



## Determinación de Metales y Material Particulado PM<sub>2.5</sub> en muestras del aire de Villa del Rosario-Norte de Santander

### Determination of Metals and Particulate Matter PM<sub>2.5</sub> in air samples from Villa del Rosario, North Santander

Quijano Parra Alfonso<sup>1</sup>, Thomas Manzano Saury José<sup>2</sup>, Peña Rodríguez Belisario<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Pamplona, Pamplona-Colombia. Facultad de Ciencias Básicas. Departamento de Química. Grupo de Investigación en Química.

<sup>2</sup>Universidad de Pamplona, Pamplona-Colombia. Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Industrial. Grupo de Investigación INGAPO.

#### Resumen

El aire limpio es considerado como un requisito básico de la salud y el bienestar humano. Sin embargo, la contaminación atmosférica continúa planteando una amenaza significativa para la salud en todo el mundo. El material particulado (PM) es un contaminante atmosférico que la OMS obliga a monitorear permanentemente en todas las ciudades del mundo. Las partículas atmosféricas constituyen uno de los contaminantes atmosféricos más importantes, debido a que contienen sulfatos, nitratos, determinados metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) que son compuestos con conocida actividad genotóxica, mutagénica y/o carcinogénica. Los metales son conocidos por estar involucrados en la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y radicales hidroxilo. El PM es un importante factor de riesgo ambiental ya que produce efectos a la salud humana. Estudios epidemiológicos sugieren que el PM aumenta la rinitis alérgica, el asma, cáncer de pulmón especialmente en zonas urbanas industrializadas. Las partículas con un diámetro aerodinámico menor a 2.5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>) son generalmente referidas como partículas finas y están implicadas en efectos a la salud humana. La fracción PM<sub>2.5</sub> es producida por la combustión de los vehículos que funcionan con motores Diesel. En Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, expidió en Marzo de 2010 la Resolución 610 sobre las normas de Calidad del Aire. El propósito de esta investigación es conocer la concentración diaria del PM<sub>2.5</sub> en la ciudad de Villa del Rosario y compararla con la norma Colombiana. En esta investigación por primera vez se reporta la concentración diaria del PM<sub>2.5</sub> del aire de Villa del Rosario-Norte de Santander y se detecta la presencia de los siguientes metales Ca, Fe, Pb, K, Cr, Zn, Cd y Mn.

#### Palabras Clave:

Material particulado PM<sub>2.5</sub>, partisol 2025, absorción atómica, metales, fuentes móviles.



## Abstract

Clean air is considered as a basic requirement of health and human welfare. However, air pollution continues to pose a significant threat to health around the world. The particulate matter (PM) is an air pollutant that WHO requires constant monitoring in all cities. Atmospheric particles are one of the most important air pollutants, because they contain sulfates, nitrates, certain metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are compounds with known genotoxic activity, mutagenic and / or carcinogenic. Metals are known to be involved in the generation of reactive oxygen species (ROS) and hydroxyl radicals. The PM is a significant environmental risk factor since it produces effects on human health. Epidemiological studies suggest that PM increases allergic rhinitis, asthma, lung cancer, especially in industrialized towns. Particles with less than 2.5 microns in aerodynamic diameter (PM<sub>2.5</sub>) are generally referred to as fine particles, and are involved in human health effects. The PM<sub>2.5</sub> fraction is produced by the combustion of vehicles running on this research engines Diesel. In Colombia, the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development, issued in March 2010 Resolution 610 on Air Quality Standards. The purpose of this research is to know the daily concentration of PM<sub>2.5</sub> in the city of Villa del Rosario and compare it with the Colombian standard. In this research for the first time the daily concentration of PM<sub>2.5</sub> Air Villa del Rosario, Norte de Santander and reported the presence of these metals Ca, Fe, Pb, K, Cr, Zn, Cd and Mn is detected. In first daily concentration of PM<sub>2.5</sub> Air Villa del Rosario, Norte de Santander and reported the presence of the detected following metals Ca, Fe, Pb, K, Cr, Zn, Cd and Mn.

## Key words :

Particulate matter PM<sub>2.5</sub>, Partisol 2025, atomic absorption, metals, mobile sources.

\*Para citar este artículo: Quijano Parra A, Thomas Manzano S, Peña Rodríguez B. Determinación de Metales y Material Particulado PM<sub>2.5</sub> en muestras del aire de Villa del Rosario-Norte de Santander. Bistua. 2013. 11(2):40-54

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas: Quijano Parra A. Facultad de Ciencias Básicas. Laboratorio de Control de Calidad. email: alfonsoquijanoparra@unipamplona.edu.co

