

Niveles de Partículas Suspendidas Totales (PST), PM10 y PM2.5 y su Relación en Lugares Públicos de la Ciudad Riohacha, Caribe Colombiano

Roberto E. Rojano^(1,2), Luis C. Angulo^(1,2) y Gloria Restrepo⁽¹⁾

(1) Grupo de Investigación GISA, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Guajira, Km 5 Vía a Maicao, Riohacha, Colombia. (e-mail: rrojano@uniguajira.edu.co)

(2) Grupo Procesos Físicoquímicos Aplicados, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia SIU/UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia. (e-mail: gloma@udea.edu.co)

Recibido Sep. 14, 2012; Aceptado Oct. 31, 2012; Versión final recibida Dic. 27, 2012

Resumen

Se determinaron las concentraciones de partículas suspendidas totales (PST) y partículas menores de 10 y 2.5 micrómetros (PM10 y PM2.5) en la zona urbana del municipio de Riohacha, Colombia. Los instrumentos utilizados fueron un muestreador de alto volumen para PST y PM10 y un muestreador de bajo volumen (Partisol) para las partículas PM2.5, todo en seis estaciones de monitoreo. Los resultados mostraron que el promedio de la concentración de PM10 varió desde 43,69 a 19,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las PST de 86,02 a 27,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y las PM2.5 mostraron un promedio de 14.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las relaciones PM10/PST variaron desde 0,50 a 0.68. Las seis estaciones presentaron buena correlación PST/PM10 ($R = 0,795$). Las PST pueden implicar presencia de partículas PM10 en el área urbana esta ciudad, pero las concentraciones de PM10 no necesariamente indican presencia de partículas PM2.5 ($R = 0,035$). Los resultados de correlación de PM10/PST son similares a estudios realizados en otras zonas urbanas de Colombia y de otros países.

Palabras clave: partículas en suspensión, medio ambiente, calidad del aire, PST, PM10, PM2.5

Levels of total suspended particles (TSP), PM10 and PM2.5 and their relationship in public places of the city Riohacha, Colombian Caribbean

Abstract

The concentrations of total suspended particles (TSP) and particles with size below 10 and 2.5 micrometers (PM10 and PM2.5) in the urban area of the city of Riohacha in Colombia were determined. The instruments used were a high-volume sampler for TSP and PM10 and a low-volume sampler (Partisol) for PM2.5, all in six monitoring stations. The results showed that the average PM10 concentrations ranged from 43.69 to 19.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, the PST ranged from 86.02 to 27.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and the average for PM2.5 was 14.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Relations PM10/PST ranged from 0.50 to 0.68. The six stations showed good correlation PST/PM10 ($R=0.795$). The PST can imply the presence of PM10 particles in the urban area of this city but PM10 concentrations not necessarily indicate the presence of PM2.5 particles ($R=0.035$). The results for the correlation PM10/PST are similar to studies conducted in other urban areas of Colombia and of other countries.

