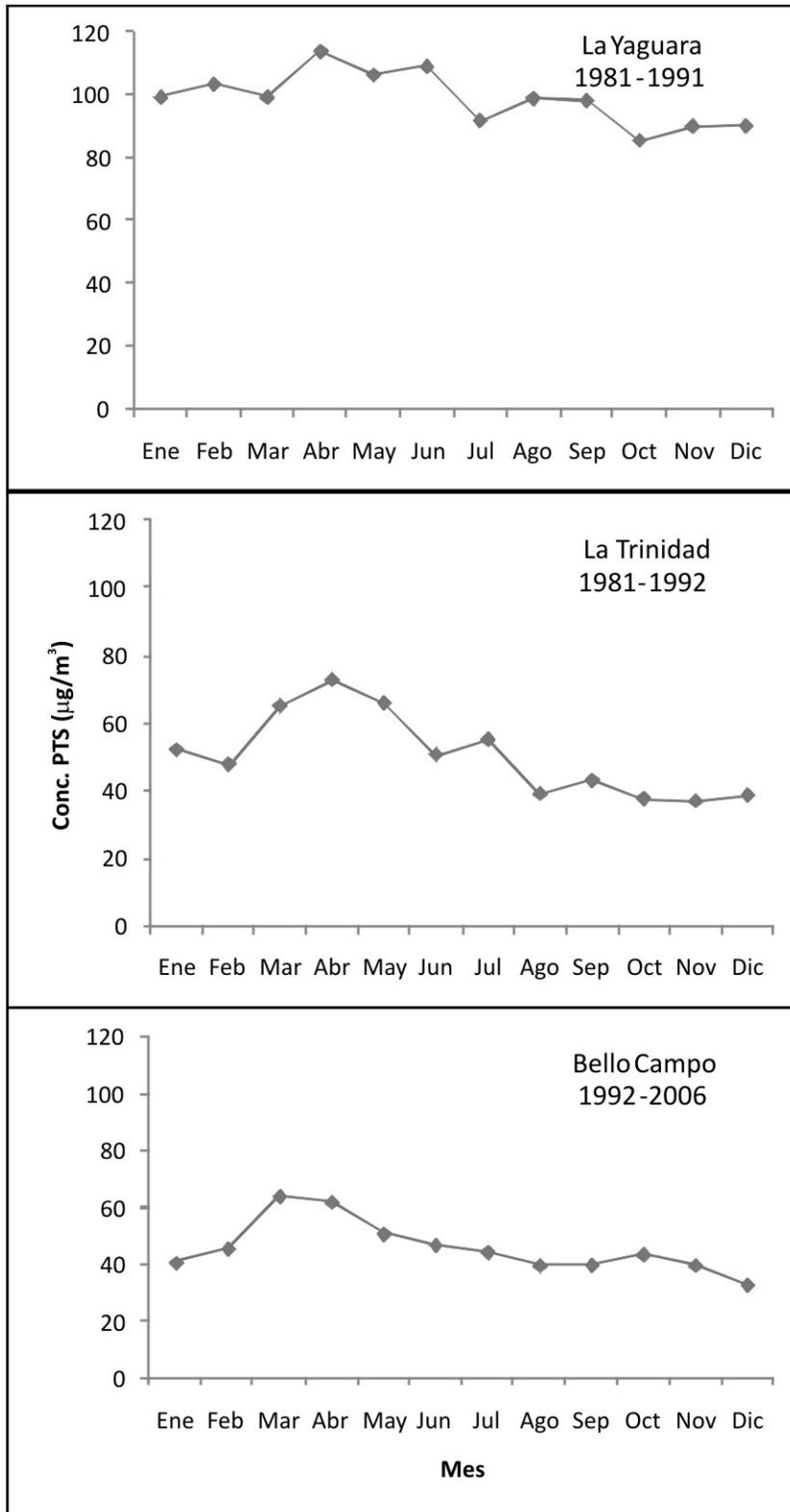


Figura 5. Concentración promedio mensual de PTS en La Yaguara, La Trinidad y Bello Campo.

