

Temporary Space Distribution of Total Suspended Particles in the Department of Magdalena Coastline, During the 2006 – 2009 Period

Angélica Patricia Garrido Galindo

Yiniva Camargo Caicedo

Universidad del Magdalena

Received: September 11, 2013

Accepted: December 19, 2013

Pag. 59-72

Abstract

This is a quantitative and descriptive study. Its aim is to determine the spatial and temporal distribution of total suspended particles (TSP) in the Magdalena's coastal zone, through the analysis concentrations of TSP in eight monitoring stations belonging to the CORPAMAG air quality network, during the years 2006-2009. The study showed that in the first half of 2007 the concentration of TSP presented the highest monthly geometric mean at stations Airport and CAJAMAG, with concentrations of $220.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. The TSP's yearly limit ($98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) was exceeded in the years 2006 and 2007 for CAJAMAG and airport station. The spatial graphics with Golden Surfer 9.0 showed that the mainly affected areas with high TSP's concentrations in 2006-2009 were communes 3, 4 and 8, located near the INVEMAR, CAJAMAG and the airport monitoring station.

Keywords: Particulate Matter, Environmental Health, Air Quality, Public Health, Environmental Pollution.

Distribución del espacio temporal de partículas suspendidas totales en la zona costera del departamento del Magdalena en el periodo 2006-2009

Resumen

El estudio desarrollado fue de tipo cuantitativo y descriptivo. Buscó principalmente determinar la distribución espacial y temporal de las partículas suspendidas totales - PST en la zona costera del departamento del Magdalena a través del análisis de las concentraciones de PST de ocho estaciones de monitoreo de la red de calidad del aire de CORPAMAG durante los años 2006-2009. La investigación mostró que en el primer semestre de los cuatro años analizados el 2007 presentaron las medias geométricas mensuales más altas en las estaciones del aeropuerto y CAJAMAG con concentraciones de $220,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. El límite anual de $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PST fue superado en los años 2006 y 2007 por las estaciones del aeropuerto y CAJAMAG. Las representaciones espaciales desarrolladas con Golden Surfer versión 9.0 mostraron que las áreas mayormente influenciadas con altas concentraciones de PST en los años 2006-2009 fueron las comunas 3, 4 y 8, ubicadas cerca a la estación de monitoreo del INVEMAR, CAJAMAG y el aeropuerto.

Palabras clave: material particulado, salud ambiental, calidad de aire, salud pública, contaminación ambiental.

1 Introducción

La ausencia de sistemas de control de emisiones de partículas suspendidas totales en las áreas geográficas donde son generadas, propicia una serie de impactos sinérgicos que inciden en el campo económico, estético y de salud pública.

Las partículas pequeñas (2,5 micras) ingresan hasta las partes más finas del sistema respiratorio de los seres humanos (alvéolos) donde depositan sustancias altamente tóxicas y a veces cancerígenas como metales pesados e hidrocarburos [1]. Diferentes estudios en Latinoamérica registran la tasa de mortalidad basados en las concentraciones de material particulado; por cada aumento en las partículas suspendidas totales se estimó un incremento en la mortalidad infantil [2, 3]. En este contexto, la implementación en Colombia de los sistemas de vigilancia de calidad del aire permite el monitoreo continuo de numerosos contaminantes y el seguimiento a las concentraciones de partículas suspendidas totales, contribuyendo con ello al control y mejoramiento de la calidad del aire [4].

Entre el distrito de Santa Marta y el municipio de Ciénaga (Magdalena), sector donde se encuentra instalada la red de calidad del aire de CORPAMAG, la operación de tres terminales para la exportación de carbón y el desarrollo de actividades a nivel industrial pueden influir en la calidad del aire de la zona. Por tanto la presente investigación pretende analizar los datos arrojados por las estaciones de la red y conocer la distribución espacial y temporal de Partículas Suspendidas Totales (PST) a lo largo de la zona costera del departamento del Magdalena – ZCDM, identificar las estaciones con mayores registros de concentraciones de partículas y observar la tendencia de aumento o disminución a través de los años evaluados.

Lo anterior permitirá obtener información valiosa de las tendencias estadísticas de las concentraciones de PST en la zona costera durante los años 2006-2009, que a futuro cercano se convertirá en una base para la elaboración de estudios continuos en la zona y de medidas correctivas en el caso de las concentraciones que se encuentran por encima de los límites permisibles y por tanto que constituyen algún riesgo para los habitantes de la zona estudiada. Además constituye un fundamento para el diseño del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire, la información proporcionada por este estudio sobre las concentraciones de PST contribuirá con el plan de monitoreo de la ZCDM, y de esta manera será parte importante de las actividades de seguimiento y vigilancia de la calidad del aire que deben realizarse en la zona, y que están regidas por la Resolución 650 de 2010, modificada por la Resolución 2154 de 2010, en las que se hace énfasis en la adopción del Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire por todo el territorio nacional. Es conveniente anotar que los resultados mostrados son una continuación de la publicación Distribución espacio temporal de partículas suspendidas totales en la zona costera del departamento del Magdalena período 2008 [5].

