

## Evaluación del contenido de sulfato, nitrato y cloruro en partículas totales suspendidas en la atmósfera de los Municipios Maracaibo y San Francisco Edo. Zulia-Venezuela. 1995-1998

Ángel C. Morillo E.\*, Ana I. Alborno P., Elsa E. Socorro H., Alexander G. Sánchez G., Wilmer E. Meza G. y Narly C. Pirela P.

Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM),  
Apartado 302. Maracaibo, Venezuela.

Recibido: 13-12-1999 Aceptado: 04-04-2001

### Resumen

Se determinaron los niveles de sulfato, nitrato y cloruro en Partículas Totales Suspendidas (PTS), durante 1995-1998, en una red de seis estaciones de muestreo. La concentración promedio de sulfato fue  $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; inferior al estándar establecido en Los Ángeles ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), siendo la estación MAC-El Manzanillo donde se encontró el mayor valor promedio ( $9,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y en la estación Paseo del Lago el menor valor promedio ( $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El promedio de nitrato fue de  $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; encontrándose el menor valor promedio ( $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en la estación Paseo del Lago y en la estación MAC-El Manzanillo el mayor valor promedio ( $0,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentración promedio de cloruro fue de  $10,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; presentando la estación INCE-Los Haticos el mayor valor promedio ( $12,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y la estación CANTV-San Francisco el menor valor promedio ( $8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En general, los resultados de las pruebas de hipótesis indicaron variaciones altamente significativas por mes y época, y no significativas para los factores estación, año y municipio.

**Palabras clave:** Calidad de aire; cloruro; nitrato; PTS; sulfato.

## Evaluation of sulfate, nitrate and chloride concentration in total suspended particles of the Maracaibo and San Francisco municipalities atmosphere, Zulia State, Venezuela. 1995-1998

### Abstract

During 1995-1998, the levels of sulfate, nitrate and chloride in Total Suspended Particles (TPS) was determined in a net of six sampling stations. The average sulfate concentration was  $8.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lower than Los Angeles standard ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), with the highest average value in the MAC-El Manzanillo station ( $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), and the lowest in the Paseo del Lago station ( $7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). The nitrate average was  $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , finding the lowest average value ( $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in the Paseo del Lago station, and the highest ( $0.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in the MAC-El Manzanillo station. The chloride average was  $10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; with the INCE-Los Haticos station showing the highest aver-

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

age value ( $12.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), and the lowest ( $8.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in the CANTV-San Francisco station. In general, the results of the hypothesis testing showed highly significant variations per month and season, and non-significant for the station, year, and municipality factors.

**Key words:** Air quality; chloride; nitrate; TPS; sulfate.

## 1. Introducción

Desde el inicio del urbanismo la contaminación por partículas ha sido un problema, debido a que las partículas presentan diversa composición química, también pueden llegar a producir contaminación en los suelos, al depositarse sobre los mismos y ser absorbidas en los procesos de riego o durante lluvias. Tanto las fuentes naturales como las antrópicas emiten partículas y óxidos de azufre y nitrógeno a la atmósfera, estas afectan la salud principalmente a través del sistema respiratorio, los daños dependen fundamentalmente del tamaño y composición de las partículas, de la tasa y sitio de deposición, y de la eficiencia del cuerpo para eliminarlas (1-3). El sulfato y nitrato atmosférico es el resultado de emisiones directas y de la oxidación del dióxido de azufre y nitrógeno que son emitidos a la atmósfera. En Europa las concentraciones de sulfato y nitrato han disminuido, debido a la reducción de las emisiones de dióxidos de azufre y el óxido de nitrógeno (4-6). En Venezuela se han efectuado algunos trabajos sobre la caracterización de los aerosoles atmosféricos en regiones de sabana, con especial énfasis en los períodos de quema de vegetación (7). El monitoreo de los iones sulfato, nitrato y cloruro han sido estudiados en estos municipios, siendo el ion sulfato el más estudiado y del cual se han encontrado concentraciones elevadas, no así para el dióxido de azufre, generando una base de datos importante para esta región (2,8,9). Por este motivo, es importante conocer los niveles de concentración de los principales iones en varios puntos de los municipios Maracaibo y San Francisco, en forma sistemática y oportuna, así como la meteorología de la región, a objeto de estudiar el comportamiento y transporte de estos contaminantes.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Descripción del sitio 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  $557 \text{ Km}^2$ , lo cual representa el 1,11% del territorio de este estado. Las estaciones seleccionadas en el Municipio Maracaibo fueron Planetario (blanco), Paseo del Lago, INCE-Los Haticos, y CANTV-Los Olivos, mientras que en el Municipio San Francisco fueron CANTV-San Francisco, Ministerio de Agricultura y Cría (MAC-El Manzanillo) (Figura 1). En estos municipios 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 estos municipios; además de la influencia del parque automotor, incineradores instalados en hospitales y edificios residenciales carentes en muchos casos de sistemas de control.

