

Comportamiento temporal y espacial del contenido de Partículas Totales Suspensas (PTS) en la atmósfera de los Municipios Maracaibo y San Francisco; Estado Zulia, Venezuela. 1991-1996

Ana I. Albornoz Puche*, Angel C. Morillo Espinoza y Elsa E. Socorro Hernández
Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM),
Apartado 302. Maracaibo, Venezuela

Recibido: 15-04-97 Aceptado: 13-09-99

Resumen

Se determinaron las concentraciones de PTS en la atmósfera de los Municipios Maracaibo y San Francisco, Estado Zulia, a través de una Red de Medición de Calidad de Aire (Red-MECA), constituida por seis estaciones, durante 1991-1996, según metodología establecida por el Comité Venezolano de Normas Industriales (COVENIN). Del total de muestras captadas (1991-1996) en la Red-MECA, los resultados mostraron 531 (69,92%); 94 (11,31%); 32 (3,85%) y 11 (1,32%), excedentes 75, 150, 200 y 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, superando los límites permisibles establecidos en la normativa venezolana. La concentración promedio de PTS obtenida en toda la red resultó igual a 104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la cual se encuentra dentro del rango de concentración de 75-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ clasificando a estos municipios con aire moderadamente contaminado por PTS (Decreto No. 638). El estudio comparativo evidenció diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) por año, mes, estación y época, con un 95% de confianza, registrándose los mayores valores promedios en la estación INCE-Los Haticos (121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y en la época de sequía (116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Palabras clave: Contaminación atmosférica; PTS.

Temporary and spatial behavior of the Total Suspended Particles (TSP) in the atmosphere of the Maracaibo and San Francisco Municipalities. State Zulia, Venezuela. 1991-1996

Abstract

During 1991-1996, the concentrations of TSP in the atmosphere of Maracaibo and San Francisco municipalities, Zulia State, were measured throughout a six stations Quality Measurement Network (Red-MECA, or "Red de Medicion de Calidad de Aire"), based on the methodology established by the Venezuelan Committee for Industrial Standards (COVENIN). Out of the total samples taken (1991-1996) by the Red-MECA, it was found that 531 (69.92%), 94 (11.31%), 32 (3.85%) and 11 (1.32%), exceeded 75, 150, 200 and 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TSP, respectively, according to the allowable limits established by the Venezuelan standards (Decree N° 638).

* Autor para la correspondencia. Fax (061) 307241. E-mail: info@iclam.gov.ve

However, the average TSP concentration for the whole sampled red was $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which is within the range of $75\text{-}200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Therefore the studied municipalities can be classified as moderately air contaminated with TSP. The statistical study showed highly significant differences ($p < 0.01$) per year, month, season and time, with 95% confidence, registering the highest values at the INCE-Los Haticos station ($121 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the dry season.

Key words: Atmospheric pollution; TSP.

Introducción

En las últimas décadas, el progreso urbano y la creciente expansión industrial ha causado que la contaminación del aire sea un problema mayor en algunas ciudades de Latinoamérica (1). Las partículas suspendidas en el aire constituyen una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas. Dependiendo de su composición química y estado físico, las partículas causan graves daños para la salud, los materiales, la vegetación y los animales; siendo el efecto más visible sobre el aparato respiratorio; además, pueden llegar a producir un serio problema de contaminación en los suelos al depositarse sobre los mismos y ser absorbidos en los procesos de riego o durante las lluvias.

El grado de penetración y retención de las partículas en el sistema respiratorio es una función de ciertos factores físicos, de los cuales el más importante es el tamaño aerodinámico de éstas, de allí la importancia de conocer la distribución del tamaño de las partículas totales suspendidas, específicamente la fracción respirable (0 - $15 \mu\text{m}$ de diámetro), las cuales poseen una velocidad de deposición muy baja, permitiendo ser inhaladas y penetrar al tracto respiratorio, causando efectos directos sobre la salud (2).

Investigaciones recientes en países desarrollados han asociado las partículas con el incremento de la mortalidad y morbilidad diaria en ciudades que presentan concentraciones elevadas de partículas en la atmósfera (3-5). Durante los últimas 2 décadas, se han realizados importantes investigaciones en las cuales se ha determinado la composición de las partículas en los munici-

pios Maracaibo y San Francisco principales centros poblados del Estado Zulia, Venezuela. (6-10).