2 Metodología

La investigación se desarrolló en la zona costera del departamento del Magdalena (Figura 5a), específicamente entre el distrito de Santa Marta y el municipio de Ciénaga. El clima de la zona es cálido, se encuentra afectado por los vientos del Caribe, presenta un porcentaje de humedad relativa comprendido entre 80-90%, temperatura máxima media anual entre 28-32°C, temperatura mínima media anual entre 20-24 °C y precipitación total anual de 500-1000 mm. El período de mayores precipitaciones corresponde a los meses pertenecientes al segundo semestre (Figura 1a y Figura 1b); principalmente durante agosto, septiembre y octubre [6, 7]. Prevalcen los vientos provenientes del Noroeste con velocidades superiores a 4 m/s durante la época seca mayor que comprende el período diciembre-abril [8].

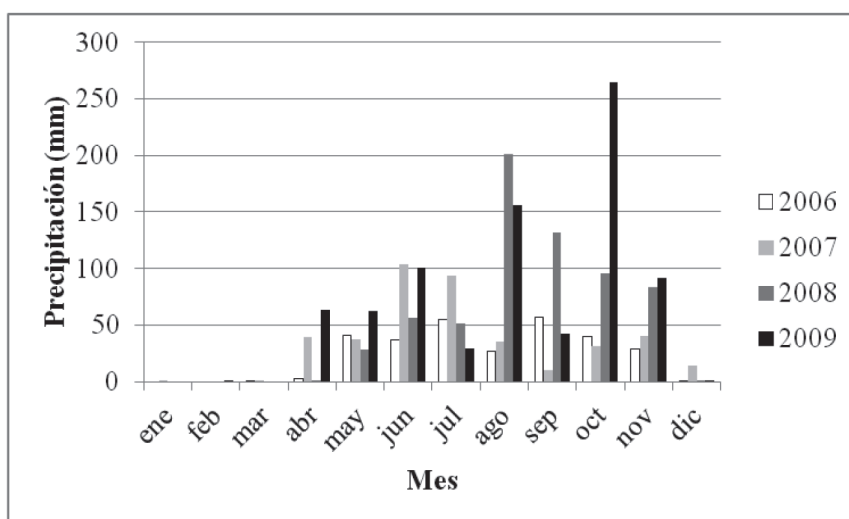


Figura 1a. Precipitación mensual estación Aeropuerto Simón Bolívar
Fuente: IDEAM, 2011.

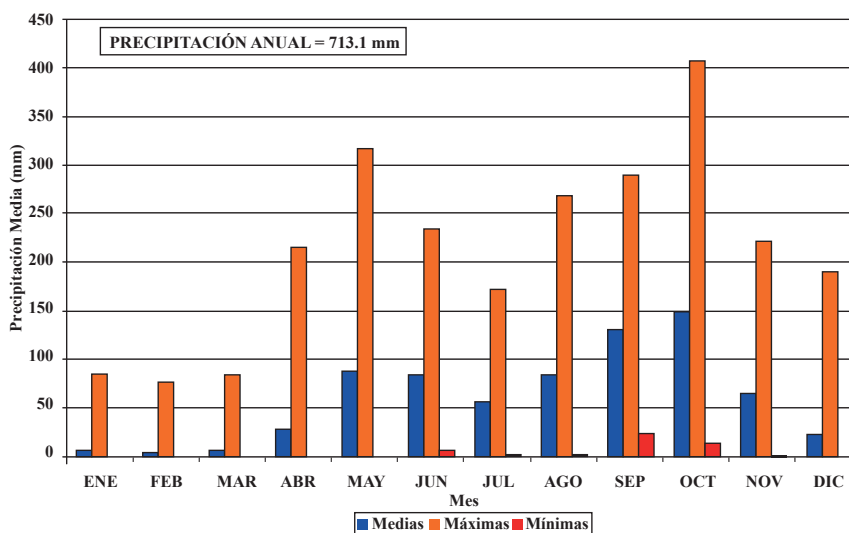


Figura 1b. Precipitación media anual de municipio de Ciénaga período 2009. Estación La Ye.
Fuente: Ambiental Consultores, 2010.

El estudio realizado fue de tipo cuantitativo y descriptivo, se analizaron estadísticamente las concentraciones de partículas suspendidas totales de los años 2006-2009, 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) pertenecientes a la red de calidad del aire de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORPAMAG en puntos críticos de emisión. Para la elaboración de las ANOVAS que permitieron establecer el comportamiento estadístico de los datos se utilizó el programa Statgraphics Centurion XV y para la identificación de las áreas de mayor influencia de partículas suspendidas totales en la ZCDM se empleó el software Golden Surfer Versión 9.0, que interpola datos en XYZ irregularmente espacializados, a una cuadrícula regularmente espacializada, a través del método Kriging.

Se elaboró un análisis de varianza multifactorial ANOVA [11] con las ocho estaciones divididas en I y II semestre de cada año con el fin de obtener una aproximación al comportamiento estadístico de los datos evaluando los efectos estadísticamente significativos de dos factores (mes y año) sobre la concentración de PST. Los datos se trabajaron de esta manera para garantizar principalmente la visibilidad en la presentación de resultados, para cumplir con el supuesto de normalidad de los datos y para aplicar la prueba paramétrica – ANOVA. Se utilizó el Statgraphics Centurion XV para la aplicación del test de normalidad, sólo los datos de la estación de CAJAMAG en el I semestre y la estación de Alcatraces en el II semestre no cumplieron con el supuesto de normalidad necesario para la realización del análisis de varianza.