Recibido: Octubre 30 de 2012 Aceptado: Septiembre 02 de 2013

## Introducción

La contaminación del aire es un problema de salud ambiental que afecta a todo el planeta. Cada vez se emiten a la atmosfera mayores cantidades de gases y partículas potencialmente nocivas, lo que afecta la salud humana, el ambiente y los recursos necesarios para lograr un desarrollo sostenible en el planeta (Monks et al,2009). Los contaminantes atmosféricos se clasifican normalmente en: partículas en suspensión o material particulado (PM), contaminantes gaseosos y olores. El PM incluye gases de escape de motores diesel, cenizas en suspensión, polvos minerales, polvos orgánicos y metálicos, nieblas ácidas ,fluoruros, pigmentos, nieblas de pesticidas, hollín y humos; los contaminantes gaseosos incluyen compuestos azufrados ( $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ ), monóxido de carbono, compuestos orgánicos (hidrocarburos HC, compuestos orgánicos volátiles(COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y aldehídos), compuestos nitrogenados ( $\text{NO}$ , $\text{NO}_2$ ,amoníaco),el ozono  $\text{O}_3$ , compuestos halogenados y haluros (HF y HCl), sulfuro de hidrógeno, bisulfuro de carbono y mercaptanos . Los componentes químicos y alérgenos atribuidos al PM pueden ejercer diversos efectos a la salud (Brunekreef y Forsberg,2005; Gent et al,2009).El PM presente en la atmósfera tienen un rango de tamaño entre 0,001 y 50  $\mu\text{m}$  (Morawska et al,1999).La fracción de aerosoles respirables con diámetro aerodinámico menor o igual a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ), penetran a diferentes profundidades del sistema respiratorio.

Las partículas más pequeñas son respirables en mayor porcentaje. Las partículas con diámetro aerodinámico igual o menor a 2,5  $\mu\text{m}$  son 100% respirables ( $\text{PM}_{2.5}$ ) estas son más sensibles que las del  $\text{PM}_{10}$  (Kan et al,2007; Lee,Wong,Lau,2006; Lee,Son,Cho,2007;Woodruff,Parker,Schoendorf, 2006;Laden et al ,2006).Las partículas más pequeñas de 0,5  $\mu\text{m}$  pueden penetrar los mecanismos de defensa del sistema respiratorio y depositarse en los alvéolos pulmonares (Cohen y Hering,1995). En términos de calidad del aire se definen también cuatro parámetros fundamentales atendiendo al tamaño de corte de los sistemas de captación: PST,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_1$  (Quijano y Orozco,2005). El PM además de sus efectos respiratorios, corrosivos, cancerígenos, irritantes y destructores de la vida vegetal, interfiere con la luz del sol (formación de nieblas que dificultan la penetración de los rayos solares) (Ding Luyi , et al.2009), contiene iones inorgánicos, metales trazas, carbono elemental, materia orgánica carbonacea y agua. La fracción orgánica es especialmente compleja y contiene cientos de compuestos orgánicos (Wilson et al,2002). Los procesos de combustión (Sioutas,Delfino,Singh,2005) y las emisiones de los vehículos a motor (Westerdahl et al,2005) representan la principal fuente de PM en las áreas metropolitanas urbanas. Las partículas atmosféricas constituyen uno de los contaminantes atmosféricos más importantes, debido a que contienen hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) que son compuestos con



conocida actividad genotóxica, mutagénica y/o carcinogénica (Wang Xiaofei, *et al.* 2008; García y Carreras, 2008), sulfatos, nitratos y determinados metales como As, Cd, Fe, Zn, Cr, Cu, Al, V, Ni y Pb (Machado Anali *et al.* 2008). Los metales son conocidos por estar involucrados en la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y radicales hidroxilo. Estos activos metales redox bajo ciertas condiciones pueden causar daño oxidativo a las biomoléculas en los pulmones (Valavanidis *et al.*, 2006). Estudios epidemiológicos sugieren que el PM incrementa la morbi mortalidad pulmonar (Maier *et al.* 2008) y aumenta la rinitis alérgica, el asma y el cáncer de pulmón (Abbas *et al.*, 2009), se ha observado que la contaminación ambiental producida por el PM<sub>2.5</sub> es un problema preocupante debido a la evidencia que se tiene de sus efectos adversos a la salud (Dockery *et al.*, 1998; Samet *et al.*, 1998; Stieb, Stan, Burnett, 2002). La fracción PM<sub>2.5</sub> es producida por la combustión de los vehículos que circulan por nuestras ciudades en especial por aquellos que funcionan con motores Diesel (Espinosa, Rojas y Gomez, 2006). El PM<sub>2.5</sub> proveniente del diesel es un contaminante tóxico del aire debido a sus propiedades carcinogénicas y a que causa problemas respiratorios, cardiovasculares (Mills *et al.*, 2005) e induce reacciones alérgicas (Kleinman *et al.*, 2005). El propósito de esta

investigación es conocer la concentración diaria del PM<sub>2.5</sub> en la ciudad de Villa del Rosario-Norte de Santander y caracterizar químicamente el material particulado PM<sub>2.5</sub> en lo relacionado con la presencia de metales pesados.

## Metodología

### Muestreo

Para evaluar la Calidad del Aire en la localidad de Villa del Rosario-Norte de Santander-Colombia, se utilizó un equipo semiautomático medidor de PM<sub>2.5</sub> Partisol-2025 PLUS de la Ruprecht-Patashnick, siguiendo los lineamientos de la OMS y la EPA.

