



Monitoreo y caracterización fisicoquímica del material particulado $PM_{2.5}$ en Cúcuta-Norte de Santander-Colombia.

Gutierrez Jaimes Jhon Harvey¹, Quijano Vargas Mónica Juliana¹, Quijano Parra Alfonso¹

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

Resumen

El material particulado (PM) es un contaminante atmosférico que la Organización Mundial de la Salud 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 (PHAs) 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. Bajo ciertas condiciones estos activos metales redox pueden causar daño oxidativo a las biomoléculas en los pulmones. Examinando los efectos producidos a la salud humana, el PM es un importante factor de riesgo ambiental en enfermedades humanas, causadas por el desbalance del sistema inmune. Muchos estudios epidemiológicos sugieren que el PM incrementa la morbi mortalidad pulmonar y aumenta la rinitis alérgica, el asma, cáncer de pulmón especialmente en zonas urbanas industrializadas.

Las partículas con un diámetro aerodinámico menor a $2.5 \mu m$ ($PM_{2.5}$) son generalmente referidas como partículas finas y están implicadas en efectos a la salud humana. En diferentes estudios epidemiológicos se ha observado que la contaminación ambiental producida por las partículas finas es un problema preocupante debido a la evidencia que se tiene de sus efectos adversos a la salud. La fracción $PM_{2.5}$ es producida por la combustión de los vehículos que funcionan con motores Diesel. Conocer la composición química del material particulado, $PM_{2.5}$ tiene relevancia no sólo desde el punto de vista de la química de la atmósfera, sino también sobre la calidad del aire que respiramos en nuestras ciudades. En esta investigación por primera vez se reporta la concentración diaria del $PM_{2.5}$ del aire de Cúcuta-Norte de Santander y se detecta la presencia de los siguientes metales Ca, Fe, Pb, K, Cr, Zn, Cd.

Palabras Clave: Material particulado $PM_{2.5}$, partisol 2025, absorción atómica, metales, fuentes móviles.

Abstract

Monitoring and physicochemical characterization of particulate matter $PM_{2.5}$ in Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

Particulate matter (PM) is an air pollutant that the World Health Organization requires constant monitoring in every city in the world. Atmospheric particles are one of the major air pollutants, because they contain sulfates, nitrates, certain metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PHAs) are known compounds with genotoxic, mutagenic and / or carcinogenic. Metals are known to be involved in the generation of reactive oxygen species (ROS) and hydroxyl radicals. Under certain conditions these redox active metals can cause oxidative damage to biomolecules in the lungs. Examining the effects on human health, the PM is an important environmental risk factor in human disease, caused by the imbalance of the immune system. Many epidemiological studies suggest that PM increases pulmonary morbidity and mortality increases allergic rhinitis, asthma, lung cancer, especially in industrialized urban areas.



25

Particles with aerodynamic diameter less than 2.5 microns ($PM_{2.5}$) are generally referred to as fine particles and are involved in human health effects. In several epidemiological studies have shown that environmental pollution caused by fine particles is a serious problem because of the evidence we have of their adverse health effects. $PM_{2.5}$ is produced by the combustion of vehicles powered by diesel engines. Knowing the chemical composition of particulate matter, $PM_{2.5}$ has relevance not only from the point of view of the chemistry of the atmosphere, but also on the quality of air we breathe in our cities. In this investigation was first reported by the daily concentration the $PM_{2.5}$ air-Cucuta Norte de Santander and detected the presence of the following metals Ca, Fe, Pb, K, Cr, Zn, Cd

Key words :Particulate matter $PM_{2.5}$, Partisol 2025, atomic absorption, metal, mobile sources

Monitoramento e caracterização físico-química do material particulado $PM_{2.5}$ em Cucuta, Norte de Santander, na Colômbia.

Resumo

Material particulado (MP) é um poluente do ar que a Organização Mundial de Saúde requer monitoramento constante em todas as cidades do mundo. Partículas atmosféricas são um dos principais poluentes do ar, pois eles contêm sulfatos, nitratos, metais certos e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são compostos conhecidos com genotóxicos, mutagênicos e / ou cancerígenos. Metais são conhecidos por estar envolvido na geração de espécies reactivas de oxigênio (ROS) e radicais hidroxilo. Sob certas condições, estes metais redox ativos pode causar danos oxidativos a biomoléculas nos pulmões. Examinando os efeitos sobre a saúde humana, o PM é um importante fator de risco ambiental na doença humana, causada pelo desequilíbrio do sistema imunológico. Muitos estudos epidemiológicos sugerem que o PM aumenta a morbidade pulmonar e mortalidade aumenta rinite alérgica, asma, câncer de pulmão, especialmente em áreas urbanas industrializadas.

As partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 2.5 microns ($PM_{2.5}$) são geralmente referidos como partículas finas e estão envolvidos em efeitos na saúde humana. Em vários estudos epidemiológicos têm mostrado que a poluição ambiental causada por partículas finas é um problema sério por causa da evidência que temos de seus efeitos adversos à saúde. $PM_{2.5}$ fração A é produzido pela combustão de veículos movidos por motores a diesel. Conhecendo a composição química das partículas, $PM_{2.5}$ tem relevância não só do ponto de vista da química da atmosfera, mas também sobre a qualidade do ar que respiramos em nossas cidades. En desta investigação foi relatada pela primeira vez pela concentração diária o $PM_{2.5}$ air-Cucuta Norte de Santander e detectada a presença dos seguintes metais Ca, Fe, Pb, K, Cr, Zn, Cd

Palavras-chave: Partículas $PM_{2.5}$, Partisol 2025, absorção atômica, metal, fontes móveis.

*Para citar este artículo: Gutierrez Jaimés JH, Quijano Vargas MJ, Quijano Parra A. Monitoreo y caracterización físicoquímica del material particulado $PM_{2.5}$ en Cúcuta-Norte de Santander-Colombia..Bistua.2012.10(1):24-38

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas: Alfonso Quijano Parra.Grupo de Investigación en Química. Universidad de Pamplona.email:quijanoparra@gmail.com

Recibido: Febrero 16 de 2011 Aceptado: Agosto 18 de 2011

1.-Introducción

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 (1).

La contaminación atmosférica es la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (2).

Hasta hace algún tiempo, la contaminación atmosférica estaba asociada a la presencia de partículas en suspensión (PM) y SO_2 , los cuales corresponden a residuos principalmente provenientes de equipos de calefacción doméstica, procesos industriales y plantas de generación eléctrica. El desarrollo industrial y el crecimiento de la población, han provocado un aumento en el uso de combustibles fósiles y sus derivados, lo que trae como consecuencia, la presencia de una serie de nuevos contaminantes en la atmósfera (3). Es conocido que el material particulado (PM) tiene diferentes tamaños de distribución de acuerdo a la temperatura, humedad y la velocidad del aire. Los componentes químicos y alérgenos atribuidos al PM son también diferentes de acuerdo a los orígenes del PM y pueden ejercer diversos efectos a la salud (4,5)

El material particulado atmosférico está constituido por una mezcla de especies sólidas y acuosas que ingresan a la atmósfera por causas antropogénicas y naturales y presentan propiedades físicas y químicas en diferentes áreas (6). El PM contiene iones inorgánicos, metales trazas, carbono elemental, materia orgánica carbonacea y agua. La fracción orgánica es especialmente compleja y contiene cientos de compuestos orgánicos (7). Los procesos de

combustión (8) y las emisiones de los vehículos a motor (9) 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 (PHAs) que son compuestos con conocida actividad genotóxica, mutagénica y/o carcinogénica (10,11), sulfatos y nitratos, y determinados metales como As, Cd, Fe, Zn, Cr, Cu, Al, V, Ni y Pb (12). Los metales son conocidos por estar involucrados en la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y radicales hidroxilo. Bajo ciertas condiciones estos activos metales redox pueden causar daño oxidativo a las biomoléculas en los pulmones (13)

Examinando los efectos producidos a la salud humana, el PM es un importante factor de riesgo ambiental en enfermedades humanas, causadas por el desbalance del sistema inmune. Muchos estudios epidemiológicos sugieren que el PM incrementa la morbi mortalidad pulmonar (14) y aumenta la rinitis alérgica, el asma, cáncer de pulmón (15) especialmente en zonas urbanas industrializadas.

Es conocida la relación entre la exposición al PM y los efectos adversos a la salud humana, las partículas $PM_{2.5}$ son más sensibles que las del PM_{10} (16-21). Las partículas con un diámetro aerodinámico menor a $2.5 \mu m$ ($PM_{2.5}$) son generalmente referidas como partículas finas y están implicadas en efectos a la salud humana (22,23). En diferentes estudios epidemiológicos se ha observado que la contaminación ambiental producida por las partículas finas es un problema preocupante debido a la evidencia que se tiene de sus efectos adversos a la salud (24-26).