Debido a la importancia que tiene 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 (11). Las normas de calidad del aire fijan valores máximos permisibles de concentración de contaminantes con la finalidad de proteger la salud de la población en general y de los grupos de mayor susceptibilidad en particular, para lo cual se incluye un margen de seguridad. En consecuencia, 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. En Venezuela, no se han realizado estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición, ni en animales ni en seres humanos, a tal efecto las normas se establecieron fundamentalmente tomando en cuenta los criterios y estándares adoptados en otros países del mundo. En 1995, entran en vigencia nuevas Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica (12), donde se establecen límites de calidad de aire para algunos contaminantes de la atmósfera aceptables para proteger la salud y el ambiente. Asimismo, señala una clasificación de zonas de acuerdo con los rangos de concentraciones de Partículas Totales Suspendidas (PTS), calculadas con base a promedios anuales, y otros aspectos de interés que deben considerarse al momento de efectuar un estudio de calidad de aire. Diversos fenómenos naturales, así como actividades humanas (domésticas, industriales,

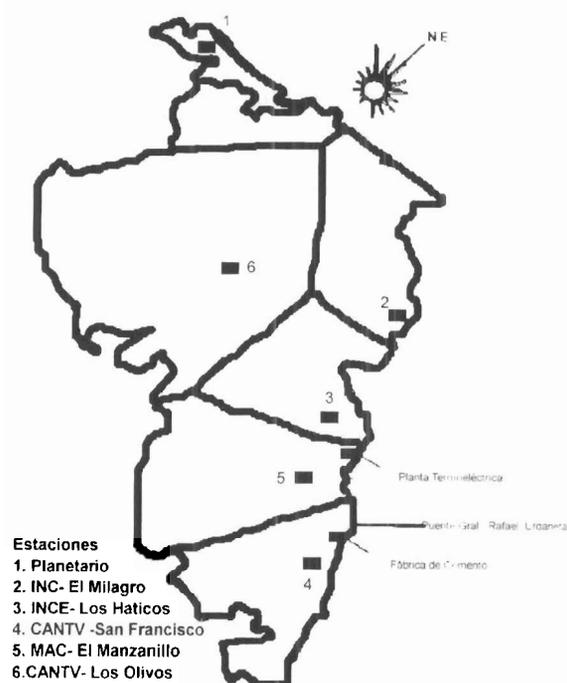


Figura 1. Ubicación de las estaciones de monitoreo de Calidad de Aire. Municipios Maracaibo y San Francisco - Edo. Zulia. Venezuela.

agrícolas o de otra índole) alteran dicha calidad al introducir un variado número de contaminantes (13).

En este trabajo, se presentan los resultados correspondientes a los niveles de concentración de PTS obtenidos durante 1991-1996. La información recolectada permitió evaluar el grado de contaminación generado por PTS en los sectores estudiados, emitir un diagnóstico ambiental y determinar su comportamiento temporal y espacial durante el lapso de muestreo establecido.

Materiales y Métodos

Ubicación de los sitios de muestreo

Los Municipios Maracaibo y San Francisco son los principales centros poblados del Estado Zulia, Venezuela, ocupan un rectángulo territorial costanero ubicado en

la parte occidental del Estrecho de Maracaibo. Su extensión es de 557 Km², lo cual representa el 1,11% del territorio del Estado Zulia, con una población proyectada para 1997 de 1.631.389 habitantes (14). Su clima está influenciado por la Cuenca Hidrográfica del Lago de Maracaibo, siendo particularmente, NE la dirección predominante del viento (15). En ambos municipios están ubicadas industrias con diferentes actividades económicas: cementeras, plantas termoeléctricas, varaderos, astilleros, exportación de carbón, incineradores instalados en hospitales y edificios residenciales carentes en muchos casos de sistemas de control, además de la influencia del parque automotor y los desechos domésticos, encontrándose el 72% de las industrias de este tipo en el Municipio San Francisco. Asimismo, en la margen nororiental del Estrecho se encuentra el Complejo Petroquímico El Tablazo, el cual debido a las características de sus procesos industriales y a su ubicación geográfica, puede afectar la calidad del aire de estos municipios. Tomando en consideración lo antes expuesto se realizó una inspección en cada uno de los sitios propuestos según zonificación en un plano de los Municipios Maracaibo y San Francisco, con la finalidad de instalar la Red de Medición de Calidad de Aire (Red-MECA). Se seleccionaron seis estaciones de muestreo representativas de las áreas industriales, residenciales y comerciales, de acuerdo con los criterios siguientes: Normas COVENIN, Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica, densidad demográfica y desarrollo de zonificación predominante. Además, se consideraron las variaciones climatológicas y estacionales (épocas de sequía y lluvia), los tipos y características de las fuentes de emisión más importantes del sector. Estas estaciones son: Planetario (blanco), I.N.C-El Milagro, INCE-Los Haticos y CANTV-Los Olivos en el municipio Maracaibo; CANTV-San Francisco y M.A.C-El Manzanillo en el municipio San Francisco, como se muestra en la Figura 1.

Recolección de las muestras

El ICLAM inició en 1991 un Plan Integral sobre Monitoreo de la Calidad del Aire en los Municipios Maracaibo y San Francisco (Parroquias San Francisco y Francisco Ochoa), a través de la instalación de una Red de Medición de Calidad de Aire (Red-MECA), constituida inicialmente por tres estaciones, ampliándose en 1995 a seis, lo cual explica la diferencia en el tamaño muestral durante el lapso de muestreo.

