



DISTRIBUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN LA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA PERIODO 2008

Angélica Patricia Garrido Galindo

Yiniva Camargo Caicedo

Universidad del Magdalena

Recibido: agosto 31, 2011 Aceptado: noviembre 15, 2011

Pág. 89-101

Resumen

La zona costera del Departamento del Magdalena se encuentra influenciada por el tráfico vehicular, por algunos eventos de origen natural como el desnudamiento de los cerros a causa de las condiciones climáticas, y por la presencia de empresas dedicadas a la producción de cemento, aceite, cerveza, cereales y al transporte del carbón. La influencia de las actividades realizadas sobre esta zona dieron origen a este estudio con el objetivo de determinar la distribución temporal de las partículas suspendidas totales (PST) en la zona costera del Departamento del Magdalena, a través del análisis las concentraciones de partículas suspendidas totales de ocho estaciones de monitoreo de la red de calidad del aire operada por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena-CORPAMAG, durante el año 2008, utilizando las herramientas Microsoft® Excel, Statgraphics Centurión XV y Golden Surfer versión 9.0. El estudio registró que, durante el primer semestre del año 2008, se presentaron las medias geométricas mensuales más altas en las estaciones del Aeropuerto y CAJAMAG y que el límite anual para partículas suspendidas totales no es superado en ninguna estación. Espacialmente, las comunas más influenciadas por la presencia de altas concentraciones de PST corresponden a las comunas 8, 4 y 2.

Palabras Claves: Partículas Suspendidas Totales, Zona Costera, Calidad de Aire, Salud Humana, Distribución Temporal, Distribución Espacial.

Abstract

The coastal area of the department of Magdalena is currently influenced by vehicular traffic, by natural events like bearing of the hills due to climatic effects, and by the presence of companies dedicated to the production of cement, oil, beer, cereals, and coal transportation. The influence of the activities developed on the coastal area allowed carrying out the study to determine the temporal distribution of total suspended particles (PST) in the Magdalena's coastal zone, through the analysis of TSP concentrations from eight monitoring stations of the air quality network managed by CORPAMAG during 2008, using Microsoft® Excel, Statgraphics Centurion XV and Golden Surfer 9.0. The study shows that during the first half of 2008, the highest monthly geometric mean is shown at stations Airport and CAJAMAG and the TSP yearly limit was not exceeded by any station. Spatially, the communities most influenced by the presence of high concentrations of TSP correspond to communes 8, 4 and 2.

Keywords: Total Suspended Particles, Coastal Area, Air Quality, Human Health, Temporal Distribution, Spatial Distribution.

1 Introducción

La contaminación atmosférica por material particulado se define como la alteración de la composición natural de la atmósfera como consecuencia de la entrada en suspensión de partículas, ya sea por causas naturales o por la acción del hombre [1]. Por su comportamiento aerodinámico es posible dividirlos en dos grandes grupos: partículas sedimentables y partículas suspendidas totales, estas últimas definidas como material particulado que incluye tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras, que no se sedimentan en periodos cortos sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad [2].

Las fuentes de partículas suspendidas son diversas y abarcan desde las naturales como polvo volcánico y tolvaneras, hasta las de origen antropogénico, que incluyen fábricas de acero, plantas de generación de energía, cementeras, fundidoras, obras de construcción y demolición, hornos y chimeneas que utilizan madera como combustible [3].

En América Latina existen estudios que registran la tasa de mortalidad con base a las concentraciones de Partículas Suspendidas Totales (PST), por ejemplo en diferentes distritos de la ciudad de Rio de Janeiro (Brasil) se observó una relación entre los niveles anuales de PST y la tasa de mortalidad por neumonía en lactantes. Por cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las PST se estimó un incremento de la mortalidad infantil por neumonía de 2,2 por cada 10.000 habitantes. Por otro lado en el Valle de Aburrá (Colombia), se evaluaron los efectos a la salud de acuerdo al nivel de exposición de un grupo de personas, los resultados mostraron que los individuos con mayor exposición son más vulnerables al riesgo de sufrir el fenómeno de obstrucción broncopulmonar, adicionalmente presentaron enfermedades con síntomas específicos y con mayor intensidad como dolor de cabeza, congestión nasal, ardor en los ojos, dificultad para respirar y garganta irritada [4, 5, 6, 7].

2 Metodología

El estudio se ejecutó en la zona costera del Departamento del Magdalena (Figura 4a). En general presenta un clima cálido, afectado por los vientos del Caribe, temperatura máxima promedio anual de $34,2^\circ\text{C}$, media anual de $27,4^\circ\text{C}$ y mínima anual de $20,8^\circ\text{C}$. El promedio mensual de evaporación es de 166.0 mm presentando las máximas de agosto a diciembre y el periodo de mínimas entre septiembre y noviembre. Los valores de evapotranspiración potencial de todos los meses están por encima de los 50 mm [8]. Las precipitaciones del año 2008 en la zona presentaron sus más bajos valores durante los meses de enero a marzo (0,00 mm), y registraron los valores más altos durante los meses de septiembre, octubre y noviembre con promedios de 132,1 mm, 96,1 mm y 84 mm respectivamente [9]. Los vientos (Figura 4a) provienen generalmente de Norte presentando valores máximos en los meses de febrero, marzo y abril. Entre los meses de junio y septiembre la dirección sur muestra registros importantes [10]. La zona se encuentra influenciada por el tráfico vehicular, por algunos eventos de origen natural como el desnudamiento de los cerros a causa de las condiciones climáticas y por la presencia de empresas dedicadas a la producción de cemento, aceite, cerveza, cereales y al transporte del carbón.