Keywords: suspended particles, environment, air quality, PST, PM10, PM2.5

INTRODUCCIÓN

La exposición de la salud humana a los contaminantes particulados ha sido investigada extensivamente y asociada con excesos en la morbilidad y mortalidad (Brunekreef y Holgate, 2002; Pope y Dockery, 2006). Una disminución de 10 microgramos por metro cúbico en la concentración de las partículas finas se asocia con un aumento estimado de la esperanza de vida entre 0.60 y 0.80 años (Pope et al., 2009). Entre los distintos contaminantes del aire, el material particulado muestra fuerte evidencia de efectos adversos en la salud (Pope y Dockery, 2006). De estas, las de mayor interés son las partículas PM10 (partículas ≤ 10 micrómetros de diámetro), ya que estas, pueden penetrar profundamente en los pulmones, y algunas pueden incluso entrar en el torrente sanguíneo (EPA, 2012). La composición química de las partículas, es uno de los factores que determina el riesgo a la salud, además de su tamaño y área superficial (Sun et al., 2010). La "partícula" es un término que se emplea para describir cualquier material sólido o líquido dividido finamente, que es dispersado y arrastrado por el aire y que tiene un tamaño que varía entre 0.0002 y 500 μm . Los términos "aerosol" y "partículas" se utilizan a veces indistintamente, pues los aerosoles se definen como dispersiones de sólidos o líquidos en un medio gaseoso (Echeverri y Maya, 2010). En la ciudad de Riohacha, La Guajira colombiana, se han realizado estudios por separado de partículas suspendidas totales (PST) y partículas menores de 10 micrómetros (PM10) a través de reporte de la autoridad ambiental y análisis independientes (Amaya, 2008; Rojano et al., 2011), con el objeto de estudiar la calidad del aire de esta ciudad costera, se ha concluido que los niveles de contaminantes particulado no violan los límites establecidos por lo normativa colombiana, más sin embargo, el material particulado PM10, presenta niveles ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que pueden alcanzar los estándares anuales. Niveles de ciudades intermedias desee el punto de vista temporal pueden ser preocupantes influenciados por el tráfico de la ciudad, trabajos de construcción, talleres y operaciones industriales (Celis et al., 2007). Este es el primer estudio que mide de forma simultánea, las concentraciones de PST, PM10 y PM2.5 en la ciudad de Riohacha. Este estudio es importante porque aparte de medir el nivel de estos contaminantes en la atmosfera de la ciudad, se determina la relación y correlación de PST, PM10 y PM2.5. La relación PST, PM10 y PM2.5, permite valorar la composición de las partículas por tamaño y su presencia en la atmosfera. Según la linealidad de la relación PM2.5/PM10 permite utilizar datos de PM10 para predecir con confianza la concentración de PM2.5 (Echeverri y Maya, 2008; Mugic et al., 2002). Además, si se conoce esta relación en una ciudad, se cuenta con parte de la información necesaria para tomar acciones y estrategia de control más adecuadas sobre las fuentes (Galvis y Rojas, 2006). En Colombia existen estudios que muestran resultados de la relación de estos contaminantes en zonas urbanas de ciudades con un grado significativo de industrialización (Bogotá y Medellín), pero no hay evidencia de esta relación en ciudades costeras y no industrializadas, caso de Riohacha. En esta temática, se pueden citar casos estudiados en Colombia: (Saldarriaga et al, 2004) que analizó la calidad del aire en 10 sitios del Valle de Aburrá zona metropolitana de Medellín; (Galvis y Rojas, 2006) monitorearon 5 sitios en el área urbana de Bogotá; (Echeverri et al, 2008), que hizo otro estudio en la ciudad de Medellín, obteniendo resultados similares al anterior para la relación PM10/PM2.5. Estos estudios concluyeron que la relación de estos contaminantes es mayor cuando el parque automotor influye fuertemente en el sitio de muestreo. En casos extremos como la presencia de episodios, esta relación se afianza más. Estudio de una tormenta de polvo en Xiamen China, mostró que los coeficientes presentan una buena correlación, demostrando que eran las mismas fuentes de PM10, PM2.5 y PM2.5-10, además, se reveló que una tormenta de polvo impacta a estas partículas de manera importante (Jinping et al., 2011). (Rodríguez et al., 2001) estudió la identificación de episodios analizando altas relación de PM10/TSP (1996 - 1999) causado por la intrusión de polvo del Sahara sobre la Península Ibérica y la descripción de los patrones de transporte. El objetivo de este estudio es determinar la relación de PST, PM10 y PM2.5 en una ciudad costera ubicada en el Caribe colombiano y compararla con estudios similares en Colombia y el mundo.

EXPERIMENTACIÓN

Selección de los sitios de muestreo

Estudios han demostrados que las principales fuentes de contaminación en la ciudad de Riohacha son las fuentes móviles, las emisiones de fuentes misceláneas, principalmente vías no pavimentadas y un número relativamente pequeño de restaurantes que operan en la zona urbana (Rojano et al., 2011). Para determinar las concentraciones promedio y relación de PST, PM10 y PM2.5 en la atmosfera urbana de la ciudad Riohacha, se establecieron 6 puntos de monitoreo, que se escogieron teniendo en cuenta la dirección del viento, el uso de la tierra, el flujo vehicular y el alcance de la investigación. Dado que en la ciudad se encuentra en un entorno meteorológico muy homogéneo y las fuentes de mayor aporte a la concentración de PST, PM10 y PM2.5 son las fuentes móviles y algunas fuentes misceláneas y según el tamaño de la ciudad, fue fácil identificar las intercepciones de mayor y menor tráfico vehicular. Cuatro puntos representan zonas de alto tráfico vehicular (Estación 1: ICBF, Estación 2: SENA, Estación 3: Corpogujaira, Estación 5:

Cruz Roja Guajira) y dos punto zona de bajo tráfico vehicular (Estación 1. Concesión Santa Marta, Estación 5: Uniguajira), estos últimos ubicados uno viento arriba de la ciudad (Estación 5: Uniguajira) y el otro viento abajo a las afuera de la ciudad (Estación 1: Concesión Santa Marta). Por tener un solo monitor de PM2.5 en la investigación, para su localización, se tuvo en cuenta el análisis del inventario de emisión de fuentes de PM2.5. En la microlocalización de los equipos, se tuvo en cuenta las condiciones de seguridad, disponibilidad de energía eléctrica y espacios libre de obstáculos. La Tabla 1, presenta en forma resumida, las características de los sitios de muestreos y la Tabla 2, las técnicas utilizadas y los parámetros medidos en cada estación.

Tabla 1: Características y ubicación de los sitios de muestreos.