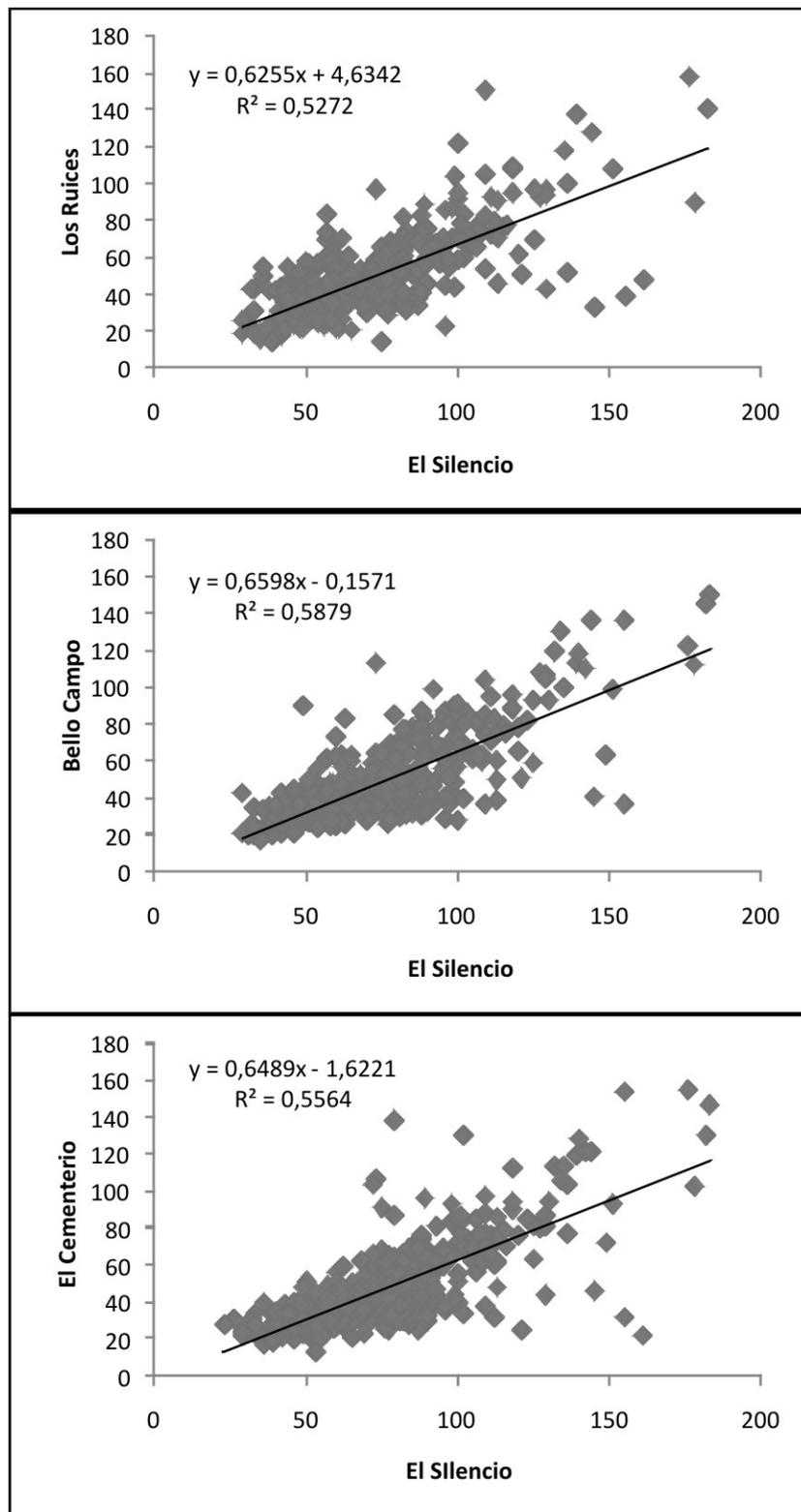


Figura 6. Correlación de PTS entre las estaciones Los Ruices, Bello Campo, El Cementerio vs. El Silencio.