27

El $PM_{2.5}$ contribuye a la mala visibilidad, tanto en zonas urbanas y rurales, y también ha tenido un impacto sobre el cambio climático global debido a las propiedades de absorción de luz de carbono elemental(27).El $PM_{2.5}$ proveniente del diesel es un contaminante toxico del aire debido a que causa problemas respiratorios, cardiovasculares y a sus propiedades carcinogénicas (28), e induce reacciones alérgicas (29).Varios mecanismos han sido propuestos para explicar el impacto del PM en la salud, incluyendo la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la consecuente generación del estrés oxidativo(30).Evidencias sustanciales corroboran la capacidad del $PM_{2.5}$ de inducir estrés oxidativo en las células a través de la producción de ROS que puede traer consecuencias adversas a la salud (31,32). 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 $PM_{2.5}$ en la ciudad de Cúcuta y compararla con la norma Colombiana y además caracterizar químicamente el material particulado $PM_{2.5}$ del aire de Cúcuta en lo relacionado con la presencia de metales pesados.

2.-Metodología

2.1 Muestreo

Para evaluar la Calidad del Aire en la ciudad de Cúcuta-Norte de Santander-Colombia,se utilizó un equipo semiautomático medidor de Material Particulado $PM_{2.5}$ Partisol-2025 PLUS de la Ruprecht-Patashnick, siguiendo los lineamientos de la OMS y la EPA.

2.1.1. Sitio de Muestreo

Se realizó el monitoreo de la fracción respirable $PM_{2.5}$ en Cúcuta-Norte de Santander ubicada en la cordillera Oriental de Colombia, al sureste del Departamento Norte de Santander con coordenadas geográficas $7^{\circ}54'$ de latitud norte y $72^{\circ}30'$ al oeste de Greenwich, a una altitud de 320 msnm y una presión atmosférica de 711 mm de Hg; con este fin se instaló en la azotea del edificio de la Universidad de Pamplona sede CREAD en la ciudad de Cúcuta el equipo Partisol 2025 Plus. Las muestras ambientales se recogieron con el Partisol 2025 Plus, 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 de muestreo y es de $1\text{ m}^3/\text{h}$.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 Enero - Julio de 2011 y se analizaron por gravimetría para la determinación de la masa final y obtener la concentración diaria de $PM_{2.5}$ en Cúcuta-Norte de Santander-Colombia (33).- Se escogió la Universidad de Pamplona en Cúcuta (avenida diagonal Santander y la avenida 3ª) como sitio del muestreo de la fracción respirable $PM_{2.5}$ por sus características particulares, 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 diesel y la gasolina, generando un mayor riesgo en la salud



humana por la exposición a contaminantes, en especial en la

²⁸
población más vulnerable. Por consiguiente el análisis fisicoquímico de los filtros nos dará una idea de la magnitud de la contaminación ambiental producida básicamente por la combustión vehicular.

2.1.2. Medio de recolección

Se utilizaron filtros de Teflón de 47 mm de diámetro, con un tamaño de poro de 2micras.

2.1.3 Conteo Vehicular

Para realizar el análisis de la concentración del Material Particulado $PM_{2.5}$, en la zona del Cread de la Universidad de Pamplona en Cúcuta, fue necesario tener en cuenta el número de vehículos promedio que transitan por la avenida diagonal Santander y la avenida 3ª de la ciudad. Los datos del flujo vehicular en esta zona se obtuvieron contando el número de vehículos (carros, buses, busetas, camiones y motos) que transitaban entre las 08:15 a 12:15 y desde las 14:15 hasta las 17:15 por las Avenida Diagonal Santander y Avenida 3ª.

2.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LOS FILTROS ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LOS FILTROS DE $PM_{2.5}$ EN CÚCUTA (NORTE DE SANTANDER)

2.2.1 Análisis de la Concentración del $PM_{2.5}$

Para determinar la concentración del material particulado $PM_{2.5}$ 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 $PM_{2.5}$ en

$\mu g/m^3$ se determinó por la siguiente fórmula.

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

W_i = peso inicial del filtro (gramos), W_f : peso final del filtro (gramos), V_s : Volumen de aire muestreado.

2.2.2 Análisis de Metales

Para la extracción y el análisis de los elementos metálicos recolectados en la sede del Cread de la Universidad de Pamplona en Cúcuta (Norte de Santander), 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 desionizada para eliminar residuos de metales.

2.2.3 Preparación de la muestra.

Se tomaron 20 filtros al azar, de las muestras recolectadas del material particulado $PM_{2.5}$, 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 trasvasó a un beaker de 100 ml, se adicionó 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



29

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 filtro la muestra y el blanco para eliminar cualquier material presente.