### Sitio de Muestreo

Se realizó el monitoreo de la fracción respirable PM<sub>2.5</sub> en Villa del Rosario-Norte de Santander ubicada en la cordillera Oriental de Colombia, al sureste del Departamento Norte de Santander con coordenadas geográficas 72° 25' de longitud Oeste y 7° 20' de latitud Norte, su extensión territorial es de 228 Km<sup>2</sup> a una altitud de 440 msnm y una presión atmosférica de 711 mm de Hg (fig 1); con este fin se instaló en la entrada de la Universidad de Pamplona el equipo Partisol 2025 Plus. Las muestras ambientales se recogieron con el equipo, en el que una corriente de aire del ambiente pasa a través de un filtro de un diámetro de 47 mm durante 24 horas continuas, con una frecuencia de tres días. El flujo de aire muestreado permanece constante durante el tiempo

44

de muestreo y es de 1 m<sup>3</sup>/h. El equipo muestra las condiciones de temperatura ambiental, presión ambiental y la humedad relativa durante el muestreo. Las muestras ambientales obtenidas se realizaron durante el período comprendido entre Abril-Julio de 2012 y se analizaron por gravimetría para la determinación de la masa final y obtener la concentración diaria de PM<sub>2.5</sub>. Se escogió la Universidad de Pamplona en Villa del Rosario (avenida Internacional ) como sitio del muestreo de la fracción respirable PM<sub>2.5</sub>, ya que está ubicada en el casco urbano y en una vía que presenta un alto flujo vehicular, particularmente de fuentes móviles que utilizan como combustible el diésel y la gasolina, ya que éste sector es paso obligado del transporte vehicular que une a Colombia con Venezuela, generando un mayor riesgo en la salud humana por la exposición a contaminantes, en especial en la población más vulnerable.



**Figura 1:** Ubicación de Villa del Rosario en Colombia

### Medio de recolección

Se utilizaron filtros de Teflón de 47 mm de diámetro, con un tamaño de poro de 2 micras. El monitoreo de PM 2.5 se realizó durante un periodo de 3 meses y 17 días, comprendidos entre el 2 de Abril y el 19 de Julio del 2012, se recolectaron 37 muestras en total.

### Conteo Vehicular

Se realizó un conteo vehicular para conocer la cantidad de vehículos promedio que transitan por la avenida Internacional. Los datos del flujo vehicular en esta zona se obtuvieron contando el número de vehículos (carros, buses, busetas, camiones y motos) que transitaron entre las 08:15 a 12:15 y desde las 14:15 hasta las 17:15 los días 16 de abril, 14 de mayo, 18 de junio, 9 julio del 2012

### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LOS FILTROS DE PM<sub>2.5</sub> EN VILLA DEL ROSARIO (NORTE DE SANTANDER)

#### Análisis de la Concentración del PM<sub>2.5</sub>

Para determinar la concentración del material particulado PM<sub>2.5</sub> se utilizó el método gravimétrico, en donde se pesaron los filtros al comienzo ( $W_i$ ) y al final ( $W_f$ ) de cada muestreo. La concentración de las partículas PM<sub>2.5</sub> en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se determinó por la siguiente formula.

$$[\text{PM}_{2.5}] = \frac{W_f - W_i}{V_s} \times 10^6 \quad (1)$$



Wi = peso inicial del filtro (gramos), Wf: peso final del filtro (gramos), Vs: Volumen de aire muestreado.

### **Análisis de Metales.**

Para la extracción y el análisis de los elementos metálicos recolectados en la sede de la Universidad de Pamplona en Villa del Rosario, se utilizó el método (EPA IO-3.2, 1999), que establece una digestión del 10% del área del filtro. El material de vidrio usado para este análisis de metales se lavó cuidadosamente con jabón, y posteriormente se purgó con una solución de ácido sulfúrico 0,25 N y dicromato de potasio 0,25 N diluidos en un litro de agua des ionizada para eliminar residuos de metales.

### **Preparación de la muestra.**

Se tomaron 20 filtros al azar, de las muestras recolectadas del material particulado PM<sub>2.5</sub>, luego se introdujeron los filtros recortados en un erlenmeyer de 250mL y se adicionaron 100 ml de ácido clorhídrico concentrado al 37%, el erlenmeyer se cubrió con un vidrio de reloj y se calentó suavemente durante 6 horas, hasta reducir el volumen a 25 ml. Se removió la solución anterior y se trasvaso a un beaker de 100 ml, se adiciono 10 ml de agua destilada al erlenmeyer, para extraer los sólidos presentes, se calentó durante 15 minutos, el procedimiento de extraer los

sólidos se repitió 2 veces. Se combinaron los extractos y se llevaron hasta casi sequedad, posteriormente se adicionaron 10 ml de ácido clorhídrico concentrado al 37% y 10 gotas de ácido nítrico, se transfirieron a un balón aforado de 25 ml. Este mismo procedimiento se realizó para el blanco. Se filtró la muestra y el blanco para eliminar cualquier material presente.

### **Detección de Metales**

La técnica de absorción atómica, se utiliza para obtener información cualitativa y cuantitativa acerca de la composición de la muestra. Para la detección de los metales se utilizó un equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) Thermo Electron Corporation Modelo 54, ubicado en el laboratorio Instrumental de Análisis Químico de la Universidad Industrial de Santander. Para realizar la curva de calibración se usaron patrones Analíticos de Merck. Los parámetros de trabajo utilizados para cada elemento se describen en la tabla 1.

### **Análisis de Sulfatos**

Para la determinación de sulfatos se utilizó el método Turbidimétrico.