La investigación desarrollada fue de tipo cuantitativo y descriptivo, se analizaron estadísticamente las concentraciones de partículas suspendidas totales, a partir de los datos de las concentraciones de partículas proporcionados por ocho estaciones de monitoreo (INVEMAR, Batallón, Centro Ejecutivo, CAJAMAG, Aeropuerto, Don Jaca, Alcatraces y Papare) durante el año 2008, instaladas por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORPAMAG en puntos críticos de emisión y que hacen parte de la red de monitoreo de calidad del aire. Inicialmente se recolectaron y organizaron los datos proporcionados por las estaciones de monitoreo, empleando las herramientas Microsoft® Excel, esto con el fin de conservar ordenados los registros para su posterior comparación con la norma diaria y anual para concentraciones de PST, y para la aplicación de la prueba de Kruskal Wallis con el programa estadístico Statgraphics Centurion XV, y así determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los meses de cada estación de monitoreo analizada. Para la elaboración de las isopletas se utilizó el programa Golden Surfer Versión 9.0. Los datos de concentración de PST tomados de las estaciones de monitoreo de CORPAMAG se encuentran a condiciones locales de presión y temperatura, por tanto se ajustó la norma diaria y la norma anual para PST que aparece en la Resolución 610 de 2010, a condiciones locales. Como resultado del ajuste se obtuvieron los valores de 98,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la norma local anual y 294,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la norma local diaria. Se aplicó la ecuación presentada en el anexo 1 de la Resolución 601 de 2006:

$$N.L. = [N.C.R. * (p.b.local/760)] * [298^\circ K * (273+t^\circ C)]$$

3 Resultados y discusión

3.1 Concentraciones PST en la zona costera del Departamento del Magdalena

3.1.1 Concentraciones diarias de PST para las ocho estaciones de monitoreo de calidad del aire

La comparación de los valores diarios registrados por las ocho estaciones de monitoreo analizadas se realizó con base a la norma local diaria (294,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Para el primer semestre del año 2008 las concentraciones diarias más altas se presentaron en la estación Aeropuerto los días 7 de enero y 1 de marzo con valores de 251,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 236,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ninguna de las estaciones excedió los límites para PST diarios establecidos en la normativa. Por otro lado, las concentraciones mínimas se registraron en las estaciones de Alcatraces y Papare los días 12 de mayo y 9 de mayo con valores de 35,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 21,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

Para el segundo semestre las concentraciones diarias más altas se registraron en las estaciones de Aeropuerto e INVEMAR, los días 20 de julio y 25 de agosto con valores de 176,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 225,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ninguna de las estaciones excedió el límite normativo para PST diario. Las mínimas concentraciones se presentaron en las estaciones Don Jaca y Papare los días 28 de agosto y 2 de noviembre con valores de 15,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 13,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En ambas temporadas la ausencia de datos obedeció a fallas en el fluido eléctrico.

3.1.2 Medias geométricas mensuales de la concentración de PST

Debido a que no existe una normativa de calidad de aire que establezca los límites permisibles para concentraciones mensuales de PST, se tomó como nivel de referencia el valor de 98,22 µg/m³ [2]. En la Tabla 1 se muestran de manera detallada los estadísticos básicos de cada una de las ocho estaciones de monitoreo analizadas. De la misma manera en las Figuras 1 y 2 se observa el comportamiento de las concentraciones de PST durante los doce meses evaluado.