2.2.4 Detección de Metales

Para la detección de los metales se utilizó un equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) Perkim Elmer Analyst 300. 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.

2.2.5 Análisis de Sulfatos

Para la determinación de sulfatos se utilizó el método turbidimétrico.

2.2.5.1. Preparación de la muestra para análisis de sulfatos

Se eligieron 10 filtros al azar de las muestras del material particulado PM_{2.5} y se recortaron en pequeños trozos; se 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 utilizo el programa 680 para la determinación del ión sulfato (SO₄)²⁻, con una longitud de onda (λ = 450nm) esta técnica nos da información acerca de la concentración de sulfatos presentes en la muestra de los filtros de 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 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 (SO₄)²⁻. 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 :

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

3.-Resultados y Discusión:

3.1 Determinación de la Concentración de PM_{2.5}

La concentración diaria del material particulado PM_{2.5} en la sede Cread de la Universidad de Pamplona en Cúcuta, se expresa en la tabla 2, en la que se expresan las condiciones de trabajo del muestreo, como la temperatura ambiental, presión ambiental, humedad



relativa y el estado del día.En total se obtuvieron 40 muestras de PM_{2.5} en un

30 periodo de tres meses y 11 días; los datos estadísticos de este monitoreo se presentan en la tabla 3.

La tabla 3 muestra que durante el monitoreo, el promedio o media aritmética de PM_{2.5} es de 60.80 µg/m³, que es bastante representativa ya que su valor es muy cercano al de la media geométrica que fue de 57.79 µg/m³, lo cual indica que no está muy influenciada por los valores externos.

Las concentraciones del PM_{2.5} durante los días muestreados se observan en la figura 1, en el que podemos observar los días en que se sobrepasa la norma diaria del PM_{2.5} de 50 µg/m³ establecida por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial de Colombia en la resolución 610; y de 48.15 µg/m³ corregida a la ciudad, según la siguiente ecuación del decreto 02/82 de Colombia.

$$\text{Norma Local} = \text{Norma de Calidad} \times \frac{\text{Presión barométrica local}}{760 \text{ mm Hg}} \times \frac{298 \text{ }^\circ\text{K}}{273 + \text{ }^\circ\text{C}}$$

(3)

De las cuarenta muestras de PM_{2.5} obtenidas ,el 62.5% sobrepasan la norma de 50 µg/m³, el 12.5% se encuentra sobre la norma, mientras el 25% restante no exceden dicha norma. Si tenemos en cuenta la corrección de la [PM_{2.5}] para la ciudad de Cúcuta,el 75% sobrepasa la norma.

El comportamiento de las concentraciones del material particulado PM_{2.5} obtenidas por mes en el sector del Cread de Cúcuta se muestran en el grafico de cajas y bigotes (figura 2). A

continuación se presentan los símbolos del grafico y su respectivo significado.

- (■) Cuadro rojo, representa el valor máximo.
- (●) Circulo naranja, cuartil 3 (Q3) que representa el 75% de los valores.
- (▲) Triangulo verde, representa la mediana.
- (◆) Rombo verde oscuro, cuartil 1 (Q1) que representa el 25% de los valores.
- (■) Cuadro violeta, representa el valor mínimo.

La figura 2 refleja que el valor mínimo decrece al transcurrir los meses, muy diferente lo que ocurre con los cuartiles 1, mediana y cuartiles 3 que aumentan durante los meses del monitoreo, lo cual refleja que la concentración de PM_{2.5} aumento al pasar los meses, siendo el tercer mes el que presenta mayor contaminación. También podemos observar que los datos en el primer mes se encuentran más concentrados en el 25%, en el segundo mes las concentraciones son mas uniformes en cada uno de los cuartiles, mientras que en el tercer mes los datos se encuentran no muy concentrados entre el 0-25% y el 75-100% ya que sus bigotes se encuentran muy alejados de sus cuartiles más cercanos.

La grafica de cajas y bigotes nos proporciona información con respecto a la simetría o asimetría de la distribución, en el primer mes la grafica nos refleja que los datos son asimétricamente positivos hacia la derecha; en el segundo mes la distancia de los cuartiles pueden dar indicio de simetría, pero no lo es debido a la distancia de los bigotes, para el tercer mes la grafica refleja que los datos son asimétricamente negativos hacia la izquierda.



3.2 Comportamiento Meteorológico del Monitoreo

31

Durante el monitoreo del PM_{2.5} en Cúcuta, se midieron los datos meteorológicos como la Temperatura Ambiente, la Presión Ambiental y la Humedad Relativa.