Sitio de muestreo	Localización	Uso de Tierra	Tipo de Terreno	Observaciones
Estación 1. Concesión Santa Marta	11°31'20.1"N - 72°56'51.7"W	privada	Plano	Bajo tráfico vehicular/viento abajo
Estación 2. ICBF	11°52'19.3"N - 72°55'0.3 W	Residencial	Plano	Alto tráfico vehicular
Estación 3. SENA	11°32'05.3"N - 72°55'04.1"W	Residencial	Plano	Alto tráfico vehicular, zona de vías sin pavimentar
Estación 4. Corpoguajira	11°32'48.8"N - 72°54'26.21"W	Residencia/comercial	Plano	Alto tráfico vehicular
Estación 5. Cruz Roja Guajira	11°32'32.97"N - 72°54'31.03"W	Residencia/comercial	Plano	Alto tráfico vehicular
Estación 6. Uniguajira	11°30'44.2"N - 72°52'16.8"W	Privada	Plano	Bajo tráfico vehicular/Blanco viento arriba de la ciudad

Tabla 2: Tecnología y Parámetros medidos en cada estación.

Estación	Nombre	Tecnología	Parámetros		
			PST	PM10	PM2.5
E1	Concesión Santa Marta	Hi-Vol (PST, PM10)	X	X	--
E2	ICBF	Hi-Vol (PST, PM10) Partisol, (PM2.5)	X	X	X
E3	SENA	Hi-Vol (PST, PM10)	X	X	--
E4	Corpoguajira	Hi-Vol (PST, PM10)	X	X	--
E5	Cruz Roja Guajira	Hi-Vol (PST, PM10)	X	X	--
E6	Uniguajira	Hi-Vol (PST, PM10)	X	X	--

ICBF: Instituto Colombiano de Bienestar Familiar
UNAD: Universidad Nacional Abierta y a distancia
SENA: servicio nacional de aprendizaje

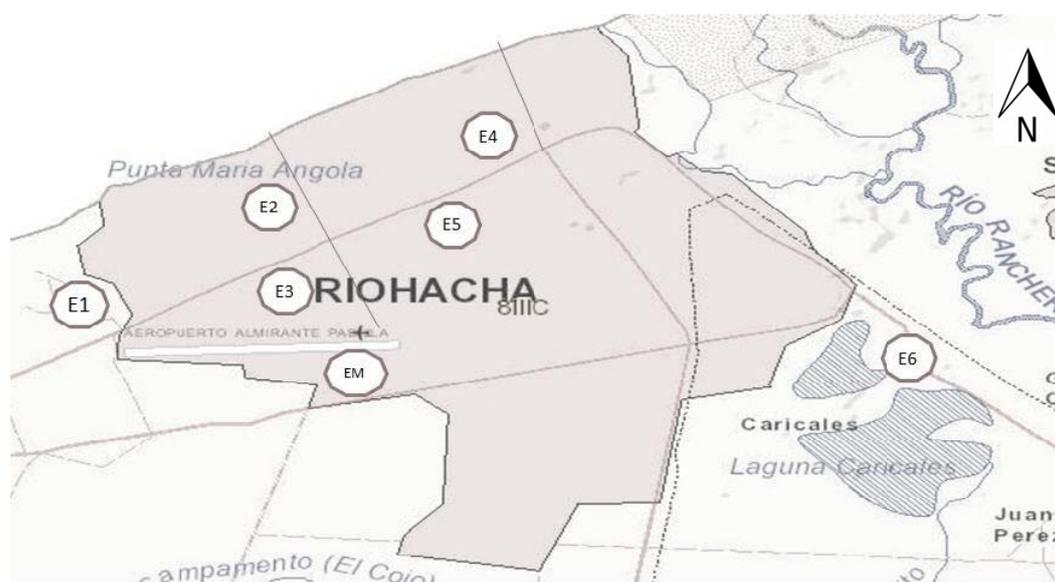


Fig. 1: Localización de los sitios de muestreo en el área de estudio (EM Estación Meteorológica IDEAM)

Descripción del Área de estudio

La investigación se realizó en la zona urbana de la ciudad de Riohacha, ubicada en el Sureste del Departamento La Guajira en el Caribe Colombiano, la ciudad de Riohacha se encuentra situada geográficamente entre las coordenadas 11° 30' 44,37" Norte, 72° 55' 26,09" Oeste y 11° 33' 15,65" Norte, 72° 53' 29,77" Oeste. Está rodeada por el mar de Sur-oeste al noreste en la dirección de las agujas del reloj y por las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, en los lados restantes. Tiene una población de más de 200.000 habitantes en su área urbana. El clima es seco con una temperatura promedio de 28 °C, modificada un poco con la brisa marina y los vientos alisios del noreste que soplan durante la mayor parte del año con velocidad promedio de 3.5 m/s; las lluvias son escasas y se presentan generalmente en los meses de septiembre a noviembre (Cabeza, 2009). Riohacha es la ciudad de más densidad de tráfico en el Departamento de La Guajira y entre las de menor tráfico en Colombia

Método de medición de PST, PM10 y PM2.5.