Tabla 1. Estadísticos Básicos de PST

MES	Estadísticos	ESTACIÓN							
		*APTO	Alcatraces	Batallón	*C.Ejec.	Cajamag	Don Jaca	Invenmar	Papare
ENE	Media G.	204,84	77,94	72,06	74,03	81,34	83,75	117,29	72,83
	Máximo	251,1	89,2	94,4	97,5	113,5	101,2	174,8	93,5
	Mínimo	140,9	65,6	52,4	39,5	56,4	69,4	93,9	51,4
	DesvEst	37,42	10,22	16,87	17,24	20,22	9,72	29,60	14,14
	CV	0,18	0,13	0,23	0,23	0,24	0,12	0,25	0,19
FEB	Media G.	175,79	85,88	94,33	93,52	103,80	98,62	105,93	94,39
	Máximo	224,5	97,1	158,7	131,8	137,10	110,6	164,7	115,1
	Mínimo	116,9	76,2	66,5	72,2	82,5	90,3	40,6	82,1
	DesvEst	35,49	6,82	40,67	23,31	24,12	9,52	39,17	12,85
	CV	0,20	0,08	0,41	0,24	0,23	0,10	0,34	0,14
MAR	Media G	138,25	84,45	106,93	106,51	109,01	96,07	113,18	97,15
	Máximo	236,7	98,4	154,3	133,3	162,5	110,4	179,5	123,6
	Mínimo	86,1	68,2	83,5	90,4	77,3	84,4	75,4	74,4
	DesvEst	47,88	8,23	23,19	16,76	28,97	9,10	29,65	18,12
	CV	0,33	0,10	0,21	0,16	0,26	0,09	0,25	0,18
ABR	Media G.	114,34	83,70	89,52	104,03	97,13	81,50	102,74	104,11
	Máximo	178,2	109,7	135,5	143,3	130,3	112,2	211,9	130,6
	Mínimo	72,3	64,8	65,5	88,3	76,9	57	52,4	81,6
	DesvEst	37,24	15,92	19,85	18,20	15,97	17,59	46,00	23,13
	CV	0,31	0,19	0,22	0,17	0,16	0,21	0,42	0,22
MAY	Media G.	82,05	61,40	78,58	94,89	98,68	67,13	85,70	54,29
	Máximo	104,3	86,7	114,0	133,5	127,5	90,1	142,2	93,6
	Mínimo	61,7	35,8	55,6	61,5	56,3	38,2	63,9	21,2
	DesvEst	16,50	16,55	19,31	23,19	23,43	18,08	28,59	30,30
	CV	0,20	0,26	0,24	0,24	0,23	0,26	0,32	0,49
JUN	Media G.	109,97	67,83	107,40	107,73	120,27	54,40	109,76	58,02
	Máximo	144,1	93,5	170,1	149,0	224,4	76,2	163,1	93,8
	Mínimo	79,3	44,6	67	74,1	72,6	39,1	81	38,3
	DesvEst	18,48	14,91	35,14	23,55	42,58	12,97	24,50	19,93
	CV	0,17	0,22	0,31	0,21	0,34	0,23	0,22	0,33
JUL	Media G.	78,66	60,32	78,68	107,37	113,10	50,75	95,93	40,30
	Máximo	176,8	107,1	104,2	160,9	160	76,6	123	60,2
	Mínimo	50,6	37,6	46,6	76,3	78,4	34,3	79,7	27
	DesvEst	37,52	21,57	18,96	25,37	27,18	12,20	11,83	10,85
	CV	0,45	0,34	0,23	0,23	0,23	0,23	0,12	0,26
AGO	Media G.	58,24	46,71	72,23	95,10	83,85	33,52	73,38	33,98
	Máximo	92,4	61	130	147,2	143,7	55,6	225,7	58,4
	Mínimo	28,4	33,4	31,3	64,6	58,5	15,6	28,6	16,5
	DesvEst	19,28	10,72	29,41	22,79	23,68	12,69	58,19	14,71
	CV	0,31	0,22	0,38	0,23	0,27	0,36	0,67	0,40
SEP	Media G.	43,58	38,66	57,77	89,68	102,71	30,98	57,09	30,40
	Máximo	86,7	58	73,5	144,7	137,9	45,5	80,2	42,2
	Mínimo	22,9	30	29,5	67	84,1	25,5	23,6	22,7
	DesvEst	22,37	7,57	13,40	23,25	14,98	6,42	16,96	7,40
	CV	0,47	0,19	0,23	0,25	0,14	0,20	0,28	0,24
OCT	Media G.	41,90	34,98	54,53	85,73	90,39	34,91	73,96	32,23
	Máximo	75	41	86,3	118,2	119,8	43	99,4	45,1
	Mínimo	19,3	28	34,7	67	53,5	25,3	47,4	21,3
	DesvEst	18,33	3,86	16,16	13,66	18,65	5,36	16,80	7,22
	CV	0,40	0,11	0,29	0,16	0,20	0,15	0,22	0,22
NOV	Media G.	47,69	34,71	47,18	69,85	73,59	29,44	53,18	27,08
	Máximo	72,8	53,7	94,8	95,7	131,9	38,7	92,2	50
	Mínimo	28,2	20,9	24,6	49,1	35,9	15,7	26,9	13,3
	DesvEst	14,70	10,33	21,48	13,81	27,94	6,80	19,00	12,23
	CV	0,30	0,29	0,42	0,19	0,36	0,22	0,34	0,42
DIC	Media G.	64,81	49,00	68,17	78,16	90,03	43,28	74,27	38,21
	Máximo	108,7	61,1	118,2	116,9	141,1	54,3	123,6	55,2
	Mínimo	37,2	33	26,3	62,5	63,6	32,7	18,3	24
	DesvEst	20,17	8,53	30,66	16,43	24,35	6,95	28,65	9,77
	CV	0,30	0,17	0,41	0,21	0,26	0,16	0,35	0,25