Se captó un total de 831 muestras para la determinación de PTS durante el lapso de muestreo 1991-1996, con una frecuencia de 5 días y un periodo de 24 h, utilizando Muestreadores de Aire de Gran Volumen (General Metal Works INC, Modelo GMWL-2000 H) y filtros de fibra de vidrio (Whatman EPM 2000). Los equipos fueron calibrados a una velocidad de flujo óptima entre 40 y 60 pies cúbicos por minuto, utilizando un calibrador de orificio (16).

Análisis de las muestras

La determinación de las concentraciones de PTS se realizó mediante el método gravimétrico (16). Su concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el aire, se calculó sobre la base de la masa recolectada y el volumen de aire muestreado.

Análisis meteorológico

De los parámetros meteorológicos, el viento es uno de los que más incide en el

transporte de las partículas en la atmósfera; la velocidad determina el recorrido y, la dirección indica la trayectoria. La presencia de humedad junto con las partículas (principalmente las constituidas por sulfatos y nitratos) incrementa el efecto de dispersión de la luz con respecto al provocado por las partículas secas. De esta manera, la reducción de la visibilidad es mayor cuando existe en la atmósfera una humedad relativa considerable (13). Asimismo, cuando la humedad relativa excede aproximadamente al 70%, muchos tipos de partículas presentan un cambio de fase y se convierten en gotas de niebla, lo cual disminuye la visibilidad (17).

En la Tabla 1, se presentan los valores anuales de los parámetros meteorológicos registrados en la estación Maracaibo ubicada en la Base Aérea General Rafael Urdaneta (BARU), Fuerza Aérea Venezolana (FAV), con una Latitud: 10° 34' N, Longitud: 71° 44' W y una elevación de 66 msNM (18). La determinación de parámetros meteorológicos es importante en el análisis de la relación con la concentración de los contaminantes atmosféricos. Por otra parte, se conoce que, el régimen anual de lluvias presenta dos máximos y dos mínimos. El máximo principal ocurre, generalmente, en octubre-noviembre (lluvia) y el máximo secundario en mayo-junio (lluvia). Con respecto a los mínimos, frecuentemente, se presentan en febrero-marzo (sequía) y en julio-agosto (sequía) (15).

Tabla 1
Resumen climatológico anual. Estación meteorológica Maracaibo

Factor	Año						
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	Total
Precipitación (mm)	315	495	497	358	506,6	332,3	2503,9
Dirección del viento	NNE	NNE	NNE	NNE	NE	NE	NNE
Velocidad del viento (m/s)	3,7	3,54	3,40	3,48	3,30	2,04	3,24
Temperatura (°C)	28,5	27,4	27,7	28,1	28,6	28,47	28,1
Humedad Relativa (%)	78	80	81	82	76	78	79

Fuente: Fuerza Aérea Venezolana (FAV). Base Aérea Gral. Rafael Urdaneta (BARU).

En este estudio, la velocidad media anual del viento fue de 3,24 m/s, clasificado en términos de "flojo, brisa débil", de acuerdo con la escala Beaufort (19), ocasionando bajos niveles de ventilación y dispersión atmosférica de las partículas. La dirección prevaleciente del viento fue NNE (vientos alisios), favoreciendo la influencia de las emisiones de contaminantes provenientes de fuentes fijas y móviles ubicadas vientos arriba de las estaciones de muestreo, sobre los Municipios Maracaibo y San Francisco. La temperatura promedio anual fue de 28,1°C manteniéndose constante en el lapso de muestreo y una humedad relativa igual a 79%. Estas condiciones climatológicas favorecen la presencia de niveles de concentración significativos de PTS en la atmósfera de los Municipios Maracaibo y San Francisco.

Resultados y Discusión

La concentración promedio de PTS en la Red-MECA, durante 1991-1996 fue de 104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la cual resultó menor que las determinadas en Lahore-Pakistan (607 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), San José-Costa Rica (340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Bogotá-Colombia (180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Chile (242 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Brasil (186 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Jakatar (120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),

México (200-600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y en el Cairo (750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (20,21,22).

La Figura 2, muestra la desviación de los resultados obtenidos con relación a los límites permisibles de calidad de aire (12). Se observa que, los valores porcentuales calculados para las estaciones INC-El Milagro, INCE-Los Haticos, CANTV-San Francisco, MAC-El Manzanillo y CANTV-Los Olivos superan los porcentajes de excedencia establecidos de 50% \leq 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 5% \leq 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que las determinadas en las estaciones INC-El Milagro, INCE-Los Haticos y CANTV-San Francisco superan los límites 2% \leq 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 0,5% \leq 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La estación Planetario no superó ninguno de estos límites, confirmando su buena selección como estación blanco. Del total de muestras captadas, los resultados mostraron 531 excedentes de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (69,92%); 94 excedentes de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (11,31%); 32 excedentes de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3,85%) y 11 excedentes de 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1,32%). El estudio demostró que los niveles de PTS son altos durante todos los años y continuamente excedieron la normativa, lo cual evidencia la influencia de fuentes contaminantes (cementeras, plantas termoeléctricas, parque automotor).