### 2.2 Recolección de las muestras

Se estableció un lapso de muestreo de dos años (1995-1998), realizándose trece ciclos de mediciones de mes y medio cada uno, con una frecuencia de cinco días, en períodos de muestreo de 24 h. Además, se consideraron las variaciones climatológicas y estacionales (épocas de sequía y lluvia) y los tipos y características de las fuentes de emisión más importantes del sector. Se captó un total de 528 muestras de PTS, utilizan-



Estación	Lat	Lon.
1 Planetario	N 10°48'8,4"	W71° 40'45,4"
2 Paseo del Lago	N 10° 39'20,2"	W71° 35'34,5"
3 INCE Los Hatillos	N 10°38'7,1"	W71° 37'01,7"
4 CANTV San Francisco	N 10° 34'13,9"	W71° 37'12,7"
5 MAC El Manzanal	N 10° 35'37,4"	W71° 37'50,7"
6 CANTV Los Olivos	N 10°40'51,8"	W71° 39'34,1"

Figura 1. Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de aire. Maracaibo, Edo. Zulia, Venezuela.

do Muestreadores de Aire de Gran Volumen (General Metal Works INC, Modelo GMWL-2000 H), utilizando filtros de fibra de vidrio (Whatman EPM 2000), con capacidad para permitir el paso de un flujo mínimo de aire de 40 pies<sup>3</sup>/min, reteniendo partículas con un diámetro igual o mayor de 0,3  $\mu\text{m}$ , a las cuales se les determinó sulfato, nitrato y cloruro (10).

### 2.3 Análisis de las muestras

La determinación de sulfato se realizó por el método turbidimétrico, cortando dos tiras de 1,9 x 20 cm, se le agregó 35 mL de

agua caliente, se dejó reposar por 40 min y se procedió a agitar por espacio de 20 min, la solución se filtró y trasvasó a un balón de 100 mL, luego se le agregaron 35 mL de agua caliente para asegurar la extracción, se filtró y la solución se aforó a 100 mL. A 25 mL de la muestra se le agregaron unos cristales de  $\text{BaCl}_2$  se mezclaron y se procedió a medir espectrofotométricamente a 420 nm. La concentración se determinó usando una curva de calibración previamente realizada con patrones de 1, 5, 10, 20, 30 y 40 ppm de sulfato. La concentración mínima detectable fue de 1 ppm de sulfato con una desviación

estándar de 0,1 ppm y un coeficiente de variación del 1,7% (11).

La determinación de nitrato se realizó por el método de reducción de cadmio, se cortó una tira de 1,9 x 20 cm, se le agregó 35 mL de agua caliente, se dejó reposar por 40 min y se procedió a agitar por espacio de 20 min, la solución se filtró y se trasvasó a un balón de 100 mL, luego se le agregaron 35 mL de agua caliente para asegurar la extracción, se filtró y la solución se aforó a 100 mL.