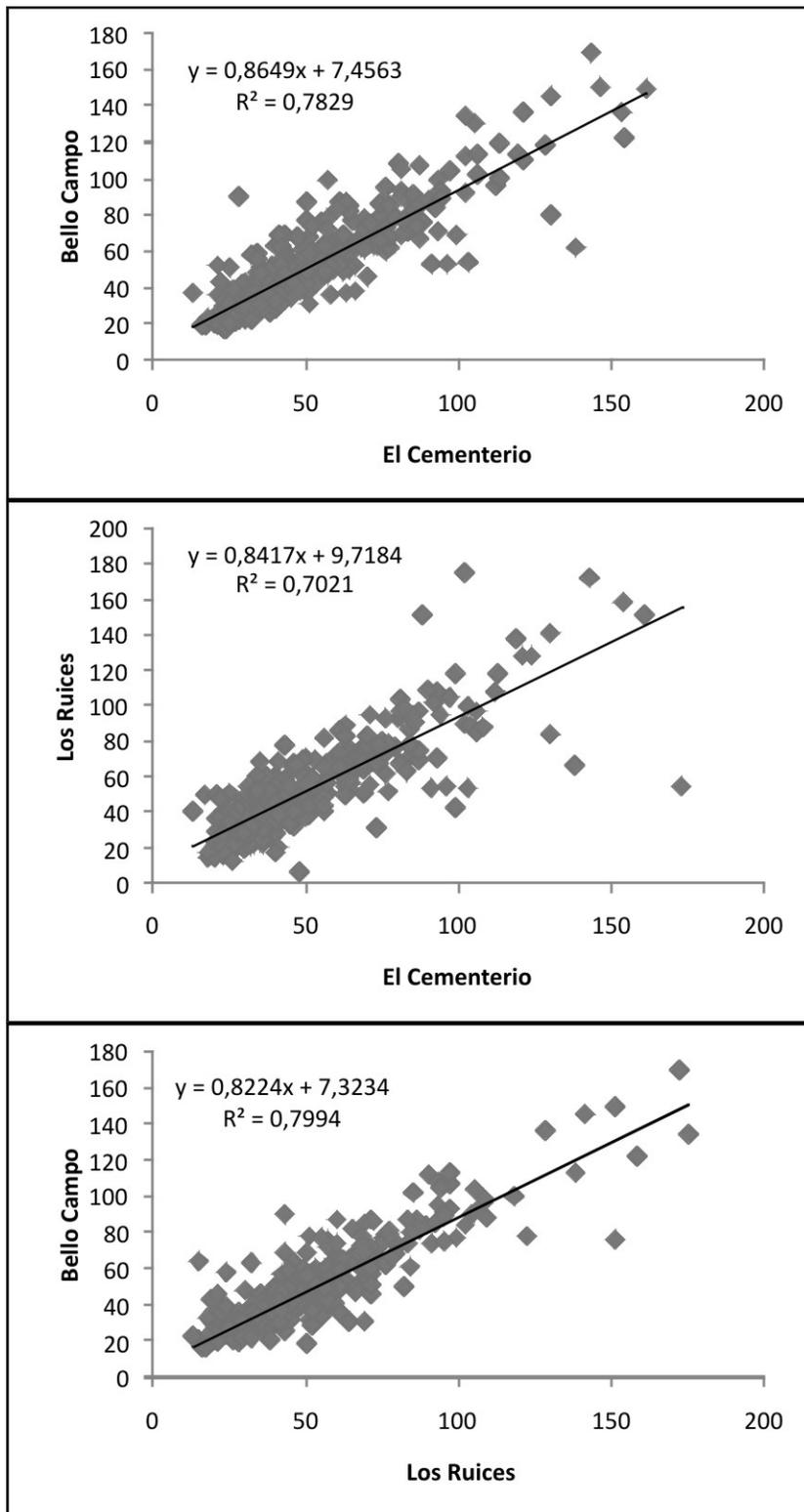


Figura 7. Correlaciones de PTS entre Los Ruices, El Cementerio y Bello Campo.

Estos resultados sugieren que Caracas en los alrededores de Los Ruices, Bello Campo, El Cementerio y El Silencio puede considerarse para el periodo 1994-2006 zonas de aire limpio de acuerdo con la normativa venezolana.