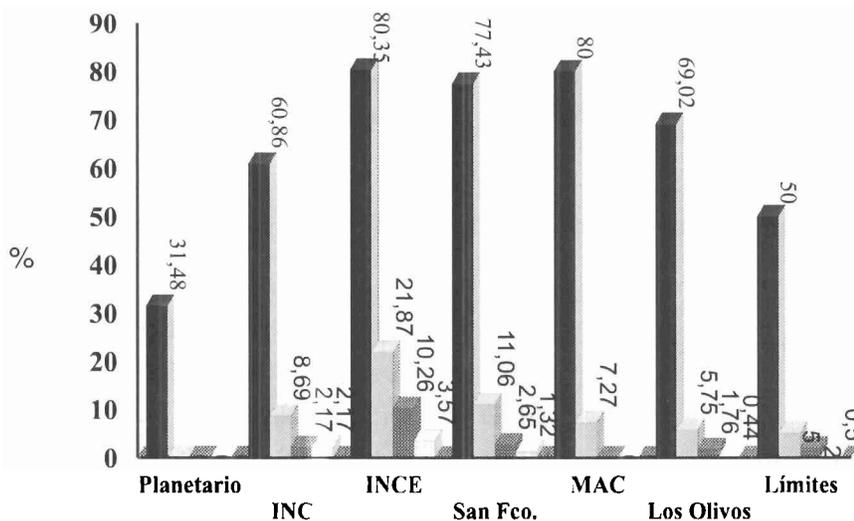


Figura 2. Comparación de los Porcentajes de excedencia de PTS con la normativa venezolana. 1991-1996. Red MECA

Análisis descriptivo

La Tabla 2 muestra algunas estadísticas básicas de PTS por estación, durante el lapso de muestreo 1991-1996. Se observa que, las estaciones INCE-Los Haticos ($121 \mu\text{g}/\text{m}^3$), CANTV-San Francisco ($105 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y MAC-El Manzanillo ($103 \mu\text{g}/\text{m}^3$) muestran las mayores concentraciones promedio de PTS. En la estación Planetario (blanco) se encontró el menor valor promedio ($66 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el mayor grado de uniformidad en la serie de resultados, lo cual se evidencia al observar que los menores valores de la desviación estándar y el rango intercuartil se encontraron en esta estación. Además, en la estación Planetario se registró el menor valor de PTS ($16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la mayor concentración obtenida en dicha estación ($134 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no supera a ninguno de los valores máximos determinados en el resto de las estaciones. Las estaciones I.N.C. - El Milagro e INCE - Los Haticos presentan los mayores valores de desviación estándar y rango intercuartil,

lo cual indica una mayor variabilidad o dispersión de las concentraciones de PTS. En conclusión, la distribución de las partículas en la atmósfera de los Municipios Maracaibo y en las Parroquias San Francisco y Francisco Ochoa (Municipio San Francisco) muestra comportamientos específicos por estación, reforzando el conocimiento relativo a las fuentes contaminantes (Planta cementeras, termoeléctricas, petroquímica, carboníferas entre otras) existentes en el área de influencia de cada una de las estaciones evaluadas y su incidencia en el contenido de partículas presentes.

En la Tabla 3, se presentan las estadísticas básicas de PTS por época (lluvia y sequía) durante 1991-1996. La mayor concentración promedio de PTS se obtuvo en la época de sequía ($116 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los valores bajos de la desviación estándar y el rango intercuartil obtenidos indican que el mayor grado de uniformidad en la serie de resultados se encontró en la época de lluvia.

Tabla 2
Estadísticas básicas de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estación. 1991-1996

Variable	Estación					
	Planetario	I.N.C. El Milagro	INCE Los Haticos	CANTV San Fco.	M.A.C. El Manzanillo	CANTV Los Olivos
Tamaño muestral	54	46	224	226	55	226
Promedio	66	98	121	105	103	95
Desviación estándar	25	48	55	43	30	44
Rango intercuartil	29	60	58	47	38	43

Tabla 3
Estadísticas básicas de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por época. 1991-1996. Red MECA

Variable	Época	
	Sequía	Lluvia
Tamaño muestral	294	537
Promedio	116	97
Desviación estándar	56	41
Rango intercuartil	53	48

Tabla 4
Estadísticas básicas de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por mes. 1991-1996. Red MECA

Variable	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tamaño muestral	40	61	100	49	71	89	93	98	43	74	62	51
Promedio	98	123	114	133	105	108	106	92	100	81	89	90
Desviación estándar	38	49	55	77	47	43	36	38	43	33	48	38
Rango intercuartil	34	33	60	76	58	51	40	46	47	48	52	38