*APTO: Aeropuerto *C. EJEC: Centro Ejecutivo

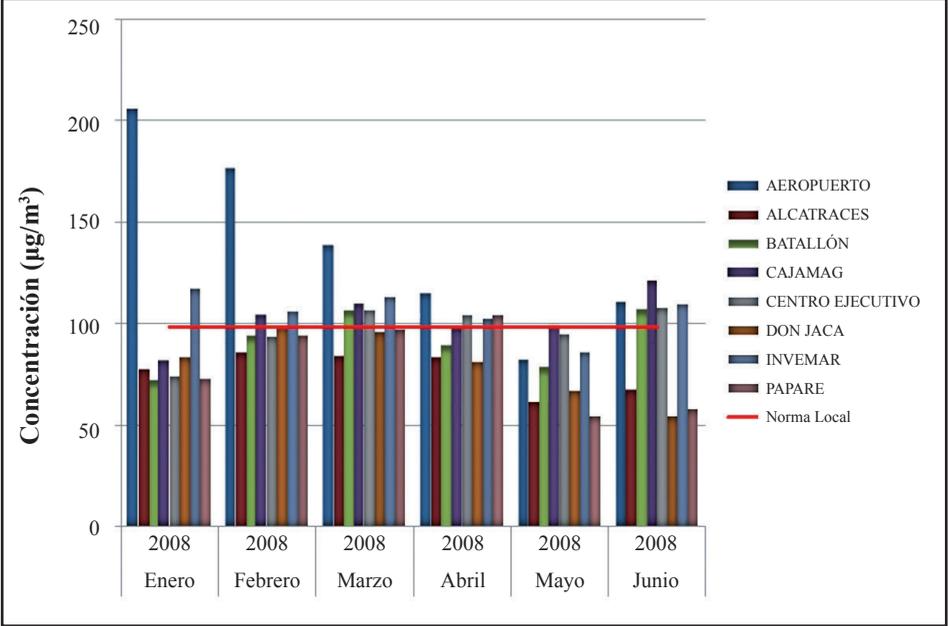


Figura 1. Media geométrica mensual de la concentración de PST para las ocho estaciones de monitoreo en el I semestre de 2008.

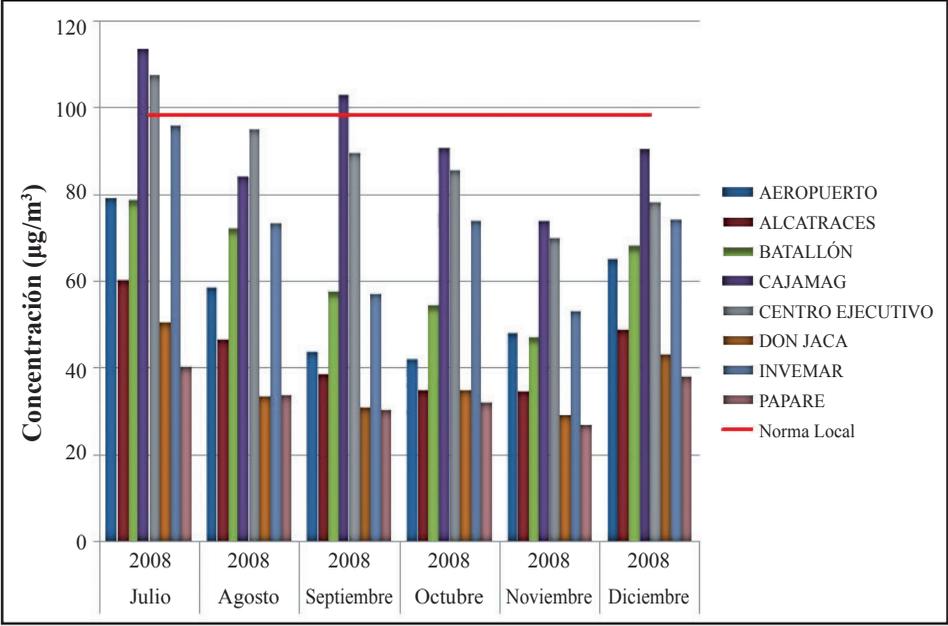


Figura 2. Media geométrica mensual de la concentración de PST para las ocho estaciones de monitoreo en el II semestre de 2008.

La Figura 1 reporta que las estaciones en donde se obtuvo mayor número de medias geométricas mensuales que excedieron los $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, durante el primer semestre del año 2008 corresponden a INVEMAR, Aeropuerto, y CAJAMAG con 5 medias geométricas cada una.

Las medias geométricas mensuales más altas (Figura 1) se obtuvieron en la estación Aeropuerto con valores de $204,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $175,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de enero y febrero, respectivamente. Las medias geométricas mensuales más bajas se presentaron en la estación Alcatraces y Papare, en el mes de mayo con valores de $54,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $61,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Figura 2 registra que las estaciones con mayor número de medias geométricas mensuales que excedieron los $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (nivel de referencia), durante el segundo semestre del año 2008 corresponden a CAJAMAG con 2 medias geométricas mensuales, seguida por Centro Ejecutivo con 1 media geométrica mensual.

Las medias geométricas mensuales más altas (Figura 2) se obtuvieron en la estación de CAJAMAG con valores de $113,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en julio, mientras que las medias geométricas mensuales más bajas se presentaron en la estación Don Jaca y Papare en el mes de noviembre con valores de $29,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $27,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

A partir de los resultados del primer y segundo semestre del año 2008, la estación con mayor número de medias geométricas mensuales que excedieron los $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ corresponden a CAJAMAG con un total de 7 medias geométricas, seguida por la estación de Aeropuerto con 5; mientras que las estaciones con menor número de medias geométricas que superaron el límite de referencia, corresponden a las estaciones Alcatraces y Papare.