Se tomó 25 mL de la muestra se agregaron en un balón de 100mL se aforó con una solución de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -EDTA, se pasó por la columna, previo paso del blanco, patrones (0,05-1,0 ppm), descartando los primeros 25 mL de cada solución. Las muestras colectadas se analizaron colorimetricamente a 543 nm en celdas de 1 cm. La concentración mínima detectable fue de 0,1 ppm de nitrato con una desviación estándar de 0,005 ppm (11).

La determinación de cloruro se realizó por el método de electrodo selectivo, cortan-

do una tira de 1,9 x 20 cm, se le agregó 35 mL de agua caliente, se dejó reposar por 40 min y se procedió a agitar por espacio de 20 min, la solución se filtró y trasvasó a un balón de 100 mL, luego se le agregaron 35 mL de agua caliente para asegurar la extracción, se filtró y la solución se aforó a 100 mL.

Se realizó una curva de calibración de  $10^{-1}$  hasta  $10^{-5}$  M, luego se leyeron las muestras y se extrapolaron para conocer su concentración. La concentración mínima detectable fue de 2 ppm de cloruro con una desviación estándar de  $\pm 2\%$  (12).

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Sulfato ( $\text{SO}_4$ )

En la Tabla 1 y Figura 2, se presentan los niveles de concentración mensuales de sulfato ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en PTS determinados en la Red-MECA, correspondiendo al mes de Noviembre y en la estación INCE- Los Haticos el mayor valor promedio ( $15,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), este valor puede atribuirse al parque automotor

Tabla 1  
Concentraciones promedio mensual de Sulfato ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en PTS. Red-MECA, 1995-1998

Mes	Estación					
	Planetario	Paseo del Lago	INCE Los Haticos	CANTV Los Olivos	CANTV San Francisco	MAC El Manzanillo
Enero	2,8	3,6	4,4	3,8	4,9	4,6
Febrero	6,9	9,1	9,6	9,8	8,1	8,3
Marzo	10,3	8,4	7,8	9,4	9,2	9,1
Abril	9,8	9,9	9,8	6,9	10,8	12,8
Mayo	12,9	11,1	13,0	13,3	13,3	12,3
Junio	9,1	7,1	8,7	9,9	10,6	10,8
Julio	8,3	6,4	9,1	9,9	8,1	9,5
Agosto	8,2	6,7	9,0	6,4	7,2	10,7
Septiembre	3,6	2,9	1,8	3,5	3,3	2,9
Octubre	3,8	7,0	9,3	9,6	7,8	7,3
Noviembre	4,6	6,0	15,0	13,8	7,9	7,2
Promedio $\pm$ DE	7,6 $\pm$ 4,4	7,2 $\pm$ 4,6	9,1 $\pm$ 4,9	9,0 $\pm$ 4,9	8,7 $\pm$ 4,4	9,3 $\pm$ 5,1