La concentración de partículas suspendidas totales (PST), se determinó por el método gravimétrico, establecido en el Método de referencia de la CFR (Code of Federal Regulations) para determinar material particulado suspendido de la EPA (Appendix B to Part 50—Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere: High-Volume Method), Se empleó un muestreador de alto volumen, marca GRASEBY ANDERSEN modelo G310. La concentración de PM10 se determinó por el método gravimétrico, según lo establecido en el Método de referencia de la CFR para determinar materia particulado en la atmosfera menor de 10 micrómetros (Code of Federal Regulations. Appendix J to Part 50, 1997). Se empleó un muestreador de alto volumen con cabezal PM10, marca GRASEBY ANDERSEN modelo G310. Los equipos Hi-Vol, operaron 24 horas desde las 7:00 am hasta las 7:00 am del día siguiente. Se utilizó filtros de fibra de vidrio para las PST y filtros de fibra de cuarzo para las PM10. Los muestreos se desarrollaron con un flujo constante e de 1,130 m³/min para las PM10 y de 1.24 m³/min para los PST. Los filtros se colocaron antes y después del muestreo en un desecador marca VACUMFEST-DURAN que utiliza como elemento desecante la sílice gel por un periodo de 24 horas y de igual manera, se pesaban antes y después del muestreo en una balanza analítica con cámara de pesaje marca OHAUS ADVENTURER de referencia AR2140, con precisión de medida de 0.001 mg (1 µg). Los filtros fueron codificados teniendo el nombre de la estación, la numeración del equipo y la fecha. Los equipos se calibraron siguiendo el estándar de calibración recomendado por el fabricante. Se utilizaron los siguientes elementos: Orificio transmisor de flujo normal calibrado, un manómetro de agua con rango de 0-400 mm y escala mínima de 2 mm, un barómetro de rango de 500 – 800 mmHg (66 a 106 KPa), la hoja de calibración y un filtro limpio. La concentración de las partículas PM2.5 se determinó utilizando un muestreador de bajo volumen (Partisol), regulado como método equivalente de la CFR (40 CFR Part 58). El equipo cuenta con separador de partículas finas de diámetro aerodinámico de 2.5 µm, localizado en la entrada del aire. El muestreador operó 24 horas desde las 7:00 am hasta las 7:00 am del día siguiente, con flujo aproximado de 16.3 L/min. Se utilizó filtros de fibra de teflón de 47 mm. El Partisol está equipado con un mecanismo para cambiar automáticamente los filtros al final de un período de muestreo. Los filtros se mantienen dentro ± 5 °C de la temperatura ambiente. El equipo mide temperatura y presión. Para todos los equipos, la concentración en masa de material particulado PST, PM10 y PM2.5, se calcula con la masa total de las partículas recogidas en el rango de tamaño deseado, dividido por el volumen real de aire muestreado, y se expresa en microgramos por metro cúbico de aire (µg/m³). En cada punto se tomaron 30 muestras en el periodo comprendido desde el 4 de noviembre de 2010 hasta el 2 de febrero de 2011.

Los datos meteorológicos (Tabla 3), fueron suministrados por la estación meteorológica Almirante Padilla del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), ubicada en el aeropuerto de la Ciudad de Riohacha (punto EM de la Figura 1).

Tabla 3: Descripción de los parámetros meteorológicos en el periodo de muestreo Noviembre -marzo de 2011

Parámetro	Media (Desv. Est)	Máximo	Mínimo
Temperatura (°C)	26,40 (0,66)	33,00	17,80
Viento (m/s)	2,85 (0,93)	5,80	1,89
Humedad Relativa (%)	84.31(7,24)	86,00	66,00
Humedad Relativa* (%)	83,65 (5,78)	85,00	64,00
Presión barométrica (mmHg)	757,80 (10,45)	760,00	755,89
Precipitación (mm de H2O)	57.67 (2,34)	61,00	8,00

*Humedad relativa registrada por el Partisol

El rango predominante en la velocidad del viento se fue de 4 m/s proveniente de la dirección Este - noreste (ENE 67.5 °). La velocidad del viento en general, alcanzó valores mayores a los 5 m/s, presentando una velocidad máxima de 5.8 m/s. En los registros se presentó sólo un 10.40 % de periodos de calma (velocidad del viento de 0 m/s). La época del año, donde se realizó los muestreos, predominó la húmeda por las frecuentes lluvias, estas se presentaron durante los meses de noviembre a diciembre de 2010, y cesaron en el mes de enero a febrero 2011. La humedad relativa registró valores máximos de 86 %, similares a los encontrados en los meses anteriores a la campaña de monitoreo. La temperatura se mantuvo en el rango promedio de la zona. Se puede observar que el comportamiento de los parámetros meteorológicos son similares a los reportados por Rojano, *et al.* (2011), realizado en una época diferente con relación a este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 4, presenta las concentraciones de partículas suspendidas totales (PST), partículas respirables (PM10 y PM2.5) en los seis puntos de muestreo del área urbana de la ciudad de Riohacha. Puede observarse que la Estación 2 (ICBF) reporta el mayor promedio de niveles de PST con 98,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y los promedios más bajos se presentaron en la Estación 6 (UNIGUAJIRA) y la Estación 1 (Concesión Santa Marta) con 27,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 32,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Tabla 4: Numero de muestras, concentración promedio y desviación estándar de PST, PM10 y PM2.5