3.2.1 Temperatura Ambiente

La temperatura ambiente durante el monitoreo fue muy variada . Se obtuvo un valor máximo de 35.0 °C en los días 3 de abril y mayo, un valor mínimo de 22.6 °C el día 1 de marzo, y el promedio de la temperatura durante el monitoreo fue de 27.9 °C.

3.2.2 Presión Ambiental

La presión Ambiental presento una variación mínima durante el monitoreo. Se obtuvo un valor máximo de 742 mmHg y un mínimo de 735 mmHg, el promedio de la presión ambiental durante el muestreo del PM_{2.5} fue de 739 mmHg.

3.2.3 Humedad Relativa

El % Humedad Relativa (%RH) durante el monitoreo fue muy variada, todo esto debido al momento de invierno que se vivió en el país, el llamado fenómeno de la niña. Durante el muestreo se obtuvo un valor máximo de 97.8%RH el día 1 de marzo y un mínimo de 13.4, que corresponde al día de iniciación del monitoreo el 22 de febrero; el promedio fue de 40.3%RH.

3.3 Conteo Vehicular

El conteo vehicular de las fuentes móviles que transitan por la Diagonal Santander (figura 3) y por la Avenida 3ª (figura 4),se realizo el lunes 29 de enero del 2011, durante un día soleado.

Comparando las dos figuras podemos observar que transitron más vehículos por la avenida diagonal Santander, pero esta avenida es poco transitable por buses y busetas, mientras la avenida 3ª presenta un mayor flujo de vehículos de transporte público, que son los que utilizan el combustible diesel.

El total de automóviles, buses, busetas, camiones y motos que transitron por las dos avenidas (Diagonal Santander y Av. 3ª) se presenta en la figura 5.

El total de vehículos que transitron por las dos avenidas el día 29 de enero del 2011, durante las 08:15- 12:15 y en el periodo de 14:15-17:15 fue de 16.739

3.4 Determinación de Metales

Para calcular la concentración de cada elemento se utilizo la siguiente ecuación:

$$\text{Elemento} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \text{ in sample solution} \right) (50 \text{ ml})}{\text{Volume of filtered air in cubic meter}}$$

(4)

En la tabla 4 se muestran las concentraciones de los metales hallados en el material particulado PM_{2.5} en la zona del Cread de Cúcuta.

La tabla 4 refleja que las mayores concentraciones de metales presentes en el aire de Cúcuta corresponden a C a, Fe, Pb, K, Cr, Zn, Cd. No se detecto Mn. El Cd, Cr, Fe, Pb 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.En la tabla 5 se muestra un comparativo de metales hallados en



32

Cúcuta, Pamplona (33), Bucaramanga (34) y Bogotá (35-37)

Al comparar los metales hallados en la ciudad de Cúcuta con los de Bogotá observamos cierta similitud en cuanto a la presencia de: Fe, Pb, Cr, Zn

Al hacer la comparación de los metales encontrados en el aire de Cúcuta con metales hallados en la ciudad de Bucaramanga la similitud es con: Fe, Pb, Zn y Ca. Los metales hallados en el aire de Cúcuta y Pamplona son muy similares, solo que en Pamplona no se detecta Cd y en Cúcuta no se detecta Mn. Elementos como Fe y Pb son característicos de las emisiones vehiculares

En la tabla 6 se muestra la comparación de metales hallados en el aire de Cúcuta (Colombia), Córdoba (Argentina)(38) con tres ciudades Europeas Atenas(39), Dunkerke(40) y Roma(41).

La comparación de los metales hallados en Cúcuta con Atenas y Roma es muy similar en cuanto a la presencia de Fe, Pb, Cr, Cd, en cuanto a Dunkerke no se reporta la presencia de Cr y Cd, se encuentra similitud con el Fe, Pb y K. Los elementos característicos para fuentes móviles que utilizan como combustible el diesel son: Cr, Mn, Ni. Metales como Fe y Mn son potencialmente genotóxicos (42). El Cadmio induce un efecto citogénico en células branquiales (43)

3.5 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 Cúcuta-Norte de Santander

Al blanco se le agrego el contenido de una papeleta de reactivo de sulfato Sulfaver 4, la cual se dejó 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 dejó 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.

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

4. Conclusiones

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

*. La contaminación ambiental por el material particulado $PM_{2.5}$ en esta zona es producida por el flujo vehicular, ya que por sus alrededores no se encuentran industrias que puedan aportar partículas a la contaminación de la zona; esto se ve reflejado por la cantidad de vehículos que transitan por las avenidas de este sector de la ciudad.