Las concentraciones de PST registradas en las ocho estaciones de monitoreo de CORPAMAG se presentaron a condiciones locales de temperatura y presión, en consecuencia se ajustaron los valores límite de la Resolución 610 de 2010 a condiciones locales, para la norma local anual el valor fue de $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se aplicó la siguiente ecuación plasmada en el anexo 1 de la Resolución 601 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial:

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

Donde:

NL: Norma de la calidad del aire local

NCR: Norma de calidad del aire a condiciones de referencia

p.b local: Presión barométrica promedio local en mm de mercurio

t°C: Temperatura ambiente promedio local, en grados centígrados

3 Resultados

Teniendo en cuenta el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, para la estimación de los valores medios de PST se utilizó el promedio geométrico y no el promedio aritmético [14].

3.1 Medias geométricas mensuales de la concentración de partículas suspendidas totales en la ZCDM

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 $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para el primer semestre las medias geométricas mensuales más altas (Figura 2) se obtuvieron en la estación Aeropuerto con valores de $205,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $220,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en enero y febrero de 2007 respectivamente. Las medias geométricas mensuales más bajas se presentaron en la estación Aeropuerto y Alcatraces en los meses de junio de 2009 con valores de $31,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $33,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Para el segundo semestre las medias geométricas mensuales más altas (Figura 2) se obtuvieron en la estación de Aeropuerto con valores de $149,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $187,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en diciembre de 2006 y 2007 respectivamente, mientras que las medias geométricas mensuales más bajas se presentaron en la estación Don Jaca y Papare en el mes de noviembre de 2008 con valores de $29,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $27,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Teniendo en cuenta los resultados del primer y segundo semestre de los cuatro años 2006-2009, la estación que obtuvo mayor número de medias geométricas mensuales que excedieron los $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ corresponden a CAJAMAG con un total 26 medias geométricas mensuales que superaron los $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (nivel de referencia), seguida por la estación de Aeropuerto con 23 medias geométricas mensuales, mientras que las estaciones con menor número de medias geométricas que excedieron los $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ corresponden a la estación de Alcatraces y Papare.

3.2 Medias geométricas anuales de la concentración de PST en la ZCDM

La figura 3 muestra que en los años 2006 y 2007 en las estaciones de Aeropuerto y CAJAMAG las concentraciones superaron el límite anual para PST de $98,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ norma local. Ambas estaciones mostraron niveles críticos de partículas suspendidas totales, especialmente la estación de Aeropuerto en el año 2007 con una media geométrica anual de $142,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para los años 2008 y 2009 las medias geométricas anuales de algunas estaciones mostraron un descenso importante visible principalmente en la estación de Aeropuerto.

3.3 Análisis multifactorial

El análisis multifactorial realizado reportó que las concentraciones de PST presentaron comportamientos similares en la mayoría de las estaciones durante el primer semestre como es el caso de las estaciones de Centro Ejecutivo, CAJAMAG, Aeropuerto, Don Jaca, Alcatraces y Papare, por su parte durante el segundo semestre las estaciones mostraron tendencias muy parecidas en la mayoría de las estaciones agrupadas, es el caso de las estaciones de INVEMAR, Centro Ejecutivo, CAJAMAG, Alcatraces y Papare. Adicionalmente se observaron en la figura 4a y figura 4b concentraciones menores durante el segundo semestre.

3.4 Distribución espacial

En este estudio se obtuvieron en total 48 isopletras, se seleccionó para cada año el mes con las más altas concentraciones de Partículas Suspendida Totales y se presentaron los resultados en la figura 5.

Durante el año 2006 las concentraciones más altas de PST se obtuvieron en el área cercana a la estación INVEMAR y a la estación Aeropuerto durante los meses de enero, febrero, marzo y diciembre. En el año 2007 las concentraciones más altas de PST corresponden al área cercana a la estación CAJAMAG y a la estación del Aeropuerto, durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre. En el año 2008 las más altas concentraciones de PST ocurrieron en la zona cercana a la estación Aeropuerto, y en menor medida en la zona cercana a las estaciones del Centro Ejecutivo y CAJAMAG durante los meses de enero, febrero y marzo. Por último en el año 2009 las concentraciones más altas de PST ocurrieron en el sector cercano a la estación de INVEMAR durante el mes de febrero y marzo.

4 Discusión de resultados

Los resultados del estudio evidenciaron un incremento en la media geométrica anual durante el año 2007 en la mayoría de las estaciones analizadas, sólo las estaciones del Centro Ejecutivo y de INVEMAR no mostraron este incremento, por otro lado el estudio mostró que los meses que presentaron en la mayoría de las estaciones concentraciones más altas de PST durante los cuatro años evaluados corresponden a enero, febrero, marzo y abril y los meses con menores concentraciones corresponden a mayo, agosto y octubre.

El viento es uno de los factores climáticos importantes en la dispersión de PST, con relación a este factor se observó en general que en cada uno de los meses pertenecientes a cada semestre el comportamiento de las concentraciones de PST estuvo influenciado por la velocidad y dirección del viento.

Teniendo en cuenta el nivel de precipitaciones se observaron claramente diferencias entre el I y II semestre durante los cuatro años evaluados, obteniéndose mayores registros durante el I semestre de cada año debido básicamente a las bajas precipitaciones documentadas por la mayoría de los meses pertenecientes a este semestre comparadas con los registros de precipitación pertenecientes al segundo semestre. Por el contrario, si se contrastan los niveles de precipitación de los doce meses de cada año evaluado, el segundo semestre de cada año mostró niveles más altos que contribuyeron a la disminución en la dispersión de las partículas y por ende a mostrar registros de concentraciones de PST más bajos con valores mensuales entre 38-140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, menores a los presentados en el I Semestre de cada año.