3.1.3 Medias geométricas anuales de la concentración de PST en la zona costera del Departamento del Magdalena

En ninguna de las estaciones de monitoreo analizadas las concentraciones de PST superaron el límite anual de $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las estaciones de CAJAMAG y Centro Ejecutivo registraron concentraciones cercanas al límite anual para PST, las estaciones restantes mostraron niveles muy por debajo del límite anual establecido por el Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.

3.2 Análisis estadístico

La distribución que siguen los datos evaluados se desconoce, por tanto se utilizó un método no paramétrico, la prueba de Kruskal Wallis que es similar a la ANOVA y permite analizar estadísticamente el comportamiento de las variables identificadas en el presente estudio [12].

La prueba de Kruskal Wallis que evalúa la hipótesis de que las medianas de la concentración en cada estación son iguales dentro de los 12 meses del año analizado, registró que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los doce meses evaluados en las ocho estaciones, con un nivel de confianza del 95%, debido a que los valores de P para cada uno de los meses fue menor de 0,05.

A pesar de que la prueba reportó que existía una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de los meses analizados en todas las estaciones, en el gráfico de caja y bigotes de las estaciones de Aeropuerto, Alcatraces, Batallón, CAJAMAG, Centro

Ejecutivo, Don Jaca, INVEMAR y Papare (Figura 3) se observaron similitudes entre las medianas de algunos meses. Las similitudes se presentaron principalmente en las medianas de varios meses del segundo semestre en las estaciones de Aeropuerto, Alcatraces, Don Jaca y Papare.

En la estación Aeropuerto, Alcatraces, Don Jaca, INVEMAR y Papare se observó en general una mayor dispersión de los datos durante los meses de abril y mayo, mientras que en la estación de CAJAMAG y Batallón se evidenció mayor dispersión en el mes de junio. La menor dispersión de los datos en la mayoría de las estaciones analizadas ocurrió en los meses de noviembre y octubre, probablemente debido a la temporada de lluvias en la zona.

En las estaciones de Alcatraces y Don Jaca las medias aritméticas se encontraron entre los rangos de 40-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en las estaciones de CAJAMAG e INVEMAR entre los rangos de 80-125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y en las estaciones de Batallón y Centro Ejecutivo, se encontraron entre los rangos de 60- 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; además se presentó un comportamiento ligeramente estable durante los meses pertenecientes al segundo semestre en cada estación analizada, a diferencia de los datos correspondientes al primer semestre en donde se observan curvas con picos en los meses de febrero y marzo en la mayoría de las ocho estaciones.

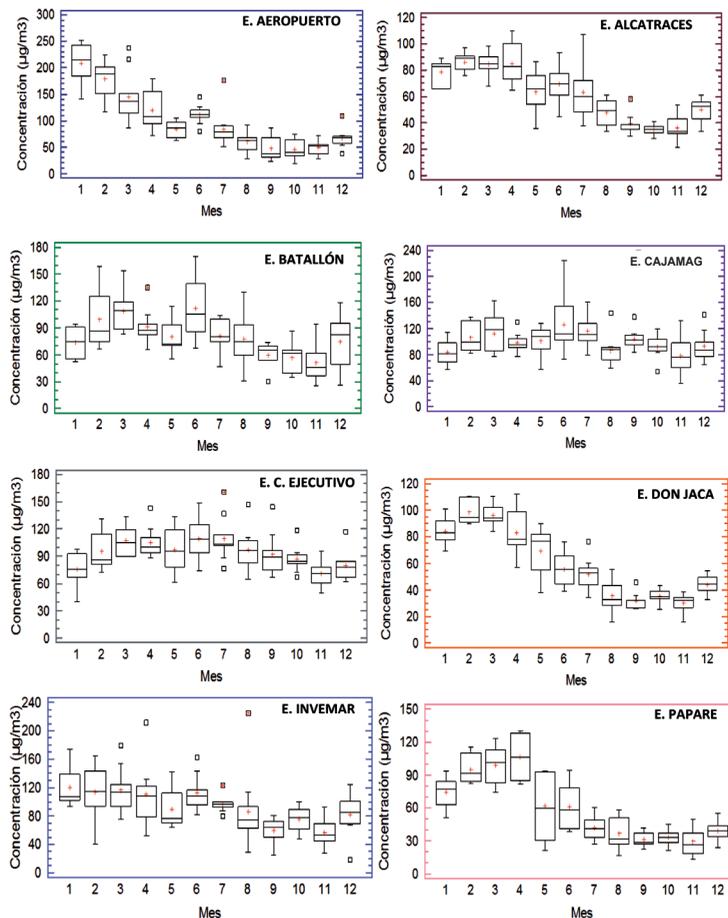


Figura 3. Gráfico de Caja y Bigote de las ocho estaciones evaluadas.

Por otro lado al observar las isoplethas con las concentraciones más representativas del año 2008 (Figura 4b-d) se identificaron comportamientos similares en las concentraciones de PST de los meses de enero, febrero, marzo y abril (I semestre), y entre los meses pertenecientes al segundo semestre en donde las concentraciones registradas estuvieron por debajo del nivel tomado como referencia. En la figura 4b-d se observa que las concentraciones más altas ocurrieron durante el primer semestre, específicamente en los meses de enero y febrero en la estación del Aeropuerto ubicada en la comuna 8, mientras que las concentraciones más bajas de éstos dos meses se presentaron en la estación de Alcatrazes, ubicada un poco más al sur de la comuna 8. Adicionalmente se observó que las concentraciones durante los meses mencionados disminuyen en dirección Oeste a Este.