*En el aire de la zona del Cread de Cúcuta se detectaron siete metales:Ca, Cd, Cr, Fe, K, Pb y Zn.

33

*. En el PM 2.5 de Cúcuta se encontraron iones Sulfatos, que posiblemente provengan del combustible diesel utilizada por las fuentes móviles que transitan por este sector de la ciudad.

Agradecimientos

Expresamos nuestros agradecimientos a la Rectoría de la Universidad de Pamplona, al Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad de Pamplona. A los profesores Freddy Solano Ortega ,Raúl Quintero , Wilson Moyano por su colaboración en los laboratorios de química de Villa del Rosario y al profesor Nelson Fernández por su colaboración en la parte estadística del proyecto.

Referencias Bibliograficas

1.- Monks PS., Granier C., Fuzzi S., Stohl A., Williams ML., Akimoto H., Amann M., Baklanov A., Baltensperger U., Bey I., Blake N., Blake RS., Carslaw K., Cooper OR., Dentener F., Fowler D., Fragkou E., Frost GJ., Generoso S., Ginoux P., *et al.* 2009. Atmospheric composition change—global and regional air quality. *Atmospheric Environment* 43(33):5268–5350.

2.- Meszaros E. *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry.* Akademiai Kiado. 1999.

3.- Griño Morales P. 2006. Movilidad de Elementos traza en Material Particulado PM₁₀ de la Atmósfera de Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmaceuticas

;Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química.

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

5.- Gent JF., Koutrakis P., Belanger K., Triche E., Holford TR., Bracken MB., Leaderer BP. 2009. Symptoms and medication use in children with asthma and traffic-related sources of fine particle pollution. *Environ. Health Perspect.* 117 (7): 1168–1174.

6.- Querol X., Alastuey A., Ruiz CR., Artinano B., Hansson HC., Harrison RM., Buringh E., ten Brink HM., Lutz M., Bruckmann P., Straehl., P., Schneider J. 2004. Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in selected European cities. *Atmos. Environ.* 38: 6547-55.

7.- Wilson WE., Chow JC., Claiborn C., Fusheng W., Engelbrecht J., Watson JG. 2002. Monitoring of particulate matter outdoors. *Chemosphere* 49(9):1009-43.

8.- Sioutas C., Delfino RJ., Singh M. 2005. Exposure assessment for atmospheric ultrafine particles (UFPs) and implications in epidemiologic research. *Environ. Health Perspect.* 113 (8): 947–955.

9.- Westerdahl D., Fruin S., Sax T., Fine PM., 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.



10.-Wang X., Cheng H., Xu X., Zhuang G., Zhao C. 2008. A wintertime study of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM_{2.5} and PM_{2.5-10} in Beijing: Assessment of

34

energy structure conversion. *J Hazard Mater.*157(1):47–56.

11.- García Ferreyra MF., Carreras Arancibia HA. 2008.Genotoxicity Analysis of particle of Córdoba, Argentina, by means of a micronuclei assay. *Theoria.*17(1):33-40.

12.-Machado A.,Garcia N.,Garcia C., Acosta L., Cordova A.,Linares M.,Giraldoth D., Velasquez H. 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.

13.-Valavanidis A.,Fiotakis K., Vlahogianni T., Bakeas EB., 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 (5) : 760–768 .

14.-Maier KL., Alessandrini F., Beck-Speier I., Hofer TP., Diabaté S., Bitterle E., Stöger T., Jakob T., Behrendt H., Horsch M., Beckers J., Ziesenis A., Hültner L.,Frankenberger M., Krauss-Etschmann S., Schulz H.2008.Health effects of ambient particulate matter-biological mechanisms and inflammatory responses to in vitro and in vivo particle exposures. *Inhal Toxicol.*20(3):319-337.

15.-Abbas I., Saint-Georges F., Billet S., Verdin A., Mulliez P., Shirali P., Garçon G .2009. Air pollution particulate matter (PM_{2.5})-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.

16.-Bonay M., Aubier M. 2007. Air pollution and allergic airway disease. *Med. Sci. (Paris).* 23 (2): 187–192.

17.-Kan H., London SJ., 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):376–84.

18.-Lee SL., Wong WH., Lau YL. 2006. Association between air pollution and asthma admission among children in Hong Kong. *Clin Exp Allergy* 36 (9):1138–1146.

19.- Lee JT., Son JY., 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.

20.-Woodruff TJ., Parker JD., Schoendorf KC. 2006. Fine particulate matter(PM_{2.5}) air pollution and selected causes of postneonatal infant mortality in California. *Environ Health Perspect.* 114 (5): 786–90.

