

## **Análisis comparativo de las mediciones de material particulado PM<sub>10</sub>**

### **Comparative analysis of PM<sub>10</sub> particulate matter**

*Roberto Rojano Alvarado, Jhonny Pérez Montiel\*, Jorge Deluque*

Instituto de Estudios Ambientales y Aprovechamiento de Agua, Facultad de Ingeniería. Universidad de La Guajira, Km 5 Vía a Maicao, Bloque 1, Riohacha, Colombia

(Recibido el 18 de febrero de 2010. Aceptado el 26 de noviembre de 2010)

#### **Resumen**

En este estudio se determinaron las concentraciones de PM<sub>10</sub> en la zona urbana del municipio de Riohacha, Colombia y se compararon dos métodos de muestreo de manera simultánea. Los instrumentos utilizados para la comparación fueron los equipos: muestreador de alto volumen PM<sub>10</sub>, Graseby Andersen y un nefelómetro DataRam 4 (Thermo Electron corporation). Los datos fueron obtenidos durante tres meses en dos sitios (Desalud y Bienestar) de la zona urbana de Riohacha. Los resultados mostraron que el promedio de la concentración de PM<sub>10</sub> fue de 23,64 µg/m<sup>3</sup> y 36,86 µg/m<sup>3</sup> en las dos estaciones utilizando el DataRam 4 y de 25,09 µg/m<sup>3</sup> y 36,64 µg/m<sup>3</sup> utilizando el muestreador de alto volumen PM<sub>10</sub>. El Análisis de correlación muestra una consistencia positiva para todas las pares en los dos métodos: R<sup>2</sup> = 0,5377 para la estación Desalud y R<sup>2</sup> = 0,7276 para la estación Bienestar. El coeficiente aumentó cuando se correlacionaron los resultados para los días con Humedad Relativa menor del 70%, R<sup>2</sup> = 0,89 estación Desalud y R<sup>2</sup> = 0,69 estación Bienestar. Los resultados mostraron que el método fotométrico (DataRam 4), puede ser utilizado para determinar concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub> en las condiciones ambientales de Riohacha.

----- *Palabras clave:* partículas, muestreo, humedad, concentración, regresión

#### **Abstract**

This paper presents the concentrations of PM<sub>10</sub> in the urban area of Riohacha, Colombia. Two simultaneous sampling methods are compared. The high-volume sampler PM<sub>10</sub>, Graseby Andersen and a nephelometer DataRam 4 (Thermo Electron corporation). Data was collected over three months in two sites (Desalud and Bienestar) of the urban area of Riohacha. The results show that the average PM<sub>10</sub> concentration was 23.64 µg/m<sup>3</sup> and 36.86 µg/m<sup>3</sup> in the two

---

\* Autor de correspondencia: teléfono: + 58 + 4 + 120 70 28 11, correo electrónico: jpemon@hotmail.com. (J. Pérez)

stations using the DataRam 4 and 25.09  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 36.64  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  using the high-volume sampler  $\text{PM}_{10}$ . The correlation analysis shows a positive consistency for all the pairs in these two monitoring methods:  $R^2 = 0.5377$  for the season Desalud and  $R^2 = 0.7276$  for the season Bienestar. The coefficient increased when the results were correlated to the days with RH less than 70%:  $R^2 = 0.89$  station Desalud and  $R^2 = 0.69$  Bienestar Station. The results showed that the photometric method (DataRam 4) can be used to determine concentrations of particulate matter  $\text{PM}_{10}$  at Riohacha environmental conditions.

----- *Keywords:* particles, sampling, humidity, concentration, regression

## Introducción

El material particulado atmosférico se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas presentes en suspensión en la atmósfera y ha sido uno de los contaminantes de mayor interés en la contaminación atmosféricas [1]. La exposición a estos contaminantes ha sido investigada extensivamente y ha sido asociada con excesos en la morbilidad y mortalidad [2,3]. La correlación entre altos niveles de material particulado y el incremento de la morbilidad y mortalidad específicamente la fracción de partículas  $\text{PM}_{10}$  (Partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor de 10  $\mu\text{m}$ ) puede ser inhalada dentro de los pulmones, causando daños en los tejidos alveolares induciendo problemas de salud [4]. A menudo estas partículas causan un forzamiento radiactivo directamente a través de la reflexión y la absorción de la radiación solar e infrarroja en la atmósfera. Algunos aerosoles pueden causar un forzamiento positivo, mientras que otros causan un forzamiento negativo [5]. Estudios epidemiológicos en ciudades de los Estados Unidos han enfatizado la importancia de medir  $\text{PM}_{10}$  y especialmente  $\text{PM}_{2.5}$  (Partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor de 2,5  $\mu\text{m}$ ) en vez de PST (Partículas Suspendidas Totales), debido a que la correlación de estos contaminantes y la morbilidad y mortalidad, en las áreas urbanas son muy altas [6]. En las ciudades los núcleos industriales y comerciales buscan suplir las necesidades básicas de la población, y al mismo tiempo pueden contribuir a la contaminación ambiental que transforman estas grandes ciudades en verdaderas trampas mortales. La zona urbana de la ciudad de Riohacha en su mayor parte se en-