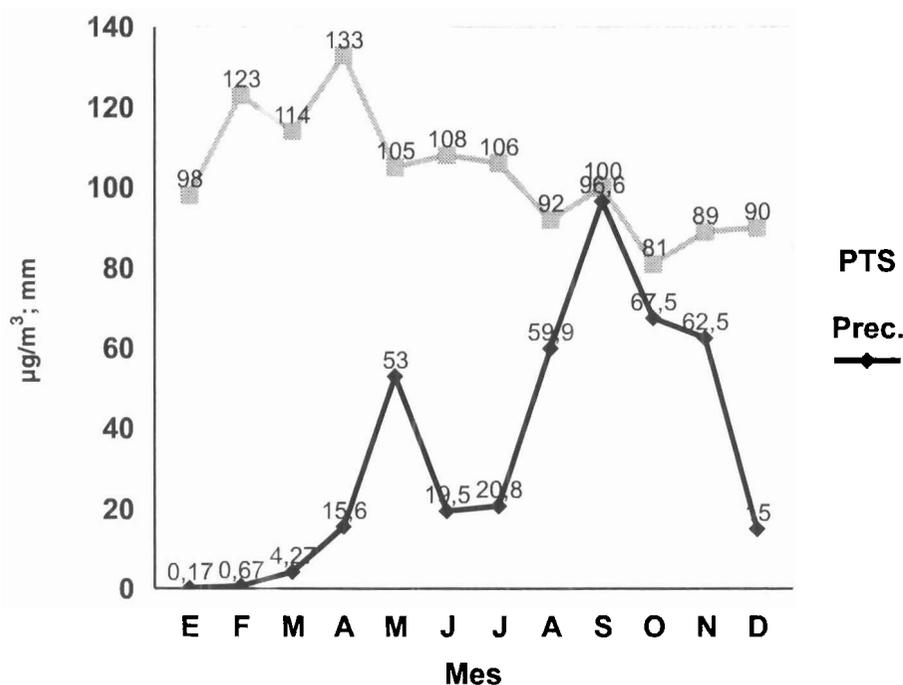


Figura 3. Comportamiento mensual de PTS con la precipitación 1991-1996. Red MECA.

En la Tabla 4, se indican las estadísticas básicas por mes de PTS (1991-1996). Se observa que, la mayor concentración promedio de PTS se obtuvo en abril ($133 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo cual puede atribuirse a la baja pluviosidad ocurrida durante los meses de enero-abril, por el contrario, en el mes de octubre se encontró la menor concentración ($82 \mu\text{g}/\text{m}^3$), debido a la alta pluviosidad registrada durante ese mes ($67,5 \text{ mm}$) y en el anterior ($96,6 \text{ mm}$) (Figura 3).

Asimismo, en este estudio se obtuvo que la máxima concentración promedio mensual de PTS ($514 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue encontrada en la estación CANTV-Los Olivos en abril de 1992, atribuible a la no ocurrencia de precipitación durante este mes y en los anteriores, así como a las emisiones de origen natural y antrópico (parque automotor) predominante reinante en la zona, siendo la más baja ($16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación Planetario en el mes de noviembre de 1995, lo cual, aun

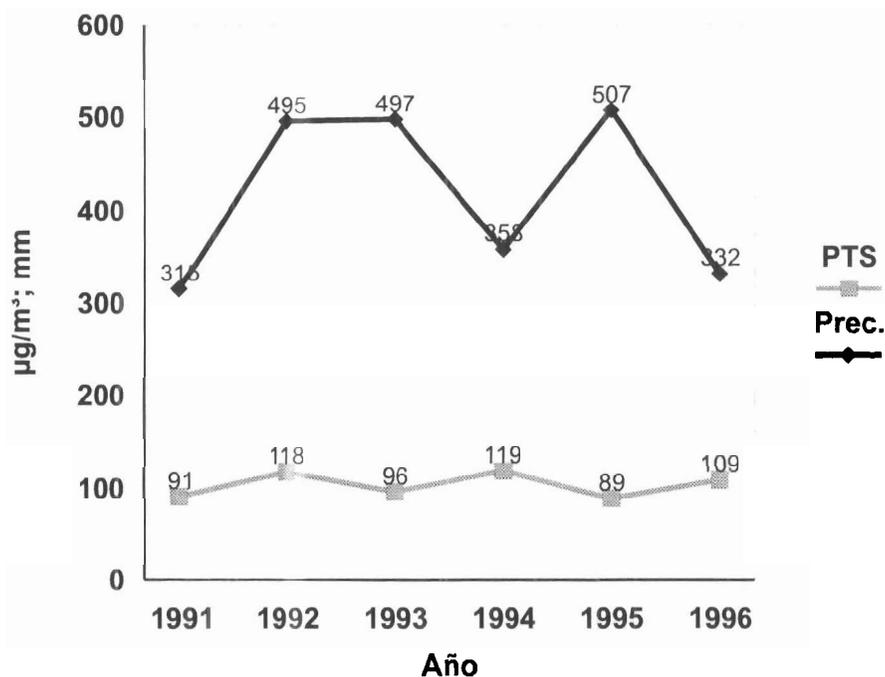


Figura 4. Comportamiento anual de PTS con la precipitación. Red MECA.

cuando en este mes no ocurrió precipitación, tiene su explicación a la alta pluviosidad registrada en meses previos.