A nivel climático lo observado en el presente trabajo es consecuente con los resultados publicados en otros estudios [15], en México el informe realizado para analizar el comportamiento estacional de contaminantes atmosféricos en la Zona Metropolitana del Valle de México, muestra claramente una diferencia entre las épocas climáticas evaluadas, evidenciando una disminución en las concentraciones de PST durante la época de lluvia, en el informe este comportamiento es atribuido al lavado de la atmósfera que caracteriza a ésta época climática [16], de igual forma en Venezuela García *et al.*, 2002 y Guajardo *et al.*, 2010, mostraron en sus estudios que durante la época climática seca hubo mayores excedencias de la norma en comparación con la época climática húmeda; por último en Perú en el estudio de Modelamiento de la dispersión de partículas de PM_{10} generadas por los depósitos de origen minero ubicados en el delta del Río San Juan, exponen claramente la influencia de la época climática en las concentraciones de material particulado [19].

Distribución espacio temporal de partículas suspendidas totales en la zona costera

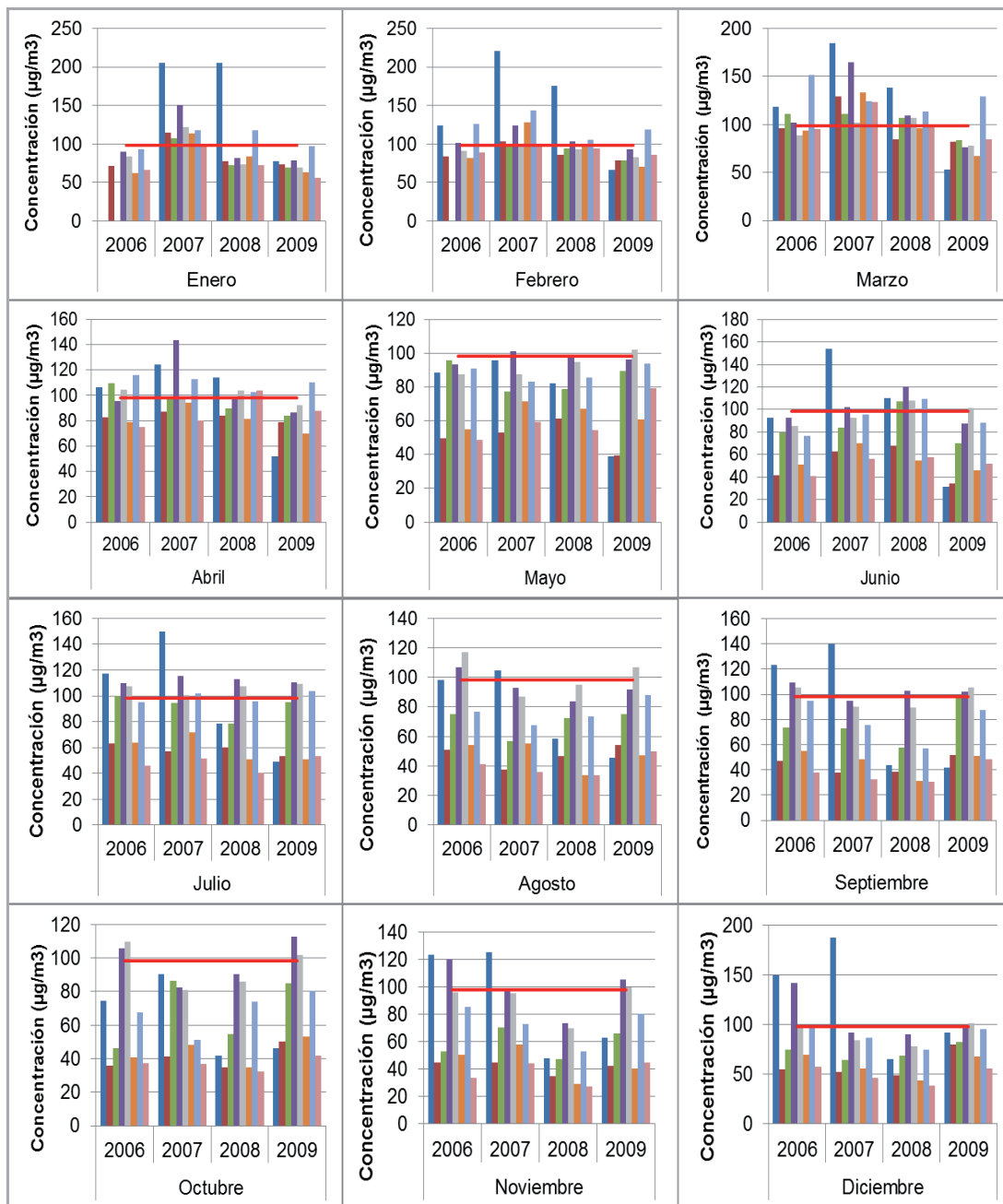
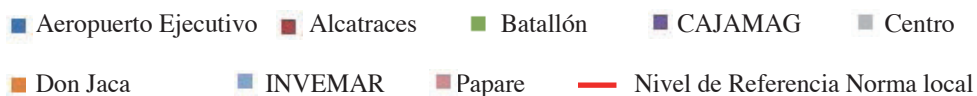


Figura 2. Media geométrica mensual de la concentración de partículas suspendidas totales para todas las estaciones de monitoreo.