cuentra influenciado por las fuentes móviles, que utilizan procesos de combustión interna, en estos procesos de combustión se pueden liberar a la atmósfera contaminantes como partículas sólidas en suspensión que contienen metales e hidrocarburos. Estos contaminantes producidos por los vehículos se encuentran en función del tamaño, antigüedad y características de funcionalidad [7]. Los tres principales métodos de medición de la contaminación por material particulado en el aire son: muestreadores gravimétricos, instrumentos ópticos y dispositivos electroquímicos. De acuerdo con el método de referencia Federal (FRM) de los Estados Unidos, en el método de muestreador, las mediciones de las  $\text{PM}_{10}$  se basan en los análisis gravimétricos de partículas recolectadas en los filtros en período de 24 horas a través de muestreadores de Alto Volumen. [8]. Los instrumentos ópticos utilizan una fuente de luz para medir la capacidad de atmósferas para dispersar y absorber la luz. Los dispositivos más comunes son los Nefelómetros, que miden la intensidad de la luz y la intensidad de la luz distante. Los nefelómetros pueden ser utilizados para medir la dispersión de partículas suspendidas en el aire y el tamaño de las partículas en suspensión [9]. El objetivo de este artículo es determinar la concentración de  $\text{PM}_{10}$  en la zona urbana de Riohacha y realizar un análisis comparativo de los resultados de las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  utilizando el método gravimétrico con el muestreador de alto volumen  $\text{PM}_{10}$  y el método fotométrico (nefelómetro) utilizando el DataRam 4. Aunque la dispersión de la luz por las partículas, no mide directamente la masa, esta se puede utilizar como sustituto confiable para medir la concentración de  $\text{PM}_{10}$  [10].

No se reporta en la literatura consultada estudios con objetivos similares en Colombia, especialmente en ciudades costeras como Riohacha, ubicada a orillas del Mar Caribe que recibe las brisas cargadas de humedad que influyen en el incremento de aerosoles en la atmósfera lo que resalta la necesidad de evaluar el método nefelométrico a las condiciones meteorológicas de la ciudad.

## Experimentación

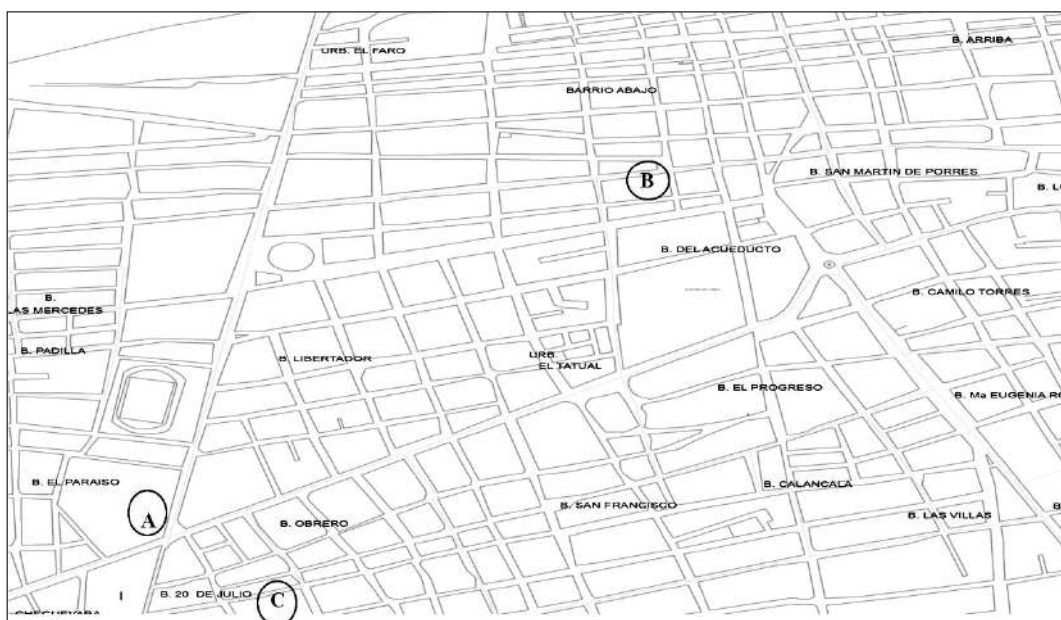
### Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en la zona urbana de la ciudad de Riohacha, capital del Departamento de La Guajira ubicada en el Sureste del Departamento en el Caribe Colombiano, la ciudad de Riohacha se encuentra situada geográficamente entre las coordenadas  $11^{\circ} 30' 44,37''$  Norte,  $72^{\circ} 55' 26,09''$  Oeste y  $11^{\circ} 33' 15,65''$  Norte,  $72^{\circ} 53' 29,77''$  Oeste. Riohacha es la ciudad de más densidad de tráfico en el Departamento de La Guajira y entre las de menor tráfico en Colombia. 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. La población es de más de 200.000 habitantes en la ciudad y sus alrededores. El clima de La Guajira, especialmente en la ciudad Capital, es seco con temperatura promedio de  $28^{\circ}C$ , modificada un poco con la brisa marina y los vientos alisios del noreste que soplan durante la mayor parte del año; las lluvias son escasas y se presentan generalmente en los meses de septiembre a noviembre. [11]