La Figura 4 muestra los promedios de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y la precipitación (mm) por año de muestreo. Se observa un comportamiento variable de este parámetro entre los años, lo cual puede atribuirse a cambios climáticos, siendo en 1995 donde se presenta el menor valor promedio ($89 \mu\text{g}/\text{m}^3$), esto puede explicarse a la alta precipitación (507 mm), registrada durante ese año. Por el contrario, en 1994 se determinó el mayor valor promedio de PTS ($119 \mu\text{g}/\text{m}^3$), el cual está asociado con un valor de precipitación (358 mm) aunado a la baja velocidad del viento ($3,48 \text{ m/s}$) y a la más alta humedad relativa reportada (82%).

Inferencia estadística

Los resultados de las pruebas de hipótesis con relación a la incidencia que puedan tener los factores año, mes, estación y época (lluvia y sequía) sobre el contenido de

PTS, evidenciaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$).

Se estima, con un 95% de confianza, que la verdadera concentración promedio de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las 6 estaciones de muestreo durante los años 1991, 1992, 1993, 1994, 1995 y 1996 se encuentre en los intervalos (82;100), (111;125), (88;103), (110;127), (82;96) y (101;117), respectivamente, estimando que el promedio para todos los años se encuentre en el intervalo (100;107), lo cual clasifica a los Municipios Maracaibo y San Francisco (Parroquias San Francisco y Francisco Ochoa) como zonas con Aire Moderadamente Contaminado, por PTS, siendo esta concentración significativamente más alta que la encontrada en la estación Planetario ($66 \mu\text{g}/\text{m}^3$), clasificando esta zona con la categoría de Aire Limpio, según el Artículo 5 del Decreto No. 638. Además, se evidenció que la estaciones INCE-Los Haticos (Municipio Maracaibo) y CANTV- San Francisco (Municipio San Francisco) registraron los mayores valores promedio de PTS ($121 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y ($105 \mu\text{g}/\text{m}^3$),

respectivamente. Asimismo, de las estimaciones realizadas se espera, con un 95% de confianza, que el promedio más elevado de PTS (115;127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ocurra en esta estación, probablemente debido a la influencia del parque automotor.

La estación Planetario presentó la mayor variabilidad en la serie de resultados de PTS obtenidos durante el mes de abril y en 1995, y la menor variabilidad en el mes de junio y en 1996, mientras que la estación INC-El Milagro presentó la mayor dispersión en el mes de febrero y en 1995 y la menor, en el mes de abril y en 1996, las estaciones INCE Los Haticos y CANTV-Los Olivos presentaron la mayor variabilidad en el mes de abril y en los años 1994 y 1992 respectivamente y la menor dispersión en los meses de octubre y agosto y en los años de 1995 y 1994 respectivamente. Las estaciones CANTV San Francisco y MAC El Manzanillo pertenecientes al municipio San Francisco presentaron la mayor variabilidad en los meses de marzo y junio y en los años 1994 y 1995 respectivamente, mientras que la menor dispersión se encuentra en los meses de

enero y julio y los años 1993 y 1996, respectivamente.

La dispersión de la serie de resultados de PTS obtenidos durante el lapso de muestreo (1991-1996) evidencia la ocurrencia de emisiones, tanto de origen natural como antropico, en los sectores evaluados.

En las Figuras 5 y 6 se muestran los niveles temporales (año y mes) en las diferentes estaciones de la Red-MECA. Se puede observar que la mayor concentración de PTS se encontró en el sector Los Haticos en el mes de abril de 1994, mientras la menor concentración de PTS se encontró en el sector Planetario en el mes de noviembre de 1995.

El promedio ponderado para las estaciones INC-El Milagro, INCE-Los Haticos, CANTV-San Francisco, MAC-El Manzanillo y CANTV-Los Olivos fue de 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente y para la estación Planetario de 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El promedio ponderado en toda la red fué de 106 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sin incluir la estación Planetario, superando de igual manera el límite permisible de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