### **Preparación de la muestra para análisis de sulfatos**

Se eligieron 10 filtros al azar de las muestras del material particulado PM<sub>2.5</sub> y se recortaron en pequeños trozos; se



46

| Parámetros de trabajo para cada elemento. | $\lambda$ (nm) | Slit (nm) | Concentración característica Check ( $\mu\text{g/L}$ ) | Rango lineal ( $\mu\text{g/L}$ ) | Tipo de llama |
|---|----------------|-----------|--|----------------------------------|---------------|
| <b>Metal</b>                              |                |           |  |                                  |               |
| <b>Ca</b>                                 | 422.7          | 0.7       | 4  | 5                                | Aire-C2H2     |
| <b>Cd</b>                                 | 228.8          | 0.7       | 1.5  | 2                                | Aire-C2H2     |
| <b>Cr</b>                                 | 257.9          | 0.7       | 4  | 5                                | Aire-C2H2     |
| <b>Fe</b>                                 | 248.3          | 0.2       | 100  | -----                            | Aire-C2H2     |
| <b>K</b>                                  | 766.5          | 0.7/1.4   | 4  | 20                               | Aire-C2H2     |
| <b>Mn</b>                                 | 279.5          | 0.2       | 2.5  | 2                                | Aire-C2H2     |
| <b>Pb</b>                                 | 217.0          | 0.7       | 20   | 20                               | Aire-C2H2     |
| <b>Zn</b>                                 | 213.9          | 0.7       | 1  | 1                                | Aire-C2H2     |
| <b>Co</b>                                 | 240.7          | 0.7       | 0.343  | 1                                | Aire-C2H2     |

Tabla 1. Parámetros de trabajo para cada elemento

depositaron en un erlenmeyer con 100mL de ácido clorhídrico concentrado al 37%, se cubrió con un vidrio de reloj y se realizó la digestión por 6 horas a una temperatura de 40 ° C. Se removió la solución anterior y se pasó a un erlenmeyer de 100mL. Se adicionaron 10mL de agua destilada; para extraer los sólidos presentes se calentó durante 15 minutos, este procedimiento se repitió 2 veces. Se combinaron los extractos y se llevaron hasta casi sequedad, posteriormente se adicionaron 10mL de ácido clorhídrico concentrado al 37% y 10 gotas de ácido nítrico, se transfirieron a un balón aforado de 25 mL. Este mismo análisis se realizó para el blanco. Para la detección de sulfatos se utilizó un Espectrofotómetro HACH DR/210, se

utilizó el programa 680 para la determinación del ión sulfato ( $\text{SO}_4$ )<sup>2-</sup>, con una longitud de onda ( $\lambda = 450\text{nm}$ ) esta técnica nos da información acerca de la concentración de sulfatos presentes en la muestra de los filtros de  $\text{PM}_{2.5}$ .

Al blanco se le agrego el contenido de una papeleta de reactivo de sulfato Sulfaver 4, la cual se dejo reaccionar por 5 minutos y se leyó la concentración. Posteriormente a las muestras de los filtros del  $\text{PM}_{2.5}$ , se le adiciono el contenido de una papeleta de reactivo de sulfato Sulfaver 4, y se dejo actuar por 5 minutos, se observó una pequeña turbidez característica de la presencia del ion ( $\text{SO}_4$ <sup>2-</sup>). Posteriormente se leyó la concentración de los iones sulfatos presentes en la muestra. La concentración de iones sulfatos en microgramos por metro cubico, se determina por medio de la siguiente ecuación :

$$\text{Ion sulfato } (\text{SO}_4^{2-}) \text{ en } \mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{(\mu\text{g sample}) (25\text{ml})}{24\text{m}^3} \quad (2)$$

## Resultados y Discusión

### Determinación de la Concentración de $\text{PM}_{2.5}$

En la tabla 2 se muestran las diferentes concentraciones diarias del material particulado PM<sub>2.5</sub> en la sede de la Universidad de Pamplona en Villa el Rosario

**Tabla 2.** Concentraciones y datos meteorológicos del monitoreo.

| Fecha Día/Mes/Año | Concentración PM2.5 (µg/m <sup>3</sup> ) | Temperatura Ambiente (°C) | Presión Ambiental (mm Hg) | % Humedad Relativa |
|-------------------|--|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| 02/04/2012        | 48.3                                     | 27.9                      | 733                       | 37.7               |
| 05/04/2012        | 78.5                                     | 31.9                      | 730                       | 33.7               |
| 08/04/2012        | 45.2                                     | 31.5                      | 730                       | 34.2               |
| 11/04/2012        | 64.1                                     | 30.8                      | 731                       | 29.6               |
| 14/04/2012        | 48.3                                     | 26.4                      | 733                       | 43.4               |
| 17/04/2012        | 74.6                                     | 28.4                      | 733                       | 46.4               |
| 20/04/2012        | 45.2                                     | 30.7                      | 731                       | 30.5               |
| 23/04/2012        | 96.4                                     | 30.9                      | 731                       | 30.8               |
| 26/04/2012        | 60.7                                     | 31.2                      | 730                       | 24.8               |
| 29/04/2012        | 45.2                                     | 31.5                      | 730                       | 25.4               |
| 02/05/2012        | 56.8                                     | 28.5                      | 735                       | 43.2               |
| 05/05/2012        | 75.4                                     | 30.5                      | 731                       | 30.1               |
| 08/05/2012        | 48.3                                     | 30.9                      | 731                       | 30.8               |
| 11/05/2012        | 43.6                                     | 29.8                      | 733                       | 47.8               |
| 14/05/2012        | 56.8                                     | 29.3                      | 733                       | 33.9               |
| 17/05/2012        | 58.5                                     | 30.3                      | 731                       | 30.2               |
| 20/05/2012        | 87.4                                     | 28.5                      | 732                       | 31.5               |
| 23/05/2012        | 78.3                                     | 28.9                      | 732                       | 32.6               |
| 26/05/2012        | 49.7                                     | 30.8                      | 731                       | 30.7               |
| 29/05/2012        | 99.4                                     | 29.3                      | 732                       | 36.1               |
| 01/06/2012        | 47.1                                     | 29.8                      | 731                       | 20.6               |
| 04/06/2012        | 78.3                                     | 29.5                      | 730                       | 31.3               |
| 07/06/2012        | 60.7                                     | 30.6                      | 731                       | 33.8               |
| 10/06/2012        | 58.5                                     | 29.5                      | 731                       | 30.6               |
| 13/06/2012        | 98.6                                     | 28.9                      | 730                       | 39.6               |
| 16/06/2012        | 45.2                                     | 30.2                      | 731                       | 29.6               |
| 19/06/2012        | 63.8                                     | 29.8                      | 730                       | 32.2               |
| 22/06/2012        | 42.3                                     | 30.1                      | 731                       | 31.7               |
| 25/06/2012        | 64.1                                     | 30.5                      | 731                       | 40.2               |
| 28/06/2012        | 49.6                                     | 28.5                      | 730                       | 53.3               |
| 01/07/2012        | 60.7                                     | 31.7                      | 732                       | 34.7               |
| 04/07/2012        | 69.7                                     | 30.7                      | 731                       | 31.7               |
| 07/07/2012        | 45.2                                     | 30.3                      | 731                       | 36.8               |
| 10/07/2012        | 87.4                                     | 31.9                      | 732                       | 35.1               |
| 13/07/2012        | 49.7                                     | 29.4                      | 730                       | 33.9               |
| 16/07/2012        | 61.6                                     | 31.9                      | 730                       | 34.6               |
| 19/07/2012        | 78.3                                     | 31.9                      | 731                       | 34.9               |