### Muestreo de $PM_{10}$

Las principales fuentes de contaminación en la ciudad de Riohacha son el tráfico vehicular, las emisiones de fuentes misceláneas, principalmente vías no pavimentadas y un número relativamente pequeño de restaurantes que operan en la zona urbana. Dos muestreadores de  $PM_{10}$  fueron colocados simultáneamente en dos sitios durante los meses de marzo a mayo de 2009. Los sitios (figura 1, puntos A y B) fueron seleccionados por las siguientes condiciones: tráfico vehicular, zonas residenciales, aglomeración urbana de mayor actividad, condiciones de seguridad, disponibilidad de energía eléctrica y espacios libre de obstáculos.



**Figura 1** Localización de los sitios de muestreo en el área de estudio (“A”: Instituto de Bienestar Familiar, “B”: Secretaría de Salud, (DESALUD), “C” Estación de Meteorológica IDEAM)

Fuente: Alcaldía Municipal de Riohacha

Los muestreadores seleccionados para evaluar la concentración de  $PM_{10}$  del aire en la zona fueron: un muestreador de alto volumen con cabezote de entrada, carcasa en aluminio, motor, soporte de filtro de 8" x 10", controlador de flujo volumétrico, horómetro, timer mecánico y un manómetro. El otro equipo fue un MIE DataRAM 4 (Monitor en tiempo real con almacenamiento de datos), modelo DR-4000 (Patente americana No. 6,055,052) diseñado para medir la concentración de material particulado suspendido (líquido o sólido), así como el tamaño medio de partícula, temperatura y humedad del aire, proporcionando lectura directa

y continua, así como almacenamiento electrónico de la información. En la tabla 1, se presentan las razones por la cual se seleccionaron estos dos sitios de muestreos. Los datos meteorológicos (tabla 2), fueron suministrados por la estación meteorológica Almirante Padilla del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y está ubicada en el aeropuerto de la Ciudad de Riohacha (punto C de la figura 1). La estación opera continuamente programada para generar datos cada hora de: Temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, radiación solar, pluviometría, brillo solar entre otros.

**Tabla 1** Características y ubicación de los sitios de muestreos

| Sitio de muestreo      | Localización                      | Uso de tierra             | Tipo de terreno | Observaciones                 |
|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Bienestar familiar (a) | N: 11°32'29.7"<br>O: 72°55'14.2"  | Residencial               | Plano           | Alto Tráfico Vehicular        |
| Desalud (b)            | N: 11°32'58.5"<br>O: 72°54'44.6"  | Residencial/<br>comercial | Plano           | medioTráfico Vehicular        |
| Ideam (c)              | N:11°31'34.40"<br>O: 72°55'33.45" | privado                   | Plano           | Aeropuerto Ciudad de Riohacha |

**Tabla 2** Descripción de los parámetros meteorológicos en el periodo de muestreo marzo – mayo de 2009

| Parámetro                 | Media (Desv. Est) | Máximo | Mínimo |
|---------------------------|-------------------|--------|--------|
| Temperatura, °C           | 26,70 (0,56)      | 35,00  | 18,80  |
| Velocidad del Viento, m/s | 10,15 (0,63)      | 13,60  | 3,30   |
| Humedad Relativa          | 73,50 (16,80)     | 100    | 56,00  |
| Humedad Relativa*         | 72,17 (7,24)      | 83     | 56,00  |

\*Humedad relativa registrada por el dataloger del DataRam 4

### Muestreo gravimétrico de $PM_{10}$

La concentración de  $PM_{10}$  por el método gravimétrico, fue determinada según lo establecido en el Método de referencia de la CFR para determinar material particulado en la atmósfera menor de 10 micras. (Code of Federal Regulations. Appendix J to Part 50, 1997). Se empleó un muestreador de alto volumen con cabezal  $PM_{10}$ , marca GRASEBY ANDERSEN modelo G310, que operó 24 horas desde las 7:00 am hasta las 7:00 am del día siguiente.