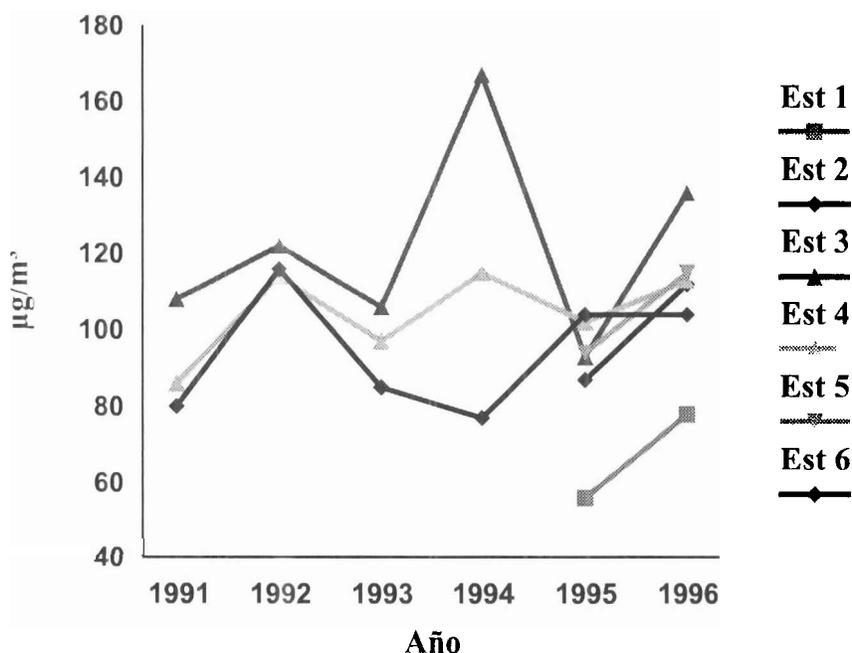


Figura 5. Comportamiento anual de PTS por estación. Red MECA.

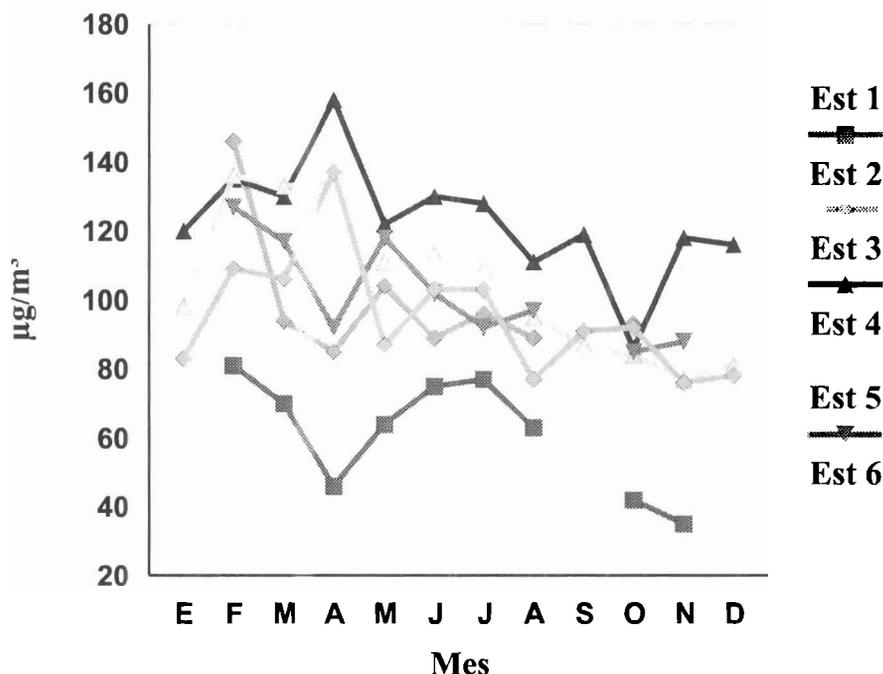


Figura 6. Comportamiento mensual de PTS por estación. Red MECA.

En la época de sequía, según el régimen anual de lluvia estadísticamente considerado, se encontraron los valores más altos de PTS ($116 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en comparación con la época de lluvia ($97 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Asimismo, los mayores valores de PTS se determinaron en febrero ($123 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y marzo ($114 \mu\text{g}/\text{m}^3$) correspondientes a meses de sequía y abril (lluvia) con una concentración igual a $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esto último difiere de lo esperado y tiene su explicación en lo expuesto en el análisis meteorológico. De igual manera, con un nivel de confianza del 95%, se estima que la verdadera concentración promedio de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se encuentre en el intervalo (110;121) para la época de sequía y (93;101) para la época de lluvia; lo cual era de esperarse, por cuanto la lluvia actúa como vía natural del lavado de la atmósfera.

Conclusiones

La concentración promedio de PTS obtenida en toda la red resultó igual a $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la cual se encuentra dentro del rango de concentración de $75\text{-}200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ clasi-

ficando a estos municipios con aire moderadamente contaminado por PTS (Decreto No. 638).

El promedio ponderado de PTS, excluyendo la estación Planetario (blanco), fue de $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo superior al límite permisible de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos en el Decreto 638.

Del total de muestras captadas (1991-1996) en la Red-MECA, los resultados mostraron 531 excedentes de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (69,92%); 94 excedentes de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (11,31%); 32 excedentes de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3,85%) y 11 excedentes de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1,32%), superando los límites permisibles establecidos en la normativa venezolana, obteniéndose en las estaciones INCE-Los Haticos ($121 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y MAC-El Manzanillo ($103 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y las mayores excedencias 80,35% y 80% respectivamente.

El estudio comparativo evidenció diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) de PTS entre año, mes, estación y época (lluvia y sequía), con un 95% de confianza.

La distribución de las partículas en los sectores evaluados muestra comportamientos específicos por estación; encontrándose la mayor variabilidad de las concentraciones de PTS en las estaciones I.N.C.-El Milagro e INCE-Los Haticos, siendo la estación Planetario, la época de lluvia y el año 1995 donde se determinó el menor grado de dispersión en la serie de resultados.