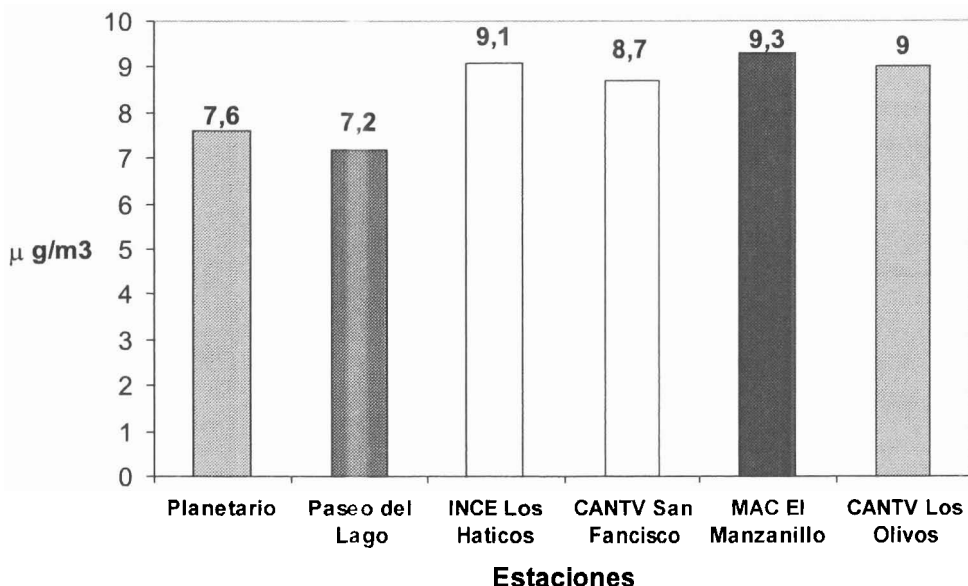


Figura 2. Comportamiento total de sulfato por estación. Red-MECA. 1995-1998.

reinante en la zona, mientras que el menor valor se encontró en el mes de septiembre ( $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en el cual se reportó una precipitación alta ( $168 \text{ mm}$ ). El promedio anual fue igual a  $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inferior al estándar ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) establecido por el Estado de Los Angeles (13). Sin embargo, los valores encontrados son muy cercanos a los reportados en ciudades altamente contaminadas como Los Angeles ( $15,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Pensilvania ( $13,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), esto puede atribuirse a la oxidación del azufre del combustible, durante el proceso de combustión en las calderas de alta presión de una central eléctrica. La estación que presenta el mayor valor promedio ( $9,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) fue MAC-El Manzanillo, lo cual era de esperarse debido a su ubicación vientos abajo de la Planta Termoeléctrica donde se utilizan combustibles como Búnker C, Gasoil, entre otros. El menor valor fue registrado en la estación Paseo del Lago  $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . No se encontraron diferencias significativas entre los factores municipio y época, mientras que las variables estación mes y año presentaron diferencias significativas con un 95% de confianza, se determinó una mayor uniformidad en la serie

de resultados de sulfato en la estación CANTV-San Francisco y mayor dispersión en las estaciones INCE-Los Haticos y MAC-El Manzanillo, según los valores de la desviación estándar y rango intercuartil.

En la Figura 3, se muestran los resultados de sulfato ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en PTS por mes, se observa que el mes de septiembre presentan el menor valor ( $3,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mientras, que el mayor valor promedio se obtuvo en el mes de mayo ( $12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En la Tabla 2 se indican los valores de sulfato ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en PTS por época (lluvia y sequía) y año (1995-1998), siendo la época de sequía donde se presentan el menor valor promedio ( $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) correspondiente al año de 1997, sin embargo no existen diferencias significativas entre estos factores, lo cual puede atribuirse al desfase del régimen anual de lluvias presentado entre 1995 y 1998, como se muestra en las Tablas 3 y 4.

Estudios previos realizados en zonas adyacentes a una Planta Termoeléctrica en la Ciudad de Maracaibo, muestran un valor promedio anual de  $7,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2), siendo el encontrado para la época seca de  $6,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$