Los muestreos se desarrollaron con un flujo constante de 1,130 m<sup>3</sup>/min. Se utilizaron filtros de fibra de cuarzo colocados antes y después del muestreo en un desecador marca VACUMFEST-DURAN que utiliza como elemento desecante la sílica gel por un período 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 10 µg. Los filtros fueron codificados teniendo en cuenta que los identificados con numeración impar

se colocaron en la estación A y los filtros con numeración par en la estación B. El equipo se le calibró siguiendo el estándar de calibración recomendado por el fabricante utilizando: 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.

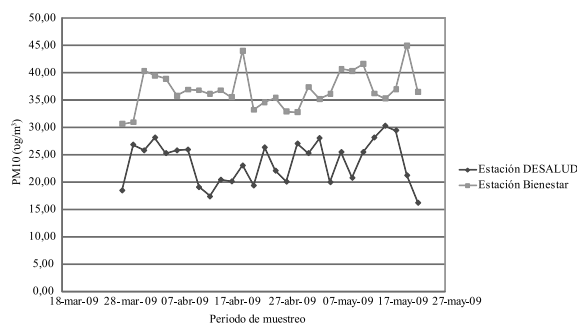
### Muestreo fotométrico de PM<sub>10</sub> (DataRam4)

El otro método para la determinación de la concentración de PM<sub>10</sub>, fue el fotométrico. Se utilizó un monitor nefelométrico DataRAM 4 (Thermo Electron Corporation). Este equipo es un monitor de doble longitud de onda de alta sensibilidad, cuya configuración de sensores de difracción de luz mide las concentraciones en tiempo real. Este modelo ha sido optimizado para la medición de la fracción de partículas finas del polvo suspendido, con un rango de medición de 0,1 µg/m<sup>3</sup> a 400.000 µg/m<sup>3</sup>, con rango de medición de humedad relativa de 0 a 100% (exactitud: 2%, sin condensación, a 25 °C). El equipo operó a una tasa de flujo de 3 L/min, con una longitud de onda de λ = 550 nm, La cantidad de luz dispersada se convierte a lecturas concentración de partículas. Igual que el equipo anterior, se le calibró siguiendo el estándar de calibración recomendado por el fabricante. Se calibró gravimétricamente para un aerosol particular en condiciones de campo (condiciones reales de uso). Se colocó un filtro de membrana nuevo en la porta-filtro analítico previamente pesado, y se dio inicio a la corrida de medición para determinar el Factor de corrección utilizando partícula fina de 3 µm, densidad de 2,6 g/cm<sup>3</sup> obteniendo un índice de refracción de 1,28. Este valor se seleccionó en la pantalla del DataRAM 4.

### Resultados y discusión

La figura 2, muestra el resultado de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, utilizando como muestreador el DataRam 4, para los dos sitios de muestreo Desalud y Bienestar, en el período de

estudio. El promedio de la concentración de PM<sub>10</sub>, fue de 23,64 µg/m<sup>3</sup> para la estación de Desalud con una desviación estándar de 3,93 µg/m<sup>3</sup> y 36,86 µg/m<sup>3</sup> para la estación Bienestar con una desviación estándar de 3,47 µg/m<sup>3</sup>. Estos equipos trabajaron simultáneamente. El estado Colombiano a través de la resolución 0601 de 2006 [12], estableció los niveles máximos permisibles en condiciones de referencia para contaminantes criterio, que para el PM<sub>10</sub> se estableció un estándar diario de 150 µg/m<sup>3</sup>, para un período de muestreo de 24 horas. La concentración en ambos sitios no excede este valor, la concentración máxima, incluyendo los dos sitios, se registró el 20 de mayo de 2009 con un valor de 45 µg/m<sup>3</sup>. También se puede analizar a través de este método, que las concentraciones obtenidas en la estación del Bienestar Familiar son más altas en comparación con las obtenidas en la estación ubicada en Desalud, lo cual es probable debido al alto tráfico que presenta el sector denominado “cuatro vías” aledaño al Bienestar Familiar sitio de muestreo.