CONCLUSIONES

Las estaciones de El Silencio y La Yaguara fueron las únicas que superaron el valor promedio de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PTS en el periodo 1981-1991. Igualmente las estaciones de El Silencio, Los Ruices y El Cementerio presentaron menores valores de concentración para el periodo 1992-2006, con relación al periodo anterior, indicando una disminución en las fuentes de emisión. Los resultados encontrados para Los Ruices, Bello Campo, La Trinidad y El Cementerio sugieren que la concentración de PTS promedio en toda esa zona es alrededor de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual es menor que los $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ encontrados en El Silencio para el mismo periodo. Los valores de concentración de PTS para cada una de las estaciones mostraron un comportamiento donde los primeros seis meses del año presentan las mayores concentraciones, especialmente en los meses de marzo y abril, para los dos periodos 1981-1991 y 1992-2006. Esto permite concluir que las fuentes de emisiones en la zona de estudio son muy similares en términos de PTS y controlan la concentración en cada uno de los sitios muestreados y las condiciones meteorológicas controlan la distribución temporal. El aire de Caracas puede ser considerado limpio de acuerdo a la clasificación establecida por la normativa venezolana.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, específicamente a la Dirección General de Calidad Ambiental, y al Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UCV. También agradecen la revisión del manuscrito realizada por los árbitros.

REFERENCIAS

- BYRD, T., STACK, M., FUREY, A. (2010). The assessment of the presence and main constituents of particulate matter ten microns (PM10) in Irish, rural and urban air. *Atmospheric Environment*; 44: 75-87.
- CÁCERES, R. (1974). Estudio Integral sobre la Contaminación Atmosférica en el Valle de Caracas. Dirección General de Información e Investigaciones del Ambiente (DISCA), Venezuela. s/n.
- CHRYSIKOU, L.P. & SAMARA, C.A. (2009). Seasonal variation of the size distribution of urban particulate matter and associated organic pollutants in the ambient air. *Atmospheric Environment*; 43: 4557-4569.
- CONTINI, D., GENGA, A., CESARI, D., SICILIANO, M., DONATEO, A., BOVE, M.C., GUASCITO, M.R. (2010). Characterization and source apportionment of PM10 in an urban background site in Lecce. *Atmospheric Research*; 95: 40-54.
- COVENIN (1996). Determinación de la Concentración de Partículas Totales Suspendidas (PTS) en la Atmósfera, 1era revisión Norma Venezolana 2060, pp. 1-13.
- DECRETO N° 638 (1995) .Normas sobre Calidad del Aire y Control de la contaminación Atmosférica, Gaceta Oficial Extraordinaria N° 4899. Caracas-Venezuela, pp. 1-13.
- HWANG, K.W., LEE, J.H., JEONG, D.Y., LEE, C.H., BHATNAGAR, A., PARK, J.M, KIM, S.H. (2008). Observation of difference in the size distribution of carbon and major inorganic compounds of atmospheric aerosols after the long-range transport between the selected days of winter and summer. *Atmospheric Environment*; 42: 1057-1063.
- LARA, V., BIFANO, C., SANHUEZA, E. (1984). Pb, Cd, Mn y Fe en las Partículas Respirables del Centro de Caracas. *Acta Científica Venezolana*; 35: 369-373.
- MARNR (1982-1990). Boletines de Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de Caracas. Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Caracas. p. 28.
- MINAMB (2007). Informe de Calidad del Aire 2006. Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, Caracas. 17p.
- SANHUEZA, E., ISHIZAKI, C., AFRICANO, M., PEÑA, R. (1979). Incidence of secondary components in the suspended particles of the Caracas air. *Atmospheric Environment*; 13: 1205-1208.
- SENA, A. (2003). Determinación de los Factores que Intervienen en los Procesos Fotoquímicos en la Atmósfera de Caracas, Trabajo de Grado (Magister Scientiarum en Ingeniería Sanitaria. Opción Ingeniería Ambiental), UCV, Caracas. p. 164.
- TAKAHASHI, K., MINOURAB, H., SAKAMOTOC, K. (2008). Chemical composition of atmospheric aerosols in the general environment and around a trunk road in the Tokyo metropolitan area. *Atmospheric Environment*; 42: 113-125.