Estaciones	N	PST (Desv.est) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 (Desv.est) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 (Desv.est) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
E1:Concesión S. Marta	60	32,54 (1,64)	21,20 (8,29)	-
E2: ICBF	60	86,02 (1,75)	43,69 (17,62)	14,45 (7,29)
E3: SENA	60	55,49 (1,51)	30,58 (11,76)	-
E4: Corpoguajira	60	46,07 (24,20)	28,79 (13,84)	-
E5: Cruz Roja Guajira	30	53,72 (16,22)	19,47 (8,62)	-
E6: Uniguajira	60	27,38 (1,55)	19,70 (8,68)	-

El máximo valor de concentración obtenido durante el periodo de monitoreo fue de 202.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ equivalente al 68% de la norma diaria y el mínimo valor obtenido se presentó en la Estación 1 con un valor de 7.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ equivalente al 2% de la norma diaria. La Estación 2 (ICBF), reportó el mayor promedio de niveles de PM10 con 43,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, al igual que en los niveles de PST. Así mismo, la Estación 5 (Cruz Roja Guajira) y la estación 6 (UNIGUAJIRA), presentaron los niveles más bajos de PM10 con 19,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 19,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. En las demás estaciones se presentó un comportamiento similar en PST y PM10. Los niveles de concentración de PM2.5 oscilaron de 0,61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 51,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, registrando un promedio de 14,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se observa en estos resultados, la influencia del tráfico vehicular en las estaciones E2, E3 y E5, sumado a la estación E3, la influencia de material re-suspendido desde el suelo de las vías cercanas. También se puede observar la influencia de los parámetros meteorológicos velocidad del viento y precipitación, que en la campaña de monitoreo se registraron promedios por debajo del comportamiento medio para velocidad de viento (2.8 m/s) y se registro igualmente niveles de precipitación menores que los promedios normales. Este comportamiento tiende a aumentar el nivel de contaminantes en el aire. A pesar de este comportamiento, ninguno de los contaminantes particulado, establecidos como contaminantes de referencia en Colombia, violó los niveles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

La tabla 5, presenta la y relación de PM10/PST, PM2.5/PM10 y PM2.5/PST, en las cinco puntos de monitoreo, pero, por contar con un sólo equipo de medición de PM2,5 para este estudio, no fue posible realizar comparaciones directas entre las concentraciones de PM2,5 en las cinco estaciones de monitoreo, pues para ello se deberían realizar mediciones simultáneas en todas.

Las relaciones PM10/PST varían desde 0,50 a 0,68, presentando los mayores valores (0,63, 0,68) en las estaciones 1 y 5, en los límites del área urbana de la ciudad. Las estaciones E2, E3, E4 y E5, muestran que la relación PM10/PST son mayores a 0,50 y menores 0,90, lo que indica según lo cita Pérez-Vidal *et al.*, (2010), que las principales fuentes de emisión son por el suelo, el pavimento, los materiales de construcción y el tráfico vehicular. Se observa una contribución significativa de las partículas respirables en los diferentes sitios de muestreo, esta contribución en promedio alcanza un porcentaje del 58% del total de partículas suspendidas totales. Las partículas finas contribuyen en 41,0% en las partículas respirables. Esta situación es preocupante debido que estas partículas representan un mayor riesgo sobre la salud, especialmente en