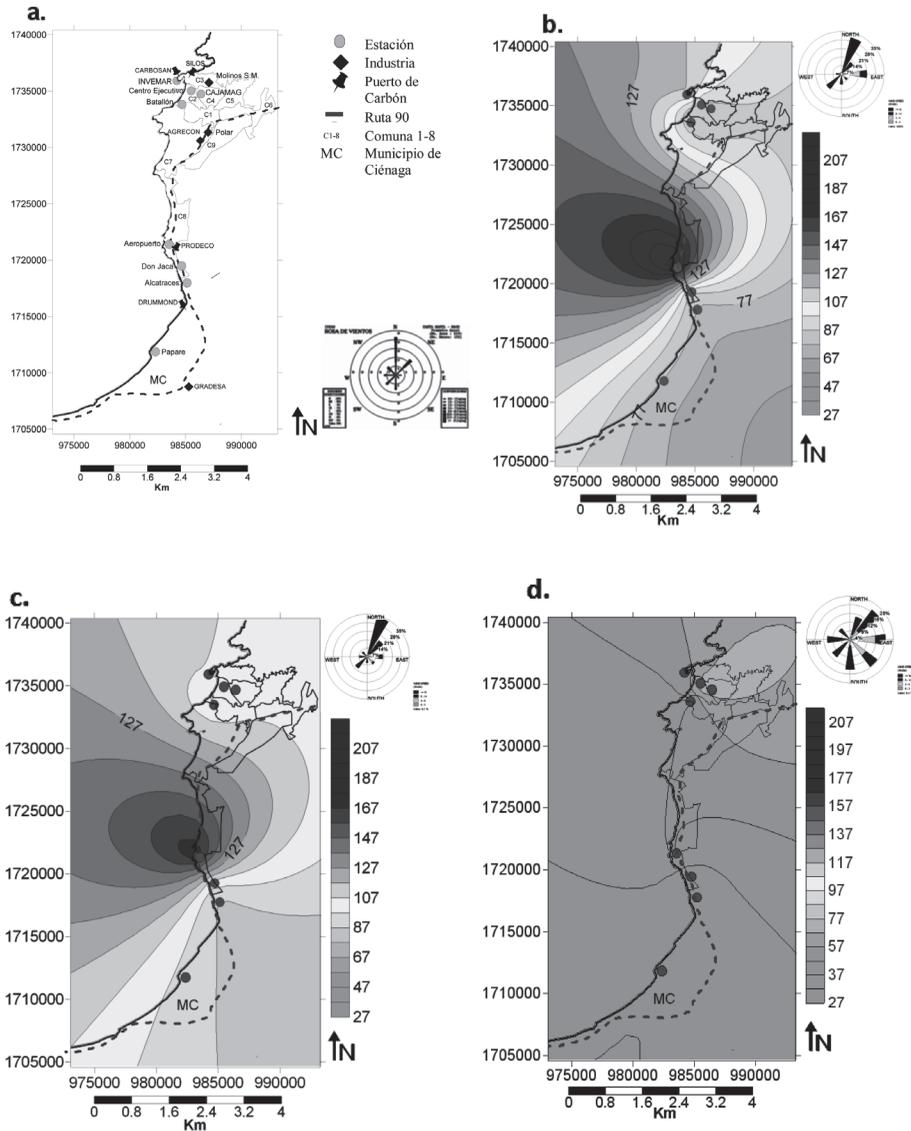


Figura 4. a. Estaciones de Monitoreo CORPAMAG, dirección y velocidad del viento en zona costera año 2008 b. Isopleta Enero 2008 c. Isopleta Febrero 2008 d. Isopleta Noviembre 2008.

Las concentraciones más bajas del año 2008 (Figura 4b-d) ocurrieron en los meses pertenecientes al segundo semestre septiembre, octubre, noviembre y diciembre, ninguna de las estaciones superó los $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tomado como nivel de referencia, sin embargo las estaciones de Centro Ejecutivo y CAJAMAG, ubicadas en la comuna 2 y 4 respectivamente, estuvieron cerca de superar el nivel de referencia. Las concentraciones disminuyen en dirección Norte a Sur, y mostraron un patrón de dispersión conforme a la dirección del viento en cada uno de los casos. Teniendo en cuenta los resultados registrados en las isopletras, en el año 2008 las comunas mayormente influenciadas por altas concentraciones de PST corresponden a la comuna 8 (cerca de la estación aeropuerto), comuna 4 y comuna 2 (perímetro urbano), aunque éstas dos últimas en menor medida.