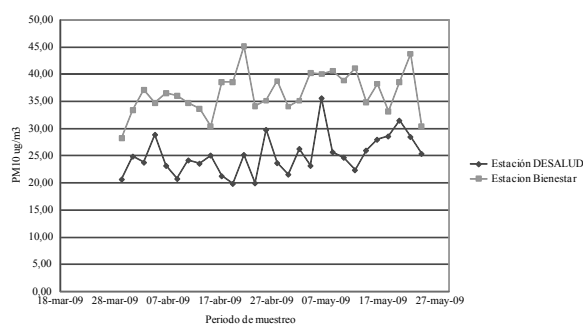


**Figura 2** Concentración promedio de PM<sub>10</sub>, mediante equipo DataRam 4 en los sitios de muestreo

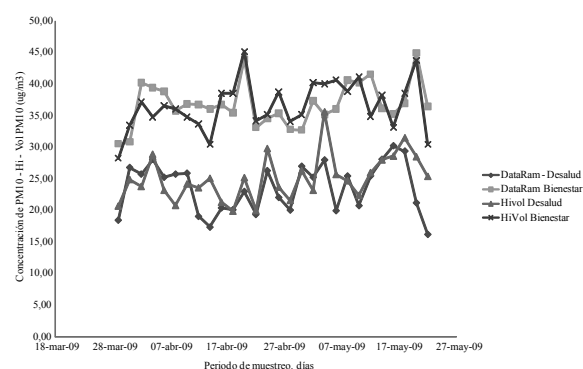
La figura 3, muestra las concentraciones de PM<sub>10</sub>, utilizando el muestreador gravimétrico de Alto Volumen. El promedio de la concentración de PM<sub>10</sub>, fue de 25,09 µg/m<sup>3</sup> con desviación estándar de 3,66 µg/m<sup>3</sup> para la estación de Desalud y 36,64 µg/m<sup>3</sup> con una desviación estándar de 3,91 µg/m<sup>3</sup> para la estación Bienestar.

En la figura 4, se puede apreciar que las concentraciones en los dos sitios de muestreo no exceden el Estándar Legal Diario de 150 µg/m<sup>3</sup>, donde la concentración máxima incluyendo

los dos sitios para este método de muestreo, se registró el 20 de abril de 2009 con un valor de  $45,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que es un 31% del valor legal. El resultado de las concentraciones obtenidas en la estación del Bienestar Familiar, dan valores 10% más altos en comparación con las obtenidas en la estación ubicada en Desalud, lo cual, como se dijo anteriormente, es probable, debido al alto tráfico que se presenta en el sector denominado “cuatro vías” aledaño al Bienestar Familiar sitio de muestreo. También se aprecia en la figura 4, que los resultados entre los dos métodos arrojan resultados similares, con diferencias mínimas en los promedios de concentración.



**Figura 3** Concentración promedio de  $\text{PM}_{10}$ , mediante el equipo Hi-Vol  $\text{PM}_{10}$  en los sitios de muestreo



**Figura 4** Concentración de  $\text{PM}_{10}$ , mediante los métodos gravimétrico y fotométrico en los sitios de muestreo Desalud y Bienestar

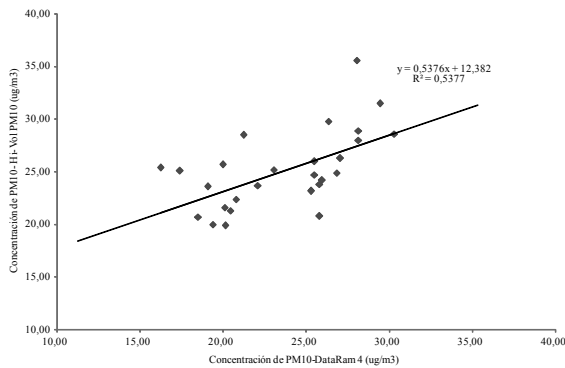
El objetivo de esta investigación era comparar los resultados de las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$ , entre el método gravimétrico con el muestreador de alto

volumen Hi-Vol  $\text{PM}_{10}$  y el método fotométrico utilizando el DataRam 4. Se realizó un análisis de correlación [13] utilizando un paquete estadístico, utilizando como variable independiente el método fotométrico del equipo DataRam 4 y el método gravimétrico del equipo muestreador de alto volumen Hi-Vol  $\text{PM}_{10}$ , como la variable dependiente. La figura 4, muestra los resultados de las concentraciones en la estación de Desalud, donde los equipos trabajaron simultáneamente en las mismas condiciones ambientales y meteorológicas. Como se puede apreciar en la figura 4, el comportamiento de los dos métodos de muestreos es similar, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y topográficas de la ciudad de Riohacha.