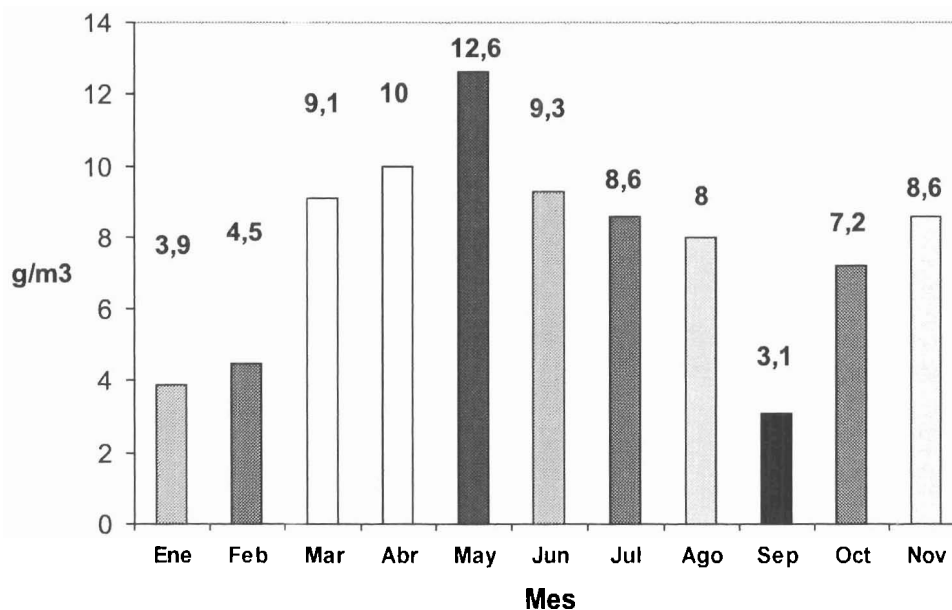


Figura 3. Comportamiento total de sulfato por mes. Red-MECA. 1995-1998.

Tabla 2  
Concentraciones promedio de Sulfato ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) por época y año. Red-MECA, 1995-1998

Año	Época		Promedio
	Lluvia	Sequía	
1995	12,0	9,1	10,8
1996	9,6	12,9	10,7
1997	5,0	3,6	4,4
1998	4,91	6,4	5,4

y para la época de lluvia  $8,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , estos resultados son inferiores a los determinados en este estudio para las épocas de sequía ( $8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y lluvia ( $9,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En Venezuela no se han establecido límites de sulfato en partículas totales suspendidas, sin embargo en un estudio realizado sobre varias comunidades de los Estados Unidos de Norteamérica, reveló que existe una relación entre algunos tipos de morbilidad y los niveles de sulfato en un rango de concentraciones de  $6-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para 24 horas de exposición. Sobre esta base, existe la posibilidad que habitantes de estos Municipios puedan presentar problemas respiratorios debido a

los niveles relativamente altos de sulfatos. Por otro lado, investigaciones realizadas en áreas marinas remotas y en regiones continentales remotas han encontrado niveles de concentración base para sulfato en el orden de  $0,06-1,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2,8).

Los concentraciones de sulfato encontradas en este estudio son similares a los obtenidos en Alemania y superiores al valor promedio ( $5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), obtenido en la ciudad de Bélgica (6). Por otra parte, estudios realizados en ciudades europeas revelan que, una elevada radiación solar disminuye la formación de aerosoles de sulfato. Sin embargo, en los municipios estudiados existe

Tabla 3  
Precipitación mensual (mm), 1995-1998. Estación meteorológica BARU

Año	Mes												Anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1995	-	-	6,8	-	72,9	12,2	48,6	164,8	125,2	65	2,7	8,4	507
1996	-	0	0,8	3,5	9,1	14,5	31	59,8	89,1	54,2	67	3,3	332
1997	5,2	1,1	-	1,2	2,8	109,7	14,2	16,7	125,3	54,7	39,9	-	370,8
1998	-	0,1	1,3	8,3	33,7	85,7	72,3	90,5	168,6	123	90,7	74	748,2

Fuente: Fuerza Aérea Venezolana (FAV) (14).

Tabla 4  
Resumen climatológico anual

Año	Factor				
	Precipitación (mm)	Dirección prevalectante del viento	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1995	507	NE	3,30	28,6	76
1996	332	NE	2,04	28,47	78
1997	371	NE	2,96	29	79
1998	748	NE	2,2	29,4	78

Fuente: Fuerza Aérea Venezolana (FAV).

una alta radiación solar y los niveles de sulfato son 1,5 veces superiores a los reportados por Arends *et al.* (6) en el período de 1975 a 1991 esto puede atribuirse a la oxidación de SO<sub>2</sub> provenientes de industrias adyacentes a la zona de estudio (Planta termoeléctrica, Refinerías entre otras).