En general, en el estudio se evidencia que los meses con mayores concentraciones de PST en cada una de las ocho estaciones evaluadas corresponden a los meses que forman parte del primer semestre del año 2008, especialmente los meses de febrero y marzo, y en algunas estaciones como Aeropuerto e INVEMAR se observaron también altas concentraciones durante el mes de enero, probablemente por la influencia de los períodos secos registrados en el sector, teniendo en cuenta que durante el segundo semestre del año, es decir durante los meses de julio a diciembre se registraron mayores niveles de precipitación en comparación con los registrados durante los meses de enero-junio, lo que contribuye a la disminución en la dispersión de las partículas y por ende a la obtención de registros con valores de concentraciones más bajos, y es consecuente con los resultados publicados en los estudios de SIMAT [2001], García et al. [2002] y CESEL Ingenieros [2007], en los que exponen claramente la influencia de la época climática en las concentraciones de material particulado.

Se observaron similitudes con la investigación desarrollada en la ciudad de Santa Marta, durante febrero de 2004 y marzo de 2005 por García *et al.* [2006], en el que las medias geométricas mensuales más altas se obtuvieron durante el mes de febrero. El anterior comportamiento fue confirmado por el gráfico de caja y bigotes, en el que a pesar de existir diferencias estadísticamente significativas entre los doce meses en cada estación, evidenció un comportamiento estadístico similar con relación a cada semestre notándose la formación de grupos similares en el segundo semestre y la formación ocasional de grupos similares en el primer semestre. Los grupos formados durante el segundo semestre muestran claramente concentraciones más bajas y estables, con relación a los meses pertenecientes al primer semestre que reportaron concentraciones más altas y variables con relación a cada mes.

De las ocho estaciones analizadas, las altas concentraciones registradas en las estaciones del Aeropuerto e INVEMAR durante el periodo de monitoreo, pueden estar influenciadas por las actividades portuarias desarrolladas en la zona, estudios en el sector reportan la generación de partículas por el aerosol marino [17] y durante las actividades de almacenamiento, desembarque y transporte final del carbón a través de las bandas transportadoras [18], adicionalmente en Camargo y Pérez [2009] se expone que se deben reforzar las medidas de manejo implementadas en los puertos de la zona, para evitar perturbaciones a los residentes ubicados cerca del área de influencia. Por su parte las altas concentraciones obtenidas en la estación de CAJAMAG, en comparación con las ocho

restantes pueden estar asociadas al tráfico vehicular urbano y a la presencia de fuentes fijas como Molinos Santa Marta [19].

Es conveniente aclarar que si bien las distintas actividades desarrolladas en la zona costera ejercen una influencia sobre las concentraciones de PST en el sector como se especificó anteriormente, es difícil determinar la influencia directa de las actividades sin realizar un análisis mineralógico del material particulado, que permita identificar la composición del mismo y de esta manera relacionar directamente las concentraciones de PST con la fuente de emisión. Sin embargo un estudio desarrollado en el 2005 por Manjarrés *et al.*, en un sector de la ciudad de Santa Marta confirma la presencia de elementos dentro del material particulado como carbón de combustión (6-12 μm), halita (2-7,2 μm) y fracción de arcilla (3-7 μm), que pueden estar relacionados con las actividades desarrolladas en la zona.

4 Conclusiones

El estudio registra que en la mayoría de las ocho estaciones evaluadas los meses con más altas concentraciones de PST corresponden a los meses de febrero y marzo, mientras que los meses con menores concentraciones corresponden a los meses de octubre y noviembre pertenecientes al segundo semestre del año 2008.

Las estaciones con mayores registros de PST son las estaciones de Aeropuerto y CAJAMAG, con medias geométricas mensuales de 204,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 175,79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la estación Aeropuerto en el mes de enero y febrero, y 113,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la estación de CAJAMAG en julio. Las estaciones con menores registros de PST son las estaciones de Don Jaca y Papare con medias geométrica mensuales de 29,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 27,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, durante el mes de noviembre. Las altas y bajas concentraciones están relacionadas con la ubicación de las estaciones, por lo general las estaciones localizadas cerca a actividades industriales y portuarias presentan mayores concentraciones, sin embargo es necesario realizar un análisis mineralógico que permita atribuir directamente a este tipo de actividades las altas concentraciones de partículas suspendidas totales.

En ninguna de las ocho estaciones evaluadas se superó la norma anual de 98,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo la estación de CAJAMAG y Centro Ejecutivo, reportaron valores cercanos al límite anual, a diferencia de las seis estaciones restantes, por lo tanto se recomienda centrar la atención en las dos estaciones mencionadas para implementar acciones que eviten el incremento de las concentraciones de partículas suspendidas totales.

La prueba de Kruskal Wallis con un nivel de confianza del 95% indicó que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las concentraciones de PST de los doce meses, en las ocho estaciones evaluadas: Aeropuerto, Alcatraces, Batallón, CAJAMAG, Centro Ejecutivo, Don Jaca, INVEMAR y Papare.

Igualmente se evidenció la influencia de la precipitación en las concentraciones registradas por las ocho estaciones, presentando mayores registros en el primer semestre, caracterizado por niveles de precipitación más bajos con relación a los presentados en el segundo semestre.