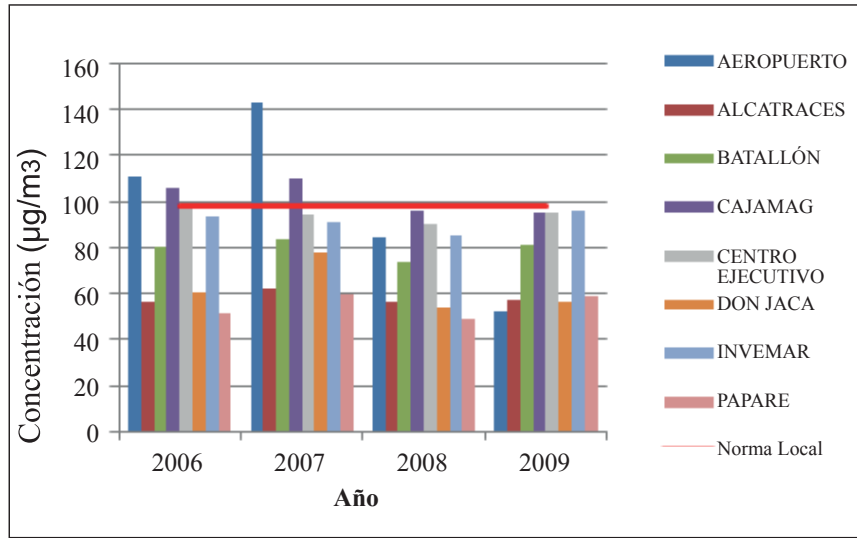


Figura 3. Media geométrica anual por año durante el periodo 2006-2009

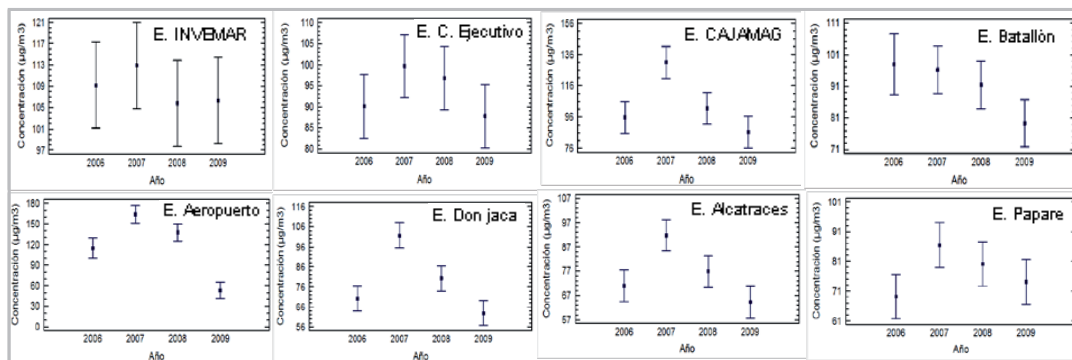


Figura 4a. Análisis multifactorial a partir de medias geométricas mensuales I semestre (Época Seca).

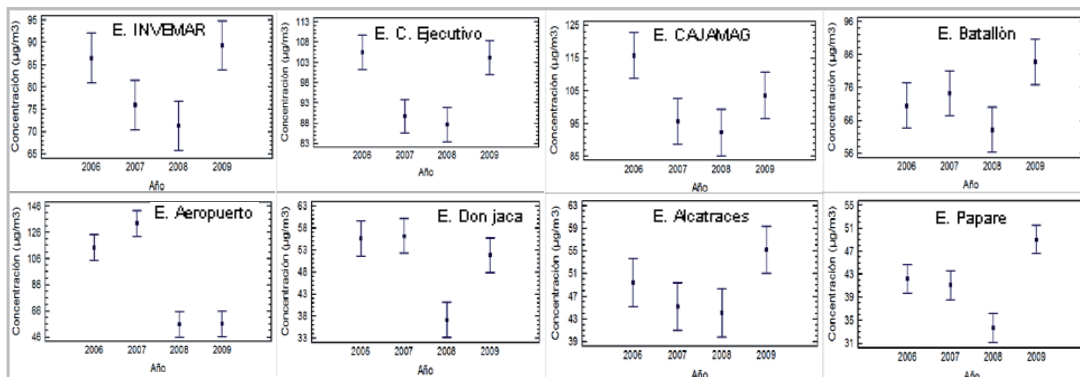


Figura 4b. Análisis multifactorial a partir de medias geométricas mensuales II Semestre (Época Lluviosa)