### 3.2. Nitrato (NO<sub>3</sub>)

En la Tabla 5 se muestran los valores mensuales y por estación de muestreo de nitrato (µg/m<sup>3</sup>) en PTS. El valor promedio anual en las seis estaciones fue de 0,6 µg/m<sup>3</sup>, aproximadamente igual al encontrado en otras zonas del Municipio Maracaibo (0,55 µg/m<sup>3</sup>), reportado por Peña *et al.* e inferior al valor de 0,85 µg/m<sup>3</sup> reportado como valor base promedio no urbano remoto (15). Resultando las estaciones CANTV San Francisco, MAC El Manzanillo y CANTV Los Olivos con el mayor valor promedio (0,7 µg/m<sup>3</sup>), mientras que las estaciones Planetario y Pa-

seo del Lago reportaron el menor valor promedio (0,5 µg/m<sup>3</sup>). Los mayores valores promedios de nitrato se encontraron en los meses de lluvia (valores mayores a 10 mm) mayo (1,0 µg/m<sup>3</sup>) y octubre (1,0 µg/m<sup>3</sup>) en las estaciones Planetario y CANTV Los Olivos respectivamente, mientras que el menor valor promedio fue en el mes de sequía (valores menores a 10 mm) abril (0,1 µg/m<sup>3</sup>) en la estación Planetario y Paseo del Lago. De acuerdo con lo expresado por Hildeman (16) en 1984, condiciones de alta humedad relativa, temperaturas elevadas y alta irradiación solar debería favorecer la formación de NO<sub>3</sub> en la época de lluvia, tesis que es evidenciada, a pesar de los bajos niveles reportados, presentando 1998 el mayor valor promedio (0,7 µg/m<sup>3</sup>), lo cual se explica por la marcada influencia del factor precipitación. La época de lluvia presentó un mayor valor promedio (0,6 µg/m<sup>3</sup>) que la época de sequía (0,5 µg/m<sup>3</sup>), es de hacer notar que la precipi-

Tabla 5  
Concentraciones promedio mensual de Nitrato ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en PTS. Red-MECA. 1995-1998

Mes	Estación					
	Planetario	Paseo del Lago	INCE Los Haticos	CANTV Los Olivos	CANTV San Francisco	MAC El Manzanillo
Enero	0,4	0,5	0,7	0,5	0,8	0,7
Febrero	0,5	0,6	0,9	0,6	0,7	0,9
Marzo	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8
Abril	0,1	0,1	0,5	0,6	0,8	0,8
Mayo	1	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8
Junio	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,9
Julio	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
Agosto	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6
Septiembre	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3
Octubre	0,4	0,6	0,6	1,0	0,7	0,7
Noviembre	0,3	0,4	0,6	0,8	0,6	0,5
Promedio $\pm$ DE	$0,5 \pm 0,3$	$0,5 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,3$
Promedio por Municipio	Maracaibo = 0,5			San Francisco = 0,7		

tación en estos dos Municipios ha presentado una gran variabilidad, como se muestra en la Tabla 4. Se encontraron diferencias altamente significativas entre los factores estación, municipio, mes, año y época.

### 3.3. Cloruro (Cl)

El total de muestras captadas para la determinación de cloruro en PTS no excedió a los límites permisibles establecidos en el Decreto No. 638 ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), referente a las Normas sobre Calidad de Aire y Control de la Contaminación Atmosférica (17) En la Tabla 6 se observan los valores de cloruro mensuales y por estación de muestreo, el mayor valor promedio ( $28,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se encuentra en las estación MAC-El Manzanillo. Se observa, además, que las mayores concentraciones de este ion se encuentran en el mes de abril en todas las estaciones, mientras que el menor valor promedio se obtuvo para el mes de sep-

tiembre. La variable año presentó el mayor valor promedio en 1995 ( $12,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que el menor valor se presenta en la estación CANTV San Francisco ( $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Con respecto a la variable época, se presentó el mayor valor en sequía ( $13,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Con un 95% de confianza se encontraron diferencias altamente significativas en las variables época, año y mes, no así para la variables estación de muestreo y municipio, donde se encontraron diferencias no significativas en la serie de resultados de cloruro.