**Tabla 2.** Resumen de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) registradas en el monitoreo.

Como podemos observar en la tabla 2, el valor máximo de PM<sub>2.5</sub> se obtuvo en el segundo mes de monitoreo correspondiente al día 29 de mayo de 2012 con una concentración correspondiente 99.4 µg/m<sup>3</sup> y el valor

mínimo se obtuvo durante el tercer mes de monitoreo 22 de junio de 2012 con una concentración de 43.6µg/m<sup>3</sup>, este valor está por debajo de la norma. De acuerdo a estos resultados el 62.6 % de los monitoreos diarios supera la norma Colombiana de PM<sub>2.5</sub> que es de 50 µg/m<sup>3</sup> establecida por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial de Colombia en la resolución 610. Esto demuestra el grave problema existente en esta localidad lo que indica que la Calidad de su aire relacionada con las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> es preocupante. Se realizaron los diferentes cálculos estadísticos (Media aritmética, Media geométrica, mediana, moda, máximo, mínimo, desviación estándar) a las 37 muestras recolectadas en la sede de la Universidad de Pamplona en Villa del Rosario, como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Resumen estadístico de las concentraciones (µg/m<sup>3</sup>) registradas en el tercer mes de monitoreo.

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Media aritmética    | 62.47 |
| Media geométrica    | 60.57 |
| Mediana             | 61.15 |
| Moda                | 45.2  |
| Maximo              | 98.6  |
| Minimo              | 42.3  |
| Desviación estándar | 16    |

### Temperatura Ambiente

Se obtuvo un valor máximo de 31.9 °C en los días 5 abril, 10, 16, 19 julio y un valor mínimo de 26.4 °C el día 14 de abril, el promedio de la temperatura durante el monitoreo fue de 30.08 °C

### Presión Ambiental





La presión Ambiental presento un valor máximo de 735 mmHg y un mínimo de 730 mmHg, el promedio de la presión ambiental durante el muestreo del PM<sub>2.5</sub> fue de 731.24 mmHg.

**Humedad Relativa**

El Porcentaje de Humedad Relativa (%RH) presento un valor máximo de 47.8 % y un mínimo de 24.8%, el promedio de la presión ambiental durante el muestreo del PM<sub>2.5</sub> fue de 38.80% de humedad relativa.

**Conteo Vehicular**

En la tabla 3 se muestra un resumen de los cuatro conteos vehiculares realizados en Villa del Rosario

Tabla 3.Resumen del conteo vehicular realizado

| Conteo  | Autos  | Motos | Taxi  | Buses /Busetas | Camiones | Total  |
|---------|--------|-------|-------|----------------|----------|--------|
| Primero | 10.944 | 6.255 | 2.832 | 2.069          | 858      | 22.950 |
| Segundo | 11.006 | 7.355 | 2.590 | 2.004          | 997      | 23.952 |
| Tercero | 10.088 | 6.237 | 1.982 | 2.802          | 592      | 21.701 |
| Cuarto  | 12.223 | 6.562 | 2.922 | 2.827          | 708      | 25.242 |

Como se observa en los resultados del conteo vehicular, la influencia de las fuentes móviles desempeña un papel muy importante en la contaminación atmosférica, lo que se ve reflejado en las emisiones de los contaminantes primarios atmosféricos (PM, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y O<sub>3</sub>) y que puede reflejarse en las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub>. Esto nos demuestra la urgente

necesidad que tienen las autoridades tanto Colombianas como Venezolanas de controlar las emisiones vehiculares de los vehículos registrados en los dos países.