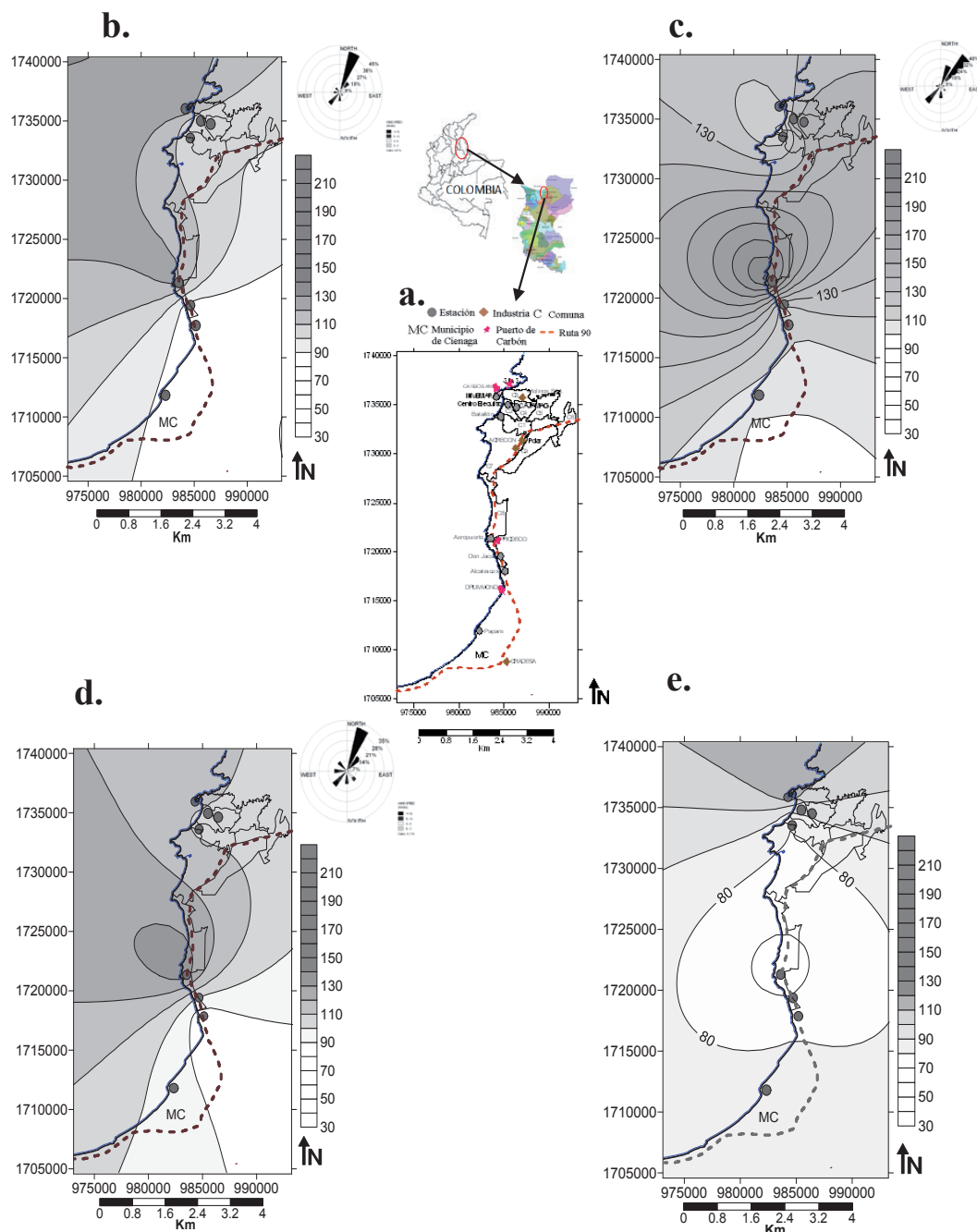


Figura 5. a. Ubicación geográfica estaciones de monitoreo CORPAMAG b. Isopleta febrero 2006 c. Isopleta enero 2007 d. Isopleta marzo 2008 e. Isopleta febrero 2009.

Estadísticamente se observó que en la mayoría de las ocho estaciones analizadas durante el 2006-2009, sólo en el II semestre se atribuyó en la mayoría de las estaciones al factor mes y al factor año como los factores que generaron mayor impacto sobre la variable estudiada (concentración); en el I semestre no sucedió lo mismo debido básicamente a la alta variación presentada entre cada mes y entre cada año, motivo por el que sólo las estaciones Aeropuerto, Alcatraces y Don Jaca, atribuyeron a ambos factores (mes y año) la generación de mayor impacto sobre la concentración. Para las estaciones restantes en este semestre algunas atribuyeron sólo al factor mes, otras atribuyeron sólo al factor año y otras a ningún factor los mayores efectos sobre la concentración.

En el primer semestre en las estaciones del Aeropuerto, Alcatraces y Don Jaca, el efecto de ambos factores sobre la concentración hace referencia en el caso del año, a que la disminución en las concentraciones en el 2008 y 2009 puede estar influenciada por el aumento de los controles en las empresas ubicadas cerca a las estaciones de monitoreo. Por su parte la influencia del factor mes sobre las concentraciones puede ser atribuida a la ocurrencia de eventos puntuales como el incremento en la actividad portuaria durante algunos meses.

En el primer semestre en la estación CAJAMAG la afectación del factor año sobre las concentraciones, muestra que existe una disminución sobre las actividades desarrolladas cerca a esta estación, en particular posiblemente se le puede atribuir a la desaparición de las construcciones reportadas por el sector en mayo de 2008, como lo explica CORPAMAG en sus informes mensuales [20].

Por su parte en las estaciones del INVEMAR y Papare el factor año no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de PST con un nivel de confianza del 95%, mientras que el mes si tuvo un efecto estadísticamente significativo. Para el caso de las estaciones del Centro ejecutivo y el Batallón durante el primer semestre, ninguno de los factores afectó la concentración de PST lo que significa que las actividades generadoras de PST en esa zona durante los cuatro años evaluados continúan siendo las mismas.