Utilizando un modelo estadístico iterativo se estimaron las concentraciones en 1999, las cuales resultaron ser de  $8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el sulfato,  $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el nitrato y  $10,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el cloruro. Al correlacionar las variables sulfato, nitrato, cloruro y partículas totales suspendidas (18), aplicando matrices de correlación éstas resultaron no significativas con un 95% de confianza, lo



Tabla 6  
Concentraciones promedio mensual de Cloruro ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Red-MECA. 1995-1998

Mes	Estación					
	Planetario	Paseo del Lago	INCE Los Haticos	CANTV Los Olivos	CANTV San Francisco	MAC El Manzanillo
Enero	11,7	12,1	9,6	11,7	13,2	11,2
Febrero	19,4	14,9	22,2	16,2	12,9	15,3
Marzo	22,4	17,1	19,1	18,5	13,8	22,3
Abril	26,5	22,8	21,8	26,2	25,1	28,5
Mayo	18,0	11,4	20,7	15,0	13,2	16,7
Junio	7,9	6,5	9,6	8,6	7,8	9,1
Julio	8,8	6,1	8,2	15,2	6,1	8,1
Agosto	6,3	3,7	6,9	4,8	4,3	4,6
Septiembre	1,5	5,1	2,8	2,2	0,9	2,9
Octubre	4,5	4,1	4,6	5,4	4,4	5,9
Noviembre	6,8	5,8	6,3	5,8	4,7	7,4
Promedio $\pm$ DE	11,6 $\pm$ 10,3	8,8 $\pm$ 8,1	12,2 $\pm$ 11,3	11,5 $\pm$ 13,3	8,7 $\pm$ 6,4	11,2 $\pm$ 8,8
Promedio por Municipio	Maracaibo = 11,0			San Francisco = 9,9		

cual permite suponer que la fuente de dichas variables es de naturaleza distinta.

En la Tabla 7 se comparan los valores de otros trabajos hechos en Maracaibo y otras partes de Venezuela, así como valores de otros países.

#### 4. Conclusiones

La zona estudiada presenta concentraciones atmosféricas de sulfato inferiores al estándar de calidad de aire, establecido en el Estado de los Angeles (USA). Las concentraciones de sulfato resultaron superiores a estudios realizados en el Municipio Maracaibo, evaluado en años anteriores, aun descartando el aporte de los aerosoles marinos. La concentración promedio anual ( $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de sulfato fue superior a lo establecido por otros investigadores, quienes aseguran la afectación de la salud cuando un individuo

se expone a una concentración de sulfato entre  $6-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El ion cloruro no excedió al límite establecido en la normativa venezolana vigente (Decreto 638).

Las concentraciones promedios y las desviaciones estándar de sulfato, nitrato y cloruro se encontraron en el orden de  $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 4,8$ ;  $0,61 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 0,3$  y  $10,7 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 9,9$  respectivamente.

Las máximas concentraciones de sulfato ( $24,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y cloruro ( $106,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se encontraron en las estaciones CANTV Los Olivos, mientras que la máxima concentración del ion nitrato ( $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se encontró en la estación MAC El Manzanillo.

Las mínimas concentraciones de sulfato ( $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), nitrato ( $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y cloruro ( $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se encontraron en las estaciones MAC El Manzanillo, Planetario y Paseo del Lago respectivamente.

Tabla 7  
Valores promedio de sulfato, nitrato y cloruro en Maracaibo, Venezuela y otros países

Sitio	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ref
Maracaibo (1995-1998)	8,48	0,60	10,45	-
La Esperanza	9,05	1,20	3,90	3
Catatumbo	6,50	1,50	1,65	3
San Joaquín del Tigre	0,58	3,1	4,50	3
Estado Bolívar	—	2,55	2,45	3
Chaguaramas	—	2,7	3,85	3
Maracaibo (1989)	7,59	—	—	2
Áreas Remotas	0,06			7
Pennsylvania	13,20			13
Los Angeles	15,50			13
Bélgica	5,5			6
Sitios de Reino Unido Urbano	5,8	1,9	0,4	5
Sitios de Reino Unido Urbano	5,3	1,7	0,2	5
Canadá	3,8	0,7	-	19
Averío Portugal	7,9	3,9	4,84	20