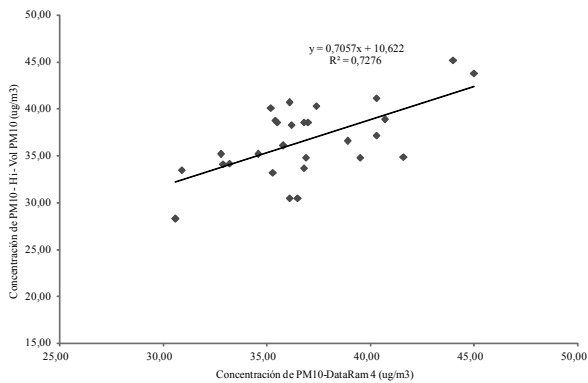
La figura 5, muestra el análisis de regresión lineal entre el método gravimétrico utilizando el muestreador de alto volumen Hi-Vol  $\text{PM}_{10}$  y el método fotométrico utilizando el DataRam 4 (intercepto = 12,38, pendiente = 0,5376,  $R^2 = 0,5377$ ,  $N = 28$ ), se puede apreciar en los resultados una consistencia positiva y regular para todas las pares en estos dos métodos de muestreo, teniendo en cuenta que en el muestreo fotométrico utilizando el DataRam 4, la relación entre la dispersión de la luz por la partículas y la concentración de las partículas depende de muchas variables entre ellas la temperatura y humedad relativa y puede ser diferentes en distintos lugares y distintas épocas del año [10].

De igual manera, la figura 6, muestra los resultados de las concentraciones en la estación de Bienestar, donde también los equipos trabajaron simultáneamente en las mismas condiciones ambientales y meteorológicas. Analizando esta figura, el análisis de regresión lineal entre los métodos gravimétrico y fotométrico (intercepto = 10,622, pendiente = 0,7057,  $R^2 = 0,7276$ ,  $N = 28$ ), muestra una consistencia positiva y buena para todas las pares en estos dos métodos de muestreo, resultando una correlación mayor que en la estación Desalud. Esta estación estar más influenciada por fuentes móviles, debido al tráfico vehicular que se presenta en el sector denominado “cuatro vías” cercano a esta estación. En el resultado de las dos estaciones se puede apreciar que los valores de intercepto de  $12,380 \mu\text{g}/$

m<sup>3</sup> para la estación Desalud y 10,622 µg/m<sup>3</sup> para la estación Bienestar, son parecidos entre ellos, lo cual indica que la diferencia en los resultados de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, entre los métodos varía entre 10 a 12 µg/m<sup>3</sup>, como predicción de un método al otro. Los resultados de correlaciones obtenidos entre los dos métodos, fueron menores que los reportados en otros estudios, especialmente por Trent et al. (R<sup>2</sup> = 0,9784) [9], que no encontró diferencias significativas en los dos métodos.



**Figura 5** Comparación de las concentraciones de PM<sub>10</sub> entre los equipos DataRam 4 y Hi-Vol Pm<sub>10</sub>, en la Estación Dasalud

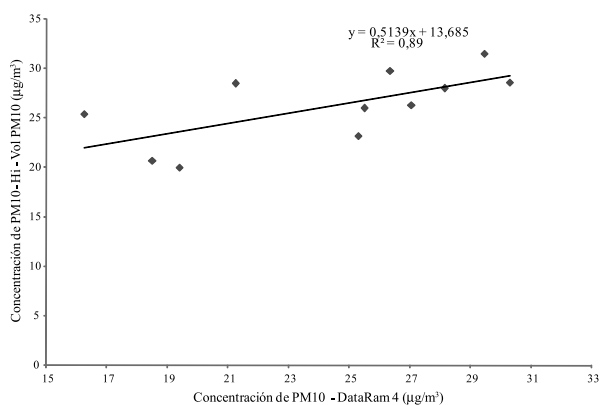


**Figura 6** Comparación de las concentraciones de PM<sub>10</sub> entre los equipos DataRam 4 y Hi-Vol PM<sub>10</sub>, en la Estación Bienestar