21.-Laden F., Schwartz J., Speizer FE., Dockery DW. 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.

35

22.- Pope CA . 2000. Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanisms and who's at risk? *Environ Health Perspect*. 108 Suppl 4:713–723.

23.-Laden F., Neas LM., Dockery DW., Schwartz J. 2000. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities. *Environ Health Perspect*. 108(10): 941–947.

24.-Dockery DW., Pope CA., Xu X., Spengler JD., Ware JH., Fay M.E., Ferris BG., Speizer FE. 1998. An association between air pollution and mortality in six US cities. *N Engl J Med*.329(24):1753–1759.

25.-Samet J.M., Dominici F., Curriero FC., Coursac I., Zeger SL.2000. Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities, 1978–1994. *N Engl J Med*. 343(24):1742–1749.

26.-Stieb MD., Stan J., Burnett RT. 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. *J Air Waste Manag Assoc*.52(4): 470–484.

27.-Ding LC., Ke F., Wang DKW., Dann T.,Austin CC.2009. A new direct thermal desorption- GC/MS method: Organic speciation of ambient particulate matter

collected in Golden, BC. *Atmos Environ*.43:4894-4902.

28.-Mills NL., Tornqvist H., Robinson SD., Darnley K., Gonzales M., Boon NA., MacNee W., Donaldson K., Blomberg A., Sandstrom T., Newby DE.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): 390a– 390a.

29.-Kleinman MT., Hamade A., Meacher D., Oldham M., Sioutas C., Chakrabarti L., Stram D., Froines JR., Cho AK.2005. Inhalation of concentrated ambient particulate matter near a heavily trafficked road stimulates antigen-induced airway responses in mice. *J Air Waste Manag Assoc*.55 (9): 1277–1288.

30.-Schafer M., Schafer C., Ewald N., Piper HM., Noll T.2003. Role of redox signaling in the autonomous proliferative response of endothelial cells to hypoxia. *Circ Res*. 92(9):1010–1015.

31.-Li N., Sioutas C., Cho A., Schmitz D., Misra C., Sempf J., Wang M. Y., Oberley T., Froines J., Nel A.2003. Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. *Environ Health Perspect*.111 (4): 455–460.

32.-Nel A. 2005. Air pollution-related illness: Effects of particles. *Science* .308 (5723):804–806.

33.-Quijano Parra A., Quijano Vargas MJ., Henao Martinez JA.2010.Caracterización fisicoquímica del material particulado-



fracción respirable $PM_{2.5}$ en Pamplona-Norte de Santander-Colombia .Bistua:

Revista de la facultad de Ciencia Basicas .8 (1):53-66.

36

34.-Quijano Parra A., Guiza Lilia., Puente B Jairo. 2003.Caracterización físicoquímica del material particulado-fracción respirable (PM_{10}) en el aire de Bucaramanga.Clon. 2:15-20

35.-Espinosa Valderrama M., Rojas Nestor Y., Gomez R.2006.Caracterización del material particulado en dos vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá|. Acta Nova 3(2):323-334.

36.Leguía. C. (2004).Determinación de metales pesados e HAP en inmediaciones del Campus de la Universidad Nacional de Colombia". Tesis de Maestría en Ingeniería Sanitaria. Universidad Nacional de Colombia.

37.-Pachón JE., Vela HS. 2008.Análisis espacio temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia.Rev Fac Ing Univ Antioquia.43:120-133.

38.-Sbarato V.,Sbarato D.,Basan R.,Manzo P.,Ortega JE.,Campos M.,Salort MR.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.

39.-Valavanidis A., Fiotakis K , Vlahogianni T.,Bakeas EB. , 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(5):760–768.

40-Billet S., Garc-on G., Dagher Z., Verdin A., Ledoux F., Cazier F., Courcot D., Aboukais A., Shirali P.2007.Ambient particulate matter ($PM_{2.5}$): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549) .Environ Res.105(2) :212–223.

41.-Caneparia S., Perrino C., Astolfi ML., Catrambone M.,Perret D.2009.Determination of soluble ions and elements in ambient air suspended particulate matter: Inter-technique comparison of XRF, IC and ICP for sample-by-sample quality control.Talanta 77(5) 1821–1829.

42.-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.

43.-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.

*Lluvia durante el muestreo

37

Tabla 1. Parámetros de trabajo para cada elemento.