No obstante a diferencia del primer semestre (Figura 4a), en el segundo semestre (Figura 4b) la influencia del factor año sobre la concentración mostró un leve incremento en las concentraciones del año 2009 con relación a las concentraciones del año 2008, se debe aclarar que las concentraciones obtenidas en el segundo semestre fueron mucho más bajas que en el primer semestre. En el caso del efecto del mes, este leve incremento puede ser atribuido a la aparición de eventos cortos.

La figura 5 muestra que las áreas de mayor influencia de PST en el año 2006 son las comunas 3 y 8 ubicadas cerca a la estación del INVEMAR y del Aeropuerto, las áreas con menor influencia de PST corresponden al área rural de Santa Marta y al sector de Ciénaga ubicadas cerca a las estaciones de Alcatraces y Papare.

También muestra que las áreas de mayor influencia de PST en el año 2007 y 2008 son las comunas 2, 4 y 8 ubicadas cerca a la estación del Centro Ejecutivo, CAJAMAG y del Aeropuerto, las áreas con menor influencia de PST corresponden al área rural de Santa Marta y al sector de Ciénaga ubicadas cerca a las estaciones de Alcatraces y Papare.

Igualmente muestra que las áreas de mayor influencia de PST en el año 2009 son las comunas 2, 3 y 4 ubicadas cerca a la estación del Centro Ejecutivo, INVEMAR y CAJAMAG, las áreas con menor influencia de PST corresponden al área rural de Santa Marta y al sector de Ciénaga ubicadas cerca a las estaciones de Alcatraces y Papare.

Para cada uno de los años evaluados las concentraciones en su mayoría presentaron una disminución en dirección Norte a Sur con algunas excepciones como es el caso de las concentraciones registradas durante el primer semestre del año 2008, que van de oeste a este.

Comparando los resultados obtenidos en el presente estudio con los trabajos desarrollados en la zona por Manjarrés *et al.*, 2005, García *et al.*, 2006 y Hurtado y Vergara, 2007, se observaron similitudes; se encontró que las áreas ubicadas cerca a las estaciones de monitoreo de INVEMAR y el Centro Ejecutivo, muestran en general concentraciones altas (valores cercanos, iguales o mayores al límite de 98,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tomado como referencia)

de partículas suspendidas totales, constituyéndose de esta forma en zonas críticas dentro de la ciudad. Un punto importante es que la empresa MOLINOS S.M. fue trasladada en el año 2010 a un sector cerca de la vía alterna, por tanto durante los años siguientes la zona del perímetro urbano en donde se encontraba ubicada esta empresa dejará de ser influenciada por las actividades desarrolladas en la misma.

Por último es conveniente anotar que para identificar la procedencia de las partículas suspendidas totales es necesario realizar un análisis mineralógico de las mismas que permita identificar sus componentes y relacionarlos directamente con las actividades desarrolladas en la zona, no obstante Manjarrés *et al.*, 2005 en su publicación destaca la presencia de elementos como carbón de combustión (6-12 μm), halita (2-7,2 μm) y fracción de arcilla (3-7 μm), dentro del material particulado monitoreado en la ciudad de Santa Marta.

5 Conclusiones

El estudio mostró que durante los cuatro años evaluados las estaciones que obtuvieron mayor número de medias geométricas mensuales que excedieron los 98,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valor tomado como referencia) corresponden a CAJAMAG y Aeropuerto, mientras que las estaciones con medias geométricas mensuales que superaron en menor medida los 98,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, corresponden a las estaciones de Alcatraces y Papare. Por su parte los meses con medias geométricas más altas y durante los cuales se excedieron un mayor número de veces los 98,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los cuatro años evaluados fueron enero, febrero y marzo, mientras que los meses con medias geométricas más bajas y con menores excedencias fueron mayo, agosto y octubre.

El límite anual para PST fue superado en los años 2006 y 2007 por las estaciones del Aeropuerto y CAJAMAG, en los dos años restantes las estaciones analizadas presentaron concentraciones dentro del límite anual permisible por la normativa colombiana, en general durante el año 2007 todas las estaciones mostraron concentraciones elevadas comparadas con los promedios históricos registrados por cada una, probablemente por incremento de las actividades cerca de la zona, no obstante la carencia de un informe mineralógico impide atribuir directamente el aumento de las concentraciones de PST a una determinada actividad.

En el estudio se evidenció la influencia de la precipitación en las concentraciones registradas por las ocho estaciones durante los años 2006-2009, mostrando en general mayores registros en el I semestre, caracterizado por niveles de precipitación más bajos con relación a los presentados en el II semestre, sin embargo es importante anotar que en términos climáticos cuatro años no son suficientes para definir patrones, sólo proporcionan un acercamiento al comportamiento puntual en la zona

En el I semestre el análisis de varianza multifactorial mostró que en las estaciones del Aeropuerto, Alcatraces y Don Jaca, los dos factores evaluados año y mes, tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre la variable estudiada es decir PST, con un nivel de confianza del 95%. En el II semestre el análisis de varianza multifactorial mostró que en las estaciones del Aeropuerto, Batallón, Centro Ejecutivo, Don Jaca, INVEMAR y Papare, los dos factores evaluados año y mes, tuvieron un efecto estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95% sobre la variable estudiada es decir PST, esta diferencia entre el análisis multifactorial de cada semestre fue debida al comportamiento similar mostrado por la mayoría de las ocho estaciones durante el segundo semestre de cada año.