**Determinación de Metales.**

Se realizó una curva de calibración de cada metal estudiado ,para determinar la concentración de los metales en la muestra del material particulado PM<sub>2.5</sub>. Con la ecuación de la curva de la calibración de cada metal, se calculó el valor aceptable de Absorbancia para cada patrón,seguidamente se calculó el valor absoluto y el valor relativo de cada uno.De acuerdo con la absorbancia obtenida para cada concentración patrón del metal se determinó la concentración del blanco y la muestra presente en el PM<sub>2.5</sub>. Se realizó la diferencia de estas dos concentraciones obtenidas, para determinar el valor real de la concentración del metal presente en el material particulado.

En la tabla 4, se muestra la concentración de los metales hallados en el aire de Villa del Rosario

Como podemos observar en la tabla 4, los metales que se encontraron en el aire de Villa del Rosario-Norte de Santander de mayor a menor concentración como son K, Fe, Pb, Cr, Ca, Zn, Cd, Mn. No se detecto Co. Al comparar los metales hallados en la ciudad de Villa del Rosario con los de Pamplona-Norte de Santander (Quijano V, Quijano P y Henao,2010),

Bistua:Revista de la Facultad de Ciencias Basicas. 2013 .11 (2):40-54. Quijano Parra A,Thomas Manzano S,Peña Rodriguez B.Determinación de Metales y Material Particulado PM<sub>2.5</sub> en muestras del aire de Villa del Rosario-Norte de Santander



observamos cierta similitud en cuanto a la presencia de: Cr, Fe, K, Mn, Pb, Zn. Al realizar la comparación con metales hallados en Cúcuta (Gutierrez, Quijano V y Quijano P, 2012) la similitud se encuentra en el: Ca, Cd, Cr, Fe, K, Pb, Zn.

**Tabla 4.** Concentración de los metales hallados en el material particulado PM<sub>2.5</sub> en Villa del Rosario-Norte de Santander

| Metal | Concentración (( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )) |
|-------|--|
| Ca    | 2,8333                                       |
| K     | 24,4895                                      |
| Zn    | 0,4083                                       |
| Co    | ND   |
| Cd    | 0,1270                                       |
| Pb    | 10,6458                                      |
| Fe    | 12,6250                                      |
| Mn    | 0,0854                                       |
| Cr    | 4,3312                                       |

La similitud de los metales hallados en Villa del Rosario y Bucaramanga (Quijano, Guiza y Puente, 2003) se encuentra en el Ca, Fe, Pb y el Zn.

Al comparar los metales hallados en la ciudad de Bogotá (Espinosa, Rojas y Gomez, 2006; Leguia, 2004; Pachón y Vela, 2008) con los de Villa del Rosario,

la similitud se relaciona con la presencia de: Cr, Fe, Mn, Pb, Zn y Mn.

Comparando los metales hallados en Dunkerke-Francia (Billet et al, 2007) con los de Villa del Rosario, se observa similitud en la presencia de: Fe, Mn, Pb, Ca, K.

Al comparar los metales hallados en Villa del Rosario-Norte de Santander con los de Alicante, España, la similitud es con los siguientes metales: Cr, Ca, K, Zn, Cd, Fe y Mn; pero en Alicante no encontraron Pb.

Se observa similitud en el aire de Atenas (Valavanidis et al, 2006) y Villa del Rosario en cuanto a los siguientes metales: Fe, Pb, Cr y Cd; con Roma (Caneparia et al, 2009) la similitud es con el K, Fe, Pb, Cr, Cd y Mn; con Córdoba (Argentina) (Sbarato et al 2000) la similitud es con el Pb.

Los metales Cd, Cr, Fe, Pb, Mn pueden estar asociados a la contaminación por fuentes vehiculares, el K y Zn pueden provenir de los procesos industriales y el Ca puede provenir del suelo y de la corteza terrestre.

Los elementos característicos para fuentes móviles que utilizan como combustible el diesel son: Cr, Mn, Ni. Metales como Fe y Mn son potencialmente genotóxicos (Lima et al, 2011). El Cadmio induce un efecto citogenético en células branquiales (Vincent et al, 2011).

Bistua:Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. 2013 .11 (2):40-54. Quijano Parra A, Thomas Manzano S, Peña Rodríguez B. Determinación de Metales y Material Particulado PM<sub>2.5</sub> en muestras del aire de Villa del Rosario-Norte de Santander



### Análisis de Sulfatos

El método turbidimétrico se utilizó para determinar la concentración de los iones sulfato ( $SO_4^{-2}$ ) presentes en el material particulado.  $PM_{2.5}$  de Villa del Rosario.

Al blanco se le agrego el contenido de una papeleta de reactivo de sulfato Sulfaver 4, la cual se dejo reaccionar por 5 minutos, luego se leyó la concentración. Posteriormente a las muestras de los filtros del  $PM_{2.5}$ , se le adiciono el contenido de una papeleta de reactivo de sulfato Sulfaver 4, y se dejo actuar por 5 minutos, se observó una pequeña turbidez característica de la presencia del ion ( $SO_4^{-2}$ ). Luego se leyó la concentración de los iones sulfatos presentes en la muestra.

**Tabla 5.** Concentración de los iones sulfato en el  $PM_{2.5}$  en Villa del Rosario.

| Muestra material particulado $PM_{2.5}$ en Villa del Rosario | Concentración de iones sulfato ( $SO_4^{-2}$ ) mg/L |
|--|---|
| Blanco   | 0   |
| Muestra  | 5   |

Los sulfatos son derivados del combustible diesel y en pequeñas cantidades de aceites lubricantes. Los sulfatos se forman por la oxidación del dióxido de azufre ( $SO_2$ ) emitido por los procesos de combustión.