Otro propósito del estudio era comparar el resultado de los dos métodos de muestreo y la influencia de la Humedad Relativa, debido a que en la investigación se utilizó un monitor

nefelométrico DataRAM 4 (Thermo Electron Corporation). Este equipo es un monitor de doble longitud de onda de alta sensibilidad, cuya configuración de sensores de difracción de luz mide las concentraciones en tiempo real de partículas. Muchos autores han concluido que el contenido de agua en el aerosol es determinado por la composición de las partículas y la humedad relativa y la cantidad de agua en las partículas se incrementa rápidamente cuando la humedad relativa está por encima de aproximadamente 70% [10,14]. La figura 7, muestra el resultado del análisis de regresión lineal entre los dos métodos con valores de Humedad Relativa menores de 70% en la estación Desalud. (Intercepto = 13,685, pendiente = 0,5139, R<sup>2</sup> = 0,89, N = 11), muestra una consistencia positiva y alta correlación para todas los pares en estas dos técnicas de muestreo. Se puede apreciar un aumento del 40% en el Coeficiente de Correlación, cuando se toman los valores de las concentraciones con la Humedad relativa menor del 70%, sin menospreciar los resultados con la humedad relativa mayor 70%,

La figura 8, muestra el resultado del análisis de regresión lineal entre las dos técnicas con valores de Humedad Relativa menores de 70% en la estación Bienestar. (Intercepto = 8,13, pendiente = 0,7573, R<sup>2</sup> = 0,69, N = 11), mostrando una consistencia positiva y mediana correlación para todos los pares en estas dos técnicas de muestreo. Se puede apreciar una disminución del 4% en el Coeficiente de Correlación, cuando se toman los valores de las concentraciones con la Humedad relativa menor al 70%. Con este resultado puede inferir que la estación Bienestar no es influenciada por la Humedad Relativa, al contrario, se observa una correlación muy parecida en los dos métodos. Estos resultados son parecidos a los obtenidos por algunos autores en estudios similares. [15,16], donde se obtiene correlación fuerte cuando se analizan los datos con Humedades Relativas menores de 70%. La tabla 3, resume el análisis del estudio estadístico de regresión que se desarrolló en este estudio. donde los resultados presentan buena correlación.

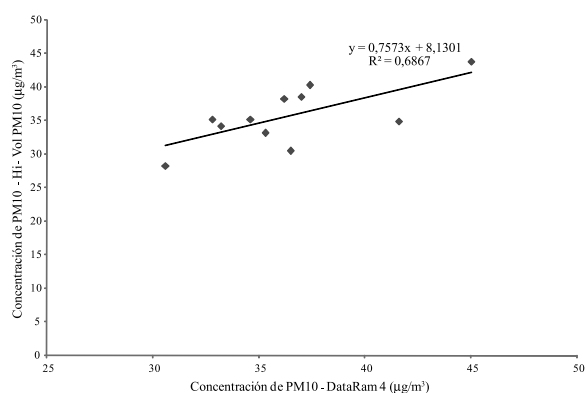


**Figura 7** Comparación de las concentraciones de  $PM_{10}$  entre los equipos DataRam 4 y Hi-Vol  $PM_{10}$ , en la Estación Desalud. Humedad Relativa < 70%

### Conclusiones

El método fotométrico para medir material particulado menor de 10 micras,  $PM_{10}$  utilizando el DataRam 4, es un método viable, sin embargo, los resultados sugieren un cuidado especial en la metodología debido a la influencia de variables meteorológicas, especialmente cuando la humedad relativa supera el 70%. Niveles mayores al 70% en la humedad relativa, ocasionan aumento en el nivel de concentración proporcionando datos no confiables. De todas maneras, los nefelómetros pueden medir las concentraciones del material particulado en la atmósfera en tiempo real y aminorar costos con relación al método gravimétrico. Los resultados mostraron correlaciones aceptables en comparación con el método

gravimétrico, establecido como método de referencia por la EPA. Se puede apreciar una mejor correlación entre los dos métodos a humedad relativa menor al 70%. En ninguno de los casos, los resultados de las concentraciones de  $PM_{10}$ , violan el estándar diario de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para un periodo de muestreo de 24 horas en la norma Colombiana, tampoco viola el estándar de  $PM_0$  para los Estados Unidos, establecido en el National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), que es de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , concluyendo que los dos métodos son similares para las condiciones ambientales y meteorológica de la ciudad de Riohacha. Los resultados también muestran que la correlación de las dos técnicas aumenta con la influencias de fuentes móviles, como se pudo apreciar en la estación ubicada en el Bienestar, zona de alto tráfico.