Se encontraron variaciones temporales y espaciales en la serie de resultados de PTS obtenidos en toda la red de estaciones de muestreo, con una tendencia creciente.

Se observa un comportamiento variable de PTS entre los años, meses, estación y época (lluvia y sequía), registrándose los mayores valores promedio de PTS en 1994 ($119 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en abril ($133 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en la estación INCE-Los Haticos ($121 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y en la época de sequía ($116 \mu\text{g}/\text{m}^3$), siendo en 1995 donde se presenta el menor valor promedio ($89 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Referencias Bibliográficas

- MORENO N., ALFARO M. Relación del aumento del material particulado con respecto al incremento de la flota vehicular. **Congreso Mundial sobre Contaminación del Aire en Países en Vías de Desarrollo**. Costa Rica (San José), pp. 236-241, 1997.
- GUTIÉRREZ H., ROMIEU I., ORELLANA G., VAN DER GOES T. **Contaminación del Aire y Riesgo para la Salud**. Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de México. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. México, pp. 30-120, 1995.
- HARRISON R., JONES M. **The Science of the Total Environment** 168: 195-214, 1995.
- MOON Ch., CARABIAS V., JUNKER M., WAEBER R., KARRER M, WANNER H. **Atmospheric Environment** 31: 2243-2247, 1997.
- AKBAR S., ASHMORE M. Contaminación del aire por partículas y morbilidad respiratoria: exposición personal en Delphi, y sus implicaciones. **Congreso Mundial sobre Contaminación del Aire en Países en Vías de Desarrollo**. Costa Rica (San José), pp. 514-525, 1997.
- MORALES J., SOSA DE B., GONZALEZ DE M., VELAZQUEZ H., CHIRINOS M., VACCA V. **Rev Tec de Ingeniería** 18: 1-22, 1995.
- ALBORNOZ A., SOCORRO E., RIVAS Z., DI DOMENICO A., MENDOZA H. **Contaminación atmosférica en la ciudad de Maracaibo** (Informe técnico), ICLAM, Maracaibo (Venezuela), pp 1-21, 1992.
- PEÑA M., GARCÍA N., LINARES M. Aporte de los compuestos antropogénicos de nitrógeno y partículas suspendidas en el aire de la zona nor-este de Maracaibo, **IX Jornadas Científico Técnicas de Ingeniería**. Maracaibo (Venezuela), pp. 151-159, 1995.
- GONZÁLEZ M., BORREGO B. Concentraciones de partículas inhalables y su contenido metálico (Pb, Cu, Mn, Ni y V) en el aire de una zona de la ciudad de Maracaibo (Trabajo de Ascenso), La Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), pp. 2-4, 1990.
- VELÁSQUEZ H. Determinación de los Niveles de Concentración de SO_2 , PST y SO_4 en el Aire de Zonas Adyacentes a una Planta Termoelectrica (M.Sc. Tesis) en Ciencias del Ambiente, Universidad del Zulia (LUZ), Facultad de Ingeniería, Maracaibo, pp. 4-10, 1990.
- U.S. Environmental Protection Agency. **National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter**. Federal Register, Vol. 52, EE.UU., 1987.
- República de Venezuela. Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica. **Gaceta Oficial de la República de Venezuela**. N° 4.899. Decreto N° 638. Caracas-Venezuela, 1995.
- Secretaría de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Ecología. **Informe de la Situa-**

- ción General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994.** México, pp. 213-234, 1994.
14. Oficina Central de Estadística e Informática (OCEI). Comunicación Personal.
 15. PARRA G. **La Conservación del Lago de Maracaibo. Diagnóstico Ecológico y Plan Maestro**, Departamento de Protección Integral y Relaciones Públicas de Lagoven S.A. Caracas (Venezuela), pp.3-5, 1986.
 16. Norma Venezolana Determinación de la Concentración de Partículas Suspendidas en la Atmósfera (PTS). COVENIN, No. 2060-83, Caracas-Venezuela, 1983.
 17. ROSS R. **La Industria y la Contaminación del Aire**, Editorial Diana, México, pp.50-69, 1974.
 18. Fuerza Aérea Venezolana, Servicio de Meteorología, Sistema CLICOM, Resumen Climatológico, Estación Maracaibo, 1997.
 19. DONN W. **Meteorología**, Editorial Reverté, Barcelona (España), 1978.
 20. ALFARO M., Monitoreo del aire en Centroamérica: Métodos y resultados. **Congreso Mundial sobre Contaminación del Aire en Países en Vías de Desarrollo.** Costa Rica (San José), pp. 294-300, 1997.
 21. ZOU L., HOOPER M. **Atmospheric Environment** 31(8):1167-1172, 1997.
 22. HARRISON R, SMITH D.J.T, CASTRO L.M. **Atmospheric Environment** 31(20):3309-3321, 1997.