Comparando las diferentes concentraciones de ion sulfato ( $SO_4$ )<sub>2</sub> en

las muestras respectivas de Pamplona, Cúcuta y Villa del Rosario en Norte de Santander, la muestra que presenta mayor concentración de iones sulfatos ( $SO_4$ )<sub>2</sub> es la muestra de Villa del Rosario.

### Conclusiones

\*Por primera vez se reportan las concentraciones de  $PM_{2.5}$  en la ciudad de Villa del Rosario. Los resultados obtenidos indican que las concentraciones del material particulado  $PM_{2.5}$  durante el periodo del monitoreo sobrepasan la norma diaria en un 68% establecida por el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia.

\*La contaminación atmosférica en Villa del Rosario es producida fundamentalmente por la combustión vehicular, esto se ve reflejado por la cantidad de vehículos que transitan por las avenidas de este sector de la ciudad.

\*En el aire de Villa del Rosario se logró determinar la presencia de Cr, Ca, K, Zn, Cd, Pb Fe y Mn. De estos metales son carcinogénicos el Cr, Zn, Cd, Pb, Mn.

\*Se logra detectar una concentración de  $5 \mu g/m^3$  de iones Sulfato en el aire de Villa del Rosario-Norte de Santander, que posiblemente proviene de la combustión vehicular.

### Agradecimientos

Expresamos nuestros agradecimientos a la Rectoría de la Universidad de



Pamplona, al Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad de Pamplona.

### Referencias Bibliograficas

1.-Abbas I, Saint-Georges F, Billet S, Verdin A, Mulliez P, Shirali P, Garçon G .2009. Air pollution particulate matter (PM<sub>2.5</sub>)-induced gene expression of volatile organic compound and/or polycyclic aromatic hydrocarbon-metabolizing enzymes in an in vitro coculture lung model; *Toxicology in Vitro* 23(1):37- 46

2.-Billet Sylvain, Guillaume Garc-on, Zeina Dagher, Anthony Verdin, Frederic Ledoux, Fabrice Cazier, Dominique Courcot, Antoine Aboukais, Pirouz Shirali, (2007).Ambient particulate matter (PM<sub>2.5</sub>): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549) .*Environmental Research* .105 :212–223

3.-Brunekreef, B y Forsberg, B. 2005. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. *Eur. Respir. J.* 26 (2): 309–318

4.-Caneparia S; Perrino C.; Astolfi, M.L Catrambone, D.Perret. 2009. Determination of soluble ions and elements in ambient air suspended particulate matter: Inter-technique comparison of XRF, IC and ICP for

sample-bysample quality control .*Talanta* 77 1821–1829

Cohen, B y Hering, S.1995. Air Sampling Instrument for Evaluation of Atmospheric Contaminants. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Cincinnati, Ohio, 8th ed.

6.-Ding Luyi C. *et al* .2009. A new direct thermal desorption- GC/MS method: Organic speciation of ambient particulate matter collected in Golden, BC. *Atmospheric Environment* 43:4894-4902

7.-Dockery, D.W., Pope, C.A., Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G., Speizer, F.E. 1998. An association between air pollution and mortality in six US cities. *New England Journal of Medicine* .329:1753–1759

8.-Espinosa Valderrama Mónica, Rojas Nestor Yesid, Gomez Rigoberto.2006 .Caracterización del material particulado en dos vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá. *Acta Nova* 3(2): 323-334

9.-García Ferreyra María Fernanda, Carreras Arancibia Hebe Alejandra. 2008.Genotoxicity Analysis of particle of Córdoba, Argentina, by means of a micronuclei assay. *Theoria*.17:33-40

10.-Gent, J.F., Koutrakis, P., Belanger, K., Triche, E., Holford, T.R., Bracken, M.B.,



- Leaderer, B.P. 2009. Symptoms and medication use in children with asthma and traffic-related sources of fine particle pollution. *Environ. Health Perspect.* 117 (7): 1168–1174
- 11.-Gutierrez Jaimes J.H, Quijano Vargas M.J y Quijano Parra A.2012. Monitoreo y caracterización fisicoquímica del Material Particulado-Fracción Respirable (PM<sub>2.5</sub>) en Cúcuta. Norte de Santander. Colombia. *Bistua: revista de la facultad de Ciencias Básicas.* 10(1),24-38
- 12.-Kan, H., London, S.J., Chen, G., Zhang, Y., Song, G., Zhao, N., Jiang, L., Chen, B. 2007. Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China. *Environ. Int.* 33 (3):376–384
- 13.-Kleinman, M. T., Hamade, A., Meacher, D., Oldham, M., Sioutas, C., Chakrabarti, L., Stram, D., Froines, J. R., Cho, A. K.2005. Inhalation of concentrated ambient particulate matter near a heavily trafficked road stimulates antigen-induced airway responses in mice. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 55 (9): 1277–1288
- 14.-Laden, F., Schwartz, J., Speizer, F.E., Dockery, D.W. 2006. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard six cities study. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 173 (6):667–672
- 15.-Lee, S.L., Wong, W.H., Lau, Y.L. 2006. Association between air pollution and asthma admission among children in Hong Kong. *Clin. Exp. Allergy* 36 (9):1138–1146
- 16.-Lee, J.T., Son, J.Y., Cho, Y.S. 2007. The adverse effects of fine particle air pollution on respiratory function in the elderly. *Sci. Total Environ.* 385 (1–3):28–36.
- 17.-Leguía. C. 2004 .Determinación de metales pesados e HAP en inmediaciones del Campus de la Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Maestria en Ingeniería Sanitaria. Universidad Nacional de Colombia..pp. 322
- 18.-Lima PD, Vasconcellos MC, Montenegro RC, Bahia MO, Costa ET, Antunes LM, Burbano RR.2011.Genotoxic effects of aluminum, iron and manganese in human cells and experimental systems: a review of the literature. *Hum Exp Toxicol.* 30(10):1435-44
- 19.-Maier K.L et al. 2008.Health effects of ambient particulate matter-biological mechanisms and inflammatory responses to in vitro and in vivo particle exposures. *Inhal. Toxicol.*20:319-337
- 20.-Machado Anali et al. 2008.Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni, Cr) en el aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto flujo vehicular. *Rev. Int. Contam, Ambient.* 24 (4):171-182