Referencias bibliográficas

- [1] Querol, X. (2005). Congreso Nacional del Medio Ambiente 8. Cumbre del Desarrollo Sostenible. El Material Particulado Atmosférico. España. http://www.conama8.org/modulodocumentos/documentos/AEs/AE9/AE9_doc_XavierQuerol.pdf. 22/08/2009.
- [2] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 610 de 2010, por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. MAVDT. Bogotá. 2010. 4p
- [3] Pérez, H., Lunagómez, M. y Acosta, L. (2010). Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y Partículas fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco. Revista Universidad y Ciencia Trópico Húmedo. 26 (2): 151-162.
- [4] OMS - Organización Mundial de la Salud (2004). Guías para la calidad del aire: Niveles y tendencias de contaminación del aire. Lima, Traducido por agencia especializada de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS), 18-78p. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/fulltext/guiaaire.pdf>- 02/09/2009.
- [5] Hernández, L., Barraza, A., Ramírez, M., Moreno, H., Miller, P., Carbajal, L. y Romieu, I. (2007). Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación con la contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Revista Salud Pública de México. Vol. 49 (1): 27-36.
- [6] Muñoz, A.; Paz, J. y Quiroz, C. (2007). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de adultos que laboran en diferentes niveles de exposición. Revista Facultad Nacional de Salud Pública. 25 (2): 85-94.
- [7] Muñoz, F. y Carvalho, M. (2009). Efecto del tiempo de exposición a PM10 en las urgencias por bronquitis aguda. Revista Cad. Saúde Pública. 25 (3): 529-539.
- [8] CORPAMAG - Corporación Autónoma Regional del Magdalena e IC&C - Instituto de Capacitación y Consultoría Ltda. 2002. Caracterización del Departamento del Magdalena por Unidades Fisiográficas. 221p.
- [9] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM Mayo de 2011.
- [10] Ambiental Consultores (2010). Modificación del Plan de Manejo Ambiental Proyecto Puerto Río Córdoba: Capítulo 3 Caracterización del área de Influencia del proyecto. Bogotá (Colombia).
- [11] CORPAMAG – Corporación Autónoma Regional del Magdalena (2008). Informe mensual de resultados Red de Monitoreo de Calidad del Aire enero-diciembre. 100p. <http://www.corpamag.gov.co/>. 25/03/2010.

- [12] Montgomery, D. y Runger, G. (2003). *Applied Statistic and Probability for Engineers: Nonparametric Statistics*. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. 976p.
- [13] SIMAT- Sistema de Monitoreo Atmosférico (2001). Informe del Estado de la Calidad del Aire tendencias 2001, para la Zona Metropolitana del Valle de México: Capítulo 7. Comportamiento Estacional de los contaminantes atmosféricos en la ZMVM. 47 – 53p. http://www.paot.org.mx/centro/libros/anual_aire2001/. 30/05/2009.
- [14] García, N., Machado, A., García, César., Socorro, E., Hernández, H. y Granda, N. (2002). Concentraciones atmosféricas de PST y su contenido de metales en una zona adyacente a una planta de cemento. *Revista Interciencia*. 27 (9): 476 - 481.
- [15] CESEL Ingenieros (2007). Estudio de Plan de Manejo Ambiental de las Operaciones de Embalse y Desembalse del Lago Chinchaycocha. 2-31p. http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/estudios/plan_cierre_pasivos/5344%20Informe_FINAL%20PARTE%20VI.pdf. 30/05/2011.
- [16] García, F., Agudelo, R. y Jiménez, K. (2006). Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 24 (2): 73-82.
- [17] Hurtado, Y. y Vergara, E. (2007). Determinación de la variación temporal y espacial de partículas suspendidas totales (PST) utilizando el modelo ISCST. Santa Marta, 102 p. [CD-ROM]. Tesis (Ingeniero Ambiental y Sanitario). Universidad del Magdalena. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.
- [18] Camargo, Y. y Pérez, P. (2009). Partículas Suspendidas Totales en el aire de la Zona Costera del Departamento de Magdalena – Colombia. Art. de Revisión. *Revista Inge- CUC*. 5 (5): 43-54.
- [19] Manjarrés García, G.; Manjarrés Pinzón, G. y Linero Cueto, J. (2005). Composición y Concentración de Material Particulado en el aire de un sector del área urbana de Santa Marta (Magdalena, Colombia). *Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*. 2 (1): 23-33.
- [20] Pachón, E. y Sarmiento, H. (2008). Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia. *Revista Facultad Ingeniería Universidad de Antioquia*. No 43: 120-133.
- [21] Red de Vigilancia de la Calidad del Aire (2005). Protocolo para el muestreo de Partículas Suspendidas Totales (PST) utilizando el equipo muestreador de alto volumen HI-VOL. Medellín. <http://www.unalmed.edu.co/redaire/protocolos.html>. 03/09/2009.
- [22] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2005). Análisis e Interpretación de Datos de la Calidad del Aire. Bogotá. 19p.

- [23] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de operación de sistemas de Vigilancia de la calidad del aire. Bogotá (2010). 141p.
- [24] Swisscontact - Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico (2001). Programa Aire Puro. Monitoreo del Aire. Manual de Laboratorio. Suiza.

Dirección de las autoras

Angélica Patricia Garrido Galindo
Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales –GIMSA,
Universidad del Magdalena, Santa Marta - Colombia
garridogap@gmail.com

Yiniva Camargo Caicedo
Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales –GIMSA,
Universidad del Magdalena, Santa Marta - Colombia
ycamargo@unimagdalena.edu.co