las poblaciones más vulnerables (niños y ancianos). En ciudades con grado significativo de industrialización, caso Bogotá y Medellín en Colombia esta relación se incrementa; Saldarriaga et al. (2004), estudiaron en 10 sitios del Valle de Aburrá Medellín, las relaciones entre partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM10), comprendido entre el 17 de diciembre de 2000 y el 6 de junio de 2001; las concentraciones de PST variaron de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y las relaciones variaron desde 0,527 hasta 0,813 en las diez estaciones. Galvis B., et al. (2006), monitorearon 5 sitios en el área urbana de Bogotá, determinando una relación de PM2,5/PM10 que varió de 0,19 a 0,73. Las concentraciones de PM10 y PM2.5 variaron de 49,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 105, 92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 18,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 56,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Echeverri, et al. (2008) en otro estudio en la ciudad de Medellín, obtuvo resultados similares al estudio anterior para la relación PM10/PM2.5, datos que variaron entre 0,51 hasta 0,80. Estos estudios concluyeron que la relación es mayor cuando el parque automotor influye fuertemente en sitio de muestreo. En casos extremos como la presencia de episodios y aporte de aerosoles marinos en ciudades costeras, esta relación se afianza más. Estudio de una tormenta de polvo en Xiamen (China), (Jinping et al., 2011) mostró que los coeficientes presentan una buena correlación entre 0,92 y 0,95, respectivamente, que demostró que eran las mismas fuentes de PM10, PM2.5 y PM2.5-10, además reveló que una tormenta de polvo impacta a estas partículas de manera importante. Rodríguez et al., (2001), estudiaron la identificación de episodios analizando altas relación de PM10/TSP (1996 - 1999) causado por la intrusión de polvo del Sahara sobre la Península Ibérica y la descripción de los patrones de transporte.

Tabla 5: Relación de PM10/PST, PM2.5/PM10 y PM2.5/PST, en las cinco puntos de monitoreo.

<i>Estaciones</i>	<i>PM10/PST</i>	<i>PM2.5/PM10</i>	<i>PM2.5/PST</i>
E1: Concesión Santa Marta	0,63	-	-
E2: ICBF	0,50	0,41	0,20
E3: SENA	0,52	-	-
E4: Corpoguajira	0,57	-	-
E5: Cruz Roja Guajira	0,67	-	-
E6: Uniguajira	0,68	-	-

La Figura 2, presenta las concentraciones y correlaciones de PST, PM10 y PM2.5, en los seis puntos de muestreo. La regresión lineal puede ser utilizada para evaluar la correlación entre los resultados (King y Kirchoff, 1997) de las concentraciones de PST, PM10 y PM2.5 con el objeto de la predicción de una variable a otra. La Figura 2, muestra la correlación entre de las concentraciones de PST y PM10 en los seis puntos de muestreo. En las comparaciones realizadas para los puntos de muestreos E1, E3 y E4, presenta correlaciones excelentes ($R_{E1}=0.855$, $R_{E3}=0,877$, $R_{E4}=0.905$) entre las dos fracciones de partículas.

Se puede explicar con estos resultados que en gran parte las concentraciones de PM10 puede cubrir la gran fracción de PST. Estas estaciones están ubicadas en zonas donde el flujo vehicular es lento debido a semáforos y circulación de peatones. Sin embargo, el conjunto formado por E2, E5 y E6, tienen menor correlación ($RE2=0,645$, $RE5=0,716$, $RE6=0.736$) que los anteriores puntos; sin embargo, se puede observar que hay significativa correlación. Comparando las correlaciones anteriores con el comportamiento de las proporciones de las dos fracciones de partículas presentado en la tabla 5, se observa que no guarda relación, por lo tanto proporciones alta de la relación PM10/PST, no indica buena correlación en estas fracciones de tamaño. La Figura 3, muestra la correlación de las concentraciones de PM10 y PM2.5 en el punto de muestreo E2, es baja ($RE2=0.0012$), se puede explicar con estos resultados que las concentraciones de PM2.5 no cubren la fracción de PM10, mucho menos la fracción de PST. (Vázquez y Audelo, 2012) concluyeron que el comportamiento de las PM10 está influenciado, por el uso de suelo y la actividad antropogénica; según este análisis y comparando los resultados del inventario de emisión y las concentraciones en este estación, pódolo observar que hay influencia de alto tránsito vehicular de la zona sobre las partículas PM2.5 que rompen la relación con la partículas PM10 de actividades diferentes al transporte.