- 21.-Mills, N. L., Tornqvist, H., Robinson, S. D., Darnley, K., Gonzales, M., Boon, N. A., MacNee, W., Donaldson, K., Blomberg, A., Sandstrom, T., Newby, D. E.2005. Diesel exhaust inhalation causes vascular dysfunction and impaired endogenous fibrinolysis: An explanation for the increased cardiovascular mortality associated with air pollution. *J. Am. Coll. Cardiol.* 45 (3): 390– 390a
- 22.-Monks, P.S., *et al.* 2009. Atmospheric composition change – global and regional air quality. *Atmospheric Environment* 43:5268–5350
- 23.-Morawska, L., Thomas, S., Jamriska, M. y Johnson, G. 1999. Modality of Particle Size Distribution of Environmental Aerosols. *Atmospheric Environment*. 33(27), 4401-4411.
- 24.-Pachón Jorge Eduardo, Vela Hugo Sarmiento, (2008). Análisis espaciotemporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia —. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia.* 43,120-133.
- 25.-Quijano Parra A, Guiza L, Puente B J. 2003. Caracterización físicoquímica del material particulado-fracción respirable (PM<sub>10</sub>) en el aire de Bucaramanga. *Clon.* 2, 15-20
- 26.-Quijano Parra A y Orozco M .2005. Monitoreo de Material Particulado-Fracción Respirable (PM<sub>2.5</sub>) en Pamplona (Colombia). *Bistua* 3(2), 1-11
- 27.-Quijano Parra A, Quijano Vargas MJ, Henao Martinez J.A.2010. Caracterización físicoquímica del material particulado-fracción respirable PM<sub>2.5</sub> en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *Bistua: Revista de la facultad de Ciencia Básicas* .8 (1),53-66
- 28.-Samet, J.M., Dominici, F., Curriero, F.C., Coursac, I., Zeger, S.L.2000. Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities, 1978–1994. *New England Journal of Medicine* 343:1742–1749)
- 29.-Sioutas, C., Delfino, R. J., Singh, M. 2005. Exposure assessment for atmospheric ultrafine particles (UFPs) and implications in epidemiologic research. *Environ. Health Perspect.* 113 (8), 947–955
- 30.-Sbarato V, Sbarato D, Basan R, Manzo P, Ortega J.E, Campos M, Salort M.R.2000. Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico. Ciudad de Córdoba, Argentina|. Maestría en Gestión para la Integración Regional y Centro de Información y Documentación Regional, Universidad Nacional de Córdoba.



31.-Stieb, M.D., Stan, J., Burnett, R.T. 2002. Meta-analysis of time series studies of air pollution and mortality: effects of gases and particles and the influence of

cause of death, age and season. Journal of the Air and Waste Management Association 52: 470–484

32.-Valavanidis A, Konstantinos F , Thomais V , Bakeas E.B , Triantafillaki S , Paraskevopoulou V , Dassenakis M.2006.Characterization of atmospheric particulates, particle-bound transition metals and polycyclic aromatic hydrocarbons of urban air in the centre of Athens (Greece) .Chemosphere 65 : 760–768

33.-Vincent-Hubert F, Arini A, Gourlay-Francé C. 2011.Early genotoxic effects in gill cells and haemocytes of Dreissena polymorpha exposed to cadmium, B[a]P and a combination of B[a]P and Cd.Mutat Res. 723(1):26-35).

34.-Wang Xiaofei, *et al.* 2008. A wintertime study of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5–10</sub> in Beijing: Assessment of energy structure conversion. Journal of Hazardous Materials 157:47–56;

35.-Westerdahl, D., Fruin, S., Sax, T., Fine, P. M., Sioutas, C. 2005 .Mobile platform measurements of ultrafine particles and associated pollutant

concentrations on freeways and residential streets in Los Angeles. *Atmos. Environ.* 39 (20):3597–3610)

36.-Wilson, W.E., Chow, J.C., Claiborn, C., Fusheng, W., Engelbrecht, J., Watson, J.G. 2002.Chemosphere 49:1009

37.-Woodruff, T.J., Parker, J.D., Schoendorf, K.C. 2006. Fine particulate matter (PM 2.5) air pollution and selected causes of postneonatal infant mortality in California. *Environ. Health Perspect.* 114 (5): 786–790