### Referencias Bibliográficas

1. ROM W. *Environmental and Occupational Medicine*. Second Edition. U.S.A. pp. 982-990, 1992.
2. VELÁSQUEZ H. Determinación de los Niveles de Concentración de SO<sub>2</sub>, PST y SO<sub>4</sub> en el Aire de Zonas Adyacentes a una Planta Termoeléctrica (M.Sc. Tesis en Ciencias del Ambiente), Universidad del Zulia Maracaibo (Venezuela), pp. 4-10, 1990.
3. MORALES J. Estudio sobre composición química de las deposiciones atmosféricas en la cuenca del Lago de Maracaibo (Dr. Tesis en Ciencias mención Química), Universidad Central de Venezuela Caracas (Venezuela), pp. 4-10, 1992.
4. JANSSEN L., VISSER H., ROMER F. *Atmospheric Environment* 23: 2783-2796.
5. HARRISON R., JONES M. *The Science of the Total Environment* 168: 195-214, 1995.
6. ARENDS B., BAARD J., TEN BRINK H. *Atmospheric Environment* 31 (24): 4063-4072.
7. SANHUEZA E., RONDON A., ROMERO J. *Atmospheric Environment* 21: 2227-2231, 1987.
8. BARRIOS M., GARCIA, N., LINARES M. Contribución de Fuentes Regionales a las Concentraciones Atmosféricas de Partículas Suspendedas Totales y Compuestos de Azufre en la Zona Nor-Este de Maracaibo. *IX Jornadas Científico Técnicas de Ingeniería*, Maracaibo (Venezuela), pp. 136-142, 1995.
9. MORILLO A., ALBORNOZ A., SOCORRO E. Evaluación del contenido de sulfato, nitrato y cloruro en partículas totales suspendidas en la atmósfera de los municipios Maracaibo y San Francisco Edo. Zulia-Venezuela. 1995-1996. *X Jornadas Científico Técnicas de Ingeniería*, Maracaibo (Venezuela), pp. 96-101, 1998.

10. COVENIN. **Norma Venezolana Determinación de la Concentración de Partículas Suspendidas en la Atmósfera (PTS)**. No. 2060-83, Caracas-Venezuela, 1983.
11. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater American**. Public Health Association (APHA). American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). 19<sup>th</sup> edition. Washington. D.C. U.S.A, 1995.
12. **Instruction Manual**. Orion Research Incorporated Laboratory Products Group, Chloride Electrode and model 96-17B combination chloride, 1980.
13. INTERNET, Reporte anual para la ciudad de Los Angeles entre 1995-1996, pp. 1-3, 1997.
14. FUERZA AÉREA VENEZOLANA, Servicio de Meteorología, Sistema CLICOM, **Resumen Climatológico**, Estación Maracaibo, 1997.
15. 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.
16. HILDEMANN L. **Atmos Environ** 18: 1737-1747, 1984.
17. Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica. **Gaceta Oficial de la República de Venezuela** No. 4899. Decreto No. 638. Caracas-Venezuela, 1995.
18. ALBORNOZ A., SOCORRO E., MORILLO A. **Comportamiento Temporal y Espacial del Contenido de Partículas Totales Suspendidas en la Atmósfera de los Municipios Maracaibo y San Francisco. Estado Zulia, Venezuela. Años 1991-1997** (Informe técnico), ICLAM, Maracaibo (Venezuela), pp. 52-53.
19. BROOK J., WIEBE A., WOODHOUSE S., AUDETTE C., DANN T., CALLAGHAN S., PIECHOWSKI M., DABEK-ZLOTORZYNSKA E., DLOUGHY J. **Atmos Environ** 31: 4223-4236, 1997.
20. PIO C., SANTOS I., ANACLETO T., NUNES T., LEAL R. **Atmos Environ** 25A: 669-680, 1991.