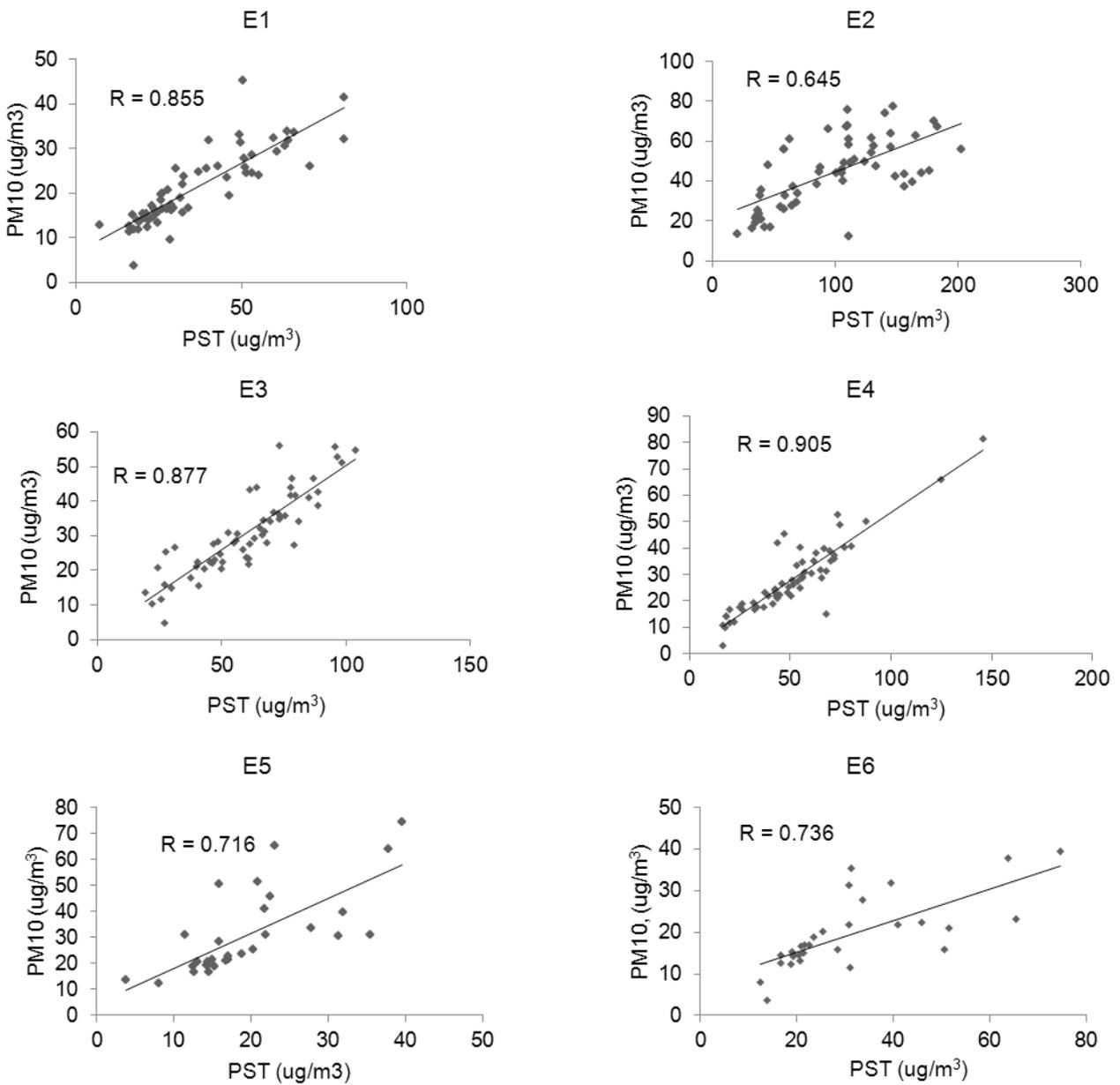


Fig. 2: Concentraciones y análisis de regresión lineal entre las concentraciones de PST y PM10, en los seis puntos de muestreo.

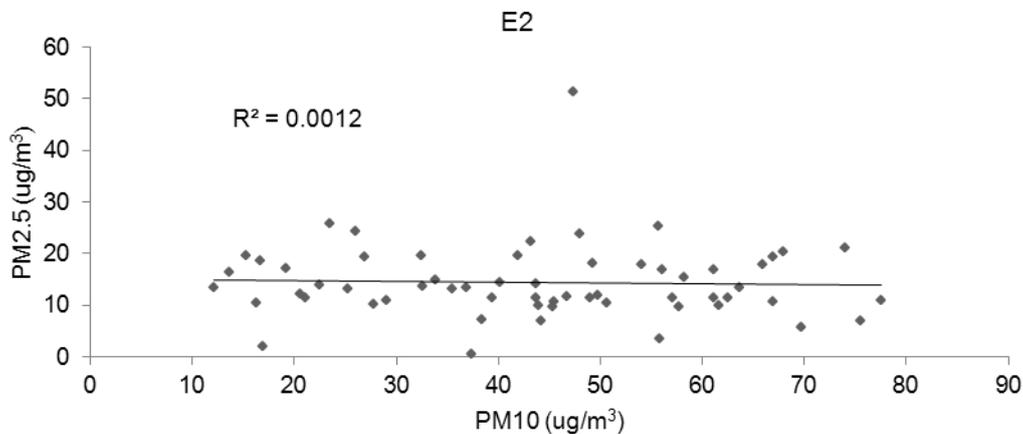


Fig. 3: Concentraciones y análisis de regresión lineal entre las concentraciones de PM10 y PM2.5, en el punto de muestreo E2.

En promedio de las seis estaciones se presenta un coeficiente de correlación de 0,795, luego, las PST se pueden tomar como indicativo de PM10 en el área urbana de la ciudad de Riohacha. Por el contrario, las concentraciones de PM10 no son predictiva para las concentraciones PM2.5. En términos generales, los resultados de correlación de PM10/PST, son similares a estudios realizados en zonas urbanas de Colombia y de varios países.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los estudios realizados, en los 6 sitios de muestreo, los resultados de las concentraciones de PST, PM₁₀ y PM2.5, no violan los estándares diario, para un periodo de muestreo de 24 horas de la norma Colombiana y la National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) de los Estados Unidos.