**Figura 8** Comparación de las concentraciones de  $PM_{10}$  entre los equipos DataRam 4 y Hi-Vol  $PM_{10}$ , en la Estación Bienestar. Humedad Relativa < 70%

**Tabla 3** Resumen de resultados de correlación, entre los equipos DataRam 4 y Hi-Vol  $PM_{10}$ , Humedad Relativa < 70%

| Sitio de muestreo      | R regresión lineal | R regresión lineal con HR < 70% | Intervalo de confianza |
|------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------|
| Bienestar familiar (a) | 0,85               | 0,83                            | 95%                    |
| Desalud (b)            | 0,73               | 0,94                            | 95%                    |

### 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, al Instituto de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, por suministrar los datos meteorológicos.



## Referencias

1. M. J. Nieuwenhuijsen, J. E. Gómez-Perales, R. N. Colville. "Levels of particulate air pollution, its elemental composition, determinants and health effects in metro systems". *Atmospheric Environment*. Vol. 41. 2007. pp. 7995-8006.
2. B. Brunekreef, S. T. Holgate. "Air pollution and health". *The Lancet*. Vol. 360. 2002. pp 1233-1342.
3. C. A. Pope 3rd, D. W. Dockery." Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect". *Journal of the Air and Waste Management Association*. Vol. 56. 2006. pp. 1368-1380.
4. J. M. Vallius, J. Ruskannen, A. Mirme, J. Pekkanen. "Concentrations and Estimated Soot Content of PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>10</sub> in a Subarctic Urban Atmosphere". *Environmental Science & Technology*. Vol. 34. 2000. pp. 1919-1925.
5. S. Lu, Q. Luan, Z. Jiao, M. Wu, Z. Li, L. Shao, F. Wang. "Mineralogy of Inhalable Particulate Matter (PM<sub>10</sub>), in the Atmosphere of Beijing, China". *Journal Water Air Soil Pollution*. Vol. 186. 2007. pp. 129-137.
6. E. Kainka, G. Kramert, J. Dudzeviciusij. "Characterisation of particulate matter PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in northrhine westphalia, saxonia and lithuania-first results". *British Occupational Hygiene Society*. Vol. 41. 1997. pp. 54-59.
7. R. Rojano, D. Soto, Y. Mendoza, A. Alvarado, E. Gámez. *Determinación de la concentración de partículas suspendidas totales (PST), en la zona urbana de la ciudad de Riohacha, La Guajira colombiana* Universidad de La Guajira. Centro de Investigación. Facultad de Ingeniería. Colombia 2007. pp. 92- 93.
8. T. William, J. Winberry Jr. *Compendium Method IO-2.1. Sampling of ambient air for Total Suspended Particulate Matter (SPM) and PM<sub>10</sub> using high volume (HV) sampler*. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development U.S. EPA Cincinnati. 1999. pp.26-38.
9. A. Trent, M. A. Davies, R. Fisher, H. Thistle, R. Babbitt. *Evaluation of optical instruments for real-time continuous monitoring of smoke particles*. Department of Agriculture Forest Service. Missoula. Montana. Technology and Development Program. 2000. pp.5-14.
10. J. G. Watson, J. C. Chow, H. Moosmüller, M. Green, N. Frank, M. Pitchford. *Guidance for using continuous monitors in PM<sub>2.5</sub> monitoring networks*. Environmental Protection Agency. North Carolina. 1998. pp. 36-52.
11. L. Cabeza Durango. *Climatología de los principales puertos del Caribe Colombiano*. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena de Indias. D.T. Boletín Científico CIOH. 2009. pp. 4-10.
12. S. S. Pérez. *Resolución 0601 de abril 4 de 2006*. Ministerio de ambiente. Vivienda y desarrollo territorial. Bogotá D.C. 2006. pp. 6-9.
13. D. E. King. *Evaluation of interlaboratory comparison data on linear regression analysis*. In *Methods and Standards for Environmental Measurement*. W. H. Kirchoff. (editor). NBS Publication. Gaithersburg. 1977. pp. 581-596.
14. P. H. Mc Murry "A review of atmospheric aerosol measurements". *Atmospheric Environment*. Vol. 30. 2000. pp. 1959-1999.
15. S. Shen, P. A. Jaques, Y. Zhu, M. D. Geller, C. Sioutas. "Evaluation of the SMPS-APS system as a continuous monitor for measuring PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and coarse (PM<sub>2.5-10</sub>) concentrations". *Atmospheric Environment*. Vol. 30. 2002. pp. 1959-1999.
16. C. Sioutas, S. Kim, M. C. Chang, L. Terrell, H. Gong 2000. "Field evaluation of a modified DataRAM Mie scattering monitor for real-time PM<sub>2.5</sub> mass concentration measurements". *Atmospheric Environment*. Vol. 34. pp. 4829-4838.