Las isopletras reportaron que las áreas de mayor influencia de PST durante los cuatro años evaluados corresponden a las comunas 3 y 4 pertenecientes al perímetro urbano y ubicadas cerca de las estaciones de INVEMAR y CAJAMAG, respectivamente, y a la

comuna 8 perteneciente a la zona rural ubicada cerca de la estación de monitoreo del Aeropuerto. Las estaciones de Alcatraces y Don Jaca, pertenecientes también a la comuna 8, en general reportaron bajas concentraciones mostrándose de esta manera mayor influencia sobre las comunidades ubicadas cerca a la estación Aeropuerto. Las isoplefas evidenciaron que las áreas con menor influencia de PST corresponden al área rural de Santa Marta y al sector de Ciénaga especialmente las zonas ubicadas cerca de las estaciones de Alcatraces y Papare.

Por último teniendo en cuenta el protocolo para el diseño del sistema de vigilancia de calidad de aire, en donde se especifica como punto importante la ubicación de estaciones de monitoreo que permitan identificar el impacto de fuentes significativas sobre la concentración de PST, y de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, a modo de recomendación sería pertinente reubicar la estación del Batallón debido a las bajas concentraciones mostradas y a que no se encuentra influenciada de forma directa por actividades potencialmente generadoras de PST; una opción podría ser reubicar la estación del Batallón a la comuna 7, debido a que ésta área se encuentra influenciada por actividades que pueden afectar el incremento de PST, razón por la que sería interesante verificar las concentraciones en dicha zona. Por otro lado, a pesar de que la estación de Papare en la mayoría del período de estudio mostró concentraciones bajas, se considera pertinente dejar la estación en la zona, debido a que el crecimiento industrial está ocurriendo hacia esa dirección.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración académica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia y de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena – CORPAMAG en el marco del desarrollo de la tesis de pregrado Distribución Espacio Temporal de Partículas Suspendidas Totales en la zona costera del departamento del Magdalena.

Referencias bibliográficas

- [1] Swisscontact - Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico. (2001). Programa Aire Puro. Monitoreo del Aire. Manual de Laboratorio. Suiza, 102 p.
- [2] OMS - Organización Mundial de la Salud. (2004). Guías para la calidad del aire: Niveles y tendencias de contaminación del aire. 02/09/2009. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/fulltext/guiasaire.pdf>
- [3] Querol, X. (2005). El Material Particulado Atmosférico. Memorias. Congreso Nacional del Medio Ambiente 8. Cumbre del Desarrollo Sostenible. España. 22/08/2009. http://www.conama8.org/modulodocumentos/documentos/AEs/AE9/AE9_doc_XavierQuerol.pdf.
- [4] 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. 03/09/2009. <http://www.unalmed.edu.co/redaire/protocolos.html>.
- [5] Garrido, A. y Camargo, Y. (2011). Distribución espacio temporal de partículas suspendidas totales en la zona costera del departamento del Magdalena periodo 2008. Revista de Ciencias. 16:89-101.

- [6] Posada, B. y Henao, W. (2008). Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR, Serie de Publicaciones Especiales No 13, Santa Marta, 200p. 04/08/2012. http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/605220080501_AErosionCaribeContinentalColombia.pdf
- [7] IDEAM - Instituto de hidrología, meteorología y estudios Ambientales. (2010) Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. 383p. 15/09/2013. <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=822&conID=1259>.
- [8] García, L., Franco, A., Ramírez, J. y López, D. (2010). Dinámica océano-atmósfera y su influencia en la biomasa fitoplanctónica, en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost. 39 (2) 307-335.
- [9] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 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] Bedoya, J. y Martínez, E. (2008). Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia –Colombia. Dyna, 76 (158): 7-15.
- [12] MAVDT – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 610 de 2010, por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Norma. Bogotá, D.C. 4pp.
- [13] MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). Resolución 601 de 2006, Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Norma. Bogotá, D.C. 13pp.
- [14] MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de operación de sistemas de Vigilancia de la calidad del aire. Bogotá. 141p.
- [15] Aragón, A., Campos, A., Leyva, R., Hernández, M., Miranda, N. y Luszczewski, A. (2006). Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de la ciudad de San Luis Potosí, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 22 (1) 5-19.
- [16] Arreola, J. y González, G. (1999). Análisis espectral del viento y de partículas menores de 10 micrómetros (PM_{10}) en el área metropolitana de Monterrey, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 15 (2): 95-102.
- [17] García, N., Machado, A., García, C., 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.

- [18] Guajardo, N., Ramírez, A., Díaz, F., Castillo, E., Otero, A. y Parra, J. (2010). Concentración de las Partículas Totales Suspendidas en la atmósfera de Caracas. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.* 25 (2): 81–91.
- [19] CESEL Ingenieros. (2007). Estudio de Plan de Manejo Ambiental de las Operaciones de Embalse y Desembalse del Lago Chinchaycocha. 2-31p. 30/05/2011. http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/estudios/plan_cierre_pasivos/5344%20Informe_FINAL%20PARTE%20VI.pdf.
- [20] CORPAMAG – Corporación Autónoma Regional del Magdalena. (2006-2009). Informe mensual de resultados Red de Monitoreo de Calidad del Aire enero-diciembre. 384p. 25/03/2010. <http://www.corpamag.gov.co/>.
- [21] Manjarrés, G.; Manjarrés, G. y Linero, 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.
- [22] 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.
- [23] 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.

Dirección de los autores

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