Los resultados encontrados muestran que el comportamiento de las fracciones de partículas PM10 y PST, en el área urbana de la ciudad de Riohacha, están influenciado, por emisiones desde el suelo destapado, el pavimento, los materiales de construcción y en gran porcentaje del tráfico vehicular.

El grado de correlación de la relación PM10/PST, en zonas costeras, permite utilizar datos de PST para predecir con confianza la concentración de PM10. Muy contrario a los datos de PM2.5, que no son predecibles a partir de datos de PM10 según los resultados.

Según los resultados de los niveles de concentración de PST, PM10 y PM2.5, la ciudad no necesita la implementación de programa de restricción de transporte, aunque estas concentraciones se ven influenciada por éste, al contrario, se podría aumentar programas de pavimentación para reducir áreas expuestas al viento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Corporación Autónoma Regional de la Guajira, Corpoguajira y a la Universidad de La Guajira por el financiamiento de este proyecto; a la Universidad de Antioquia por el apoyo logístico de bases de datos, al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, por suministrar los datos meteorológicos.

REFERENCIAS

Amaya, M., Estudio de emisiones atmosféricas para el municipio Riohacha en los contaminantes partículas suspendidas totales (PST) y menores de 10 micras PM10". K2 Ingeniería.-Corporación Autónoma regional de La Guajira. Riohacha, Colombia (2008).

Brunekreef, B., Holgate, S.T. Air pollution and health. *The Lancet*: 360(9341), 1233–1342 (2002).

Cabeza, L., Climatología de los principales puertos del Caribe Colombiano. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Boletín Científico CIO. Cartagena de Indias. D.T. H. Colombia. 4-10 (2009).

Celis, J.E., Morales, J.R., Zaror, C.A. y Carvacho, O.F., Contaminación del Aire Atmosférico por Material Particulado en una Ciudad Intermedia: El caso de Chillan (Chile), *Información Tecnológica* 18(3), 49-58 (2007).

Echeverri, C., Maya G. Relación entre las partículas finas (PM2.5) y respirables (PM10) en la ciudad de Medellín. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Medellín*: 7(12), 23-42 (2008).

Galvis, B., Rojas N. Relación entre PM2,5 y PM10 en la ciudad de Bogotá. *ACTA NOVA*: 3(2), 336-353 (2006).

Jinping Z., Fuwang Z., Ya Xu, Jinsheng C., Liqian Y., Xuesong S. Chemical Characteristics of Particulate Matter during a Heavy Dust Episode in a Coastal City, Xiamen. *Aerosol and Air Quality Research*: 11, 299–308 (2011).

King, D.E, Kirchoff, W.H. Evaluation of interlaboratory comparison data on linear regression analysis. In *Methods and Standards for Environmental Measurement*. Editor. NBS Publication 464 Gaithersburg, MD. (1977).

Mugica, V., M. Maubert, M. Torres, J. Muñoz, E. Rico, Temporal and spatial variations of metal content in TSP and PM10 in Mexico City during 1996–1998. *Journal of Aerosol Science*: 33(1), 91–102 (2002).

Pérez-Vidal, H., Lunagómez-Rocha MA, Acosta-Pérez LI. (2010). Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco, Universidad y Ciencia: 26(2), 151-162 (2010).

Pope, C.A., Dockery, D.W., Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect, Journal of the Air and Waste Management Association: 56, 1368–1380, (2006).

Pope, C.A. III Ezzati, Majid, Dockery Douglas W., Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States. New England, Journal of Medicine: 360, 376-386 (2009).

Pope CA III, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. J Air & Waste Management Associations: 56(6), 709–742 (2006).

Rodriguez S., Querol X., Alastuey, G. Kallos, G., Kakaliagou O. Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain, Atmospheric Environment: 35(14), 2433-2447 (2001).

Rojano R., Pérez J., Deluque, J., Análisis comparativo de las mediciones de material particulado PM10. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia: 58, 27-35 (2011).

Saldarriaga J., Echeverri C., Molina F. Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM10) en el valle de Aburrá, Colombia. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia: 32, 7-16 (2006).

Sun Q, Hong X, Wold LE. Cardiovascular effects of ambient particulate air pollution exposure, Circulation: 121(25), 2755-2765 (2010).

US Environmental Protection Agency. Particulate matter. <http://www.epa.gov/air/particlepollution/>. Última actualización: abril 2012. Acceso: mayo 05, (2012).

Vázquez C., Beristain F. y A. Estela. Caracterización del Patrón de comportamiento de las Partículas en Suspensión en el Valle de México, Información Tecnológica 23(3), 3-10 (2012).