Metal	λ (nm)	Slit (nm)	Concentración característica a Check (µg/L)	Rango lineal (µg/L)	Tipo de llama
Ca	422.7	0.7	4	5	Aire-C ₂ H ₂
Cd	228.8	0.7	1.5	2	Aire-C ₂ H ₂
Cr	357.9	0.7	4	5	Aire-C ₂ H ₂
Fe	305.9	0.2	100	-----	Aire-C ₂ H ₂
K	769.9	0.7/1.4	4	20	Aire-C ₂ H ₂
Mn	279.5	0.2	2.5	2	Aire-C ₂ H ₂
Pb	283.3	0.7	20	20	Aire-C ₂ H ₂
Zn	213.9	0.7	1	1	Aire-C ₂ H ₂

Tabla 2. Concentraciones y datos meteorológicos del monitoreo.

día/mes/año	PM _{2.5} µg/m ³	Temperatura Ambiente (°C)	Presión Ambiente (mm Hg)	% Humedad Relativa	Estado del Día
22/01/11	50.0	28.0	739	13.4	Soleado
25/01/11	62.5	28.2	739	16.3	Soleado
28/01/11	58.3	28.2	739	22.5	Soleado
31/01/11	58.3	29.0	741	35.7	Soleado
03/02/11	45.8	28.0	740	25.2	Soleado
06/02/11	41.6	29.7	739	16.2	Soleado
09/02/11	54.1	29.5	739	20.8	Soleado
12/02/11	87.5	27.4	740	50.7	Nublado
15/02/11	45.8	26.4	741	63.6	Nublado
18/02/11	41.6	25.2	741	68.6	Nublado
19/02/11	70.8	23.4	740	68.8	Nublado
20/02/11	50.0	26.0	740	30.2	Soleado
21/02/11	50.0	25.9	741	31.2	Soleado
22/02/11	66.6	27.6	740	24.2	Soleado
23/02/11	62.5	29.0	739	20.1	Soleado
24/02/11	66.6	29.0	740	20.6	Soleado
25/02/11	45.8	27.7	741	37.6	Nublado
26/02/11	37.5	26.7	739	33.2	Nublado
01/03/11	45.8	22.6	740	97.8	Nublado
04/03/11	75.0	25.1	741	54.8	Nublado
07/03/11	58.3	27.9	735	49.6	Nublado
10/03/11	66.6	25.8	741	51.8	Nublado
13/03/11	58.3	25.3	742	45.8	Soleado
16/03/11	75.0	23.2	742	94.6	Nublado
19/03/11	50.0	29.0	738	37.0	Soleado
22/03/11	50.0	23.2	739	92.5	Nublado
25/03/11	75.0	31.1	738	24.8	Soleado
28/03/11	112.5	31.3	738	23.8	Soleado
31/03/11	75.0	34.0	738	23.9	Soleado
03/04/11	12.5	35.0	737	23.3	Nublado
06/04/11	62.5	33.0	738	23.6	Soleado
09/04/11	70.8	28.7	739	42.1	Nublado
12/04/11	54.1	26.7	737	40.2	Nublado
15/04/11	87.5	29.0	735	39.2	Nublado
18/04/11	83.3	23.9	740	90.2	Nublado
21/04/11	45.8	26.0	739	39.6	Soleado
24/04/11	41.6	31.6	735	30.7	Soleado
27/04/11	66.6	30.0	738	29.6	Soleado
30/04/11	79.1	26.4	738	40.5	Nublado
03/05/11	87.5	35.0	737	19.9	Soleado

Tabla 3. Resumen estadístico de las concentraciones de PM_{2.5} (µg/m³) obtenidas en Cúcuta-Norte de Santander -Colombia.

Media aritmética	60.80
Mediana	58.3
Media geométrica	57.79
Moda	45.8
Desviación Estándar	17.87
Máximo	112.5
Mínimo	12.5
Percentil 98	93.0

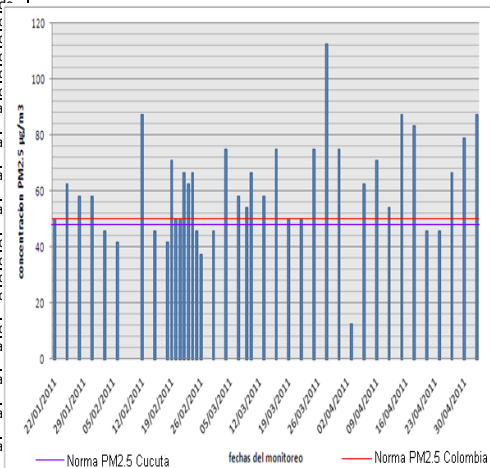


Figura 1. Concentraciones de PM_{2.5} durante el monitoreo en la sede de la Universidad de Santander -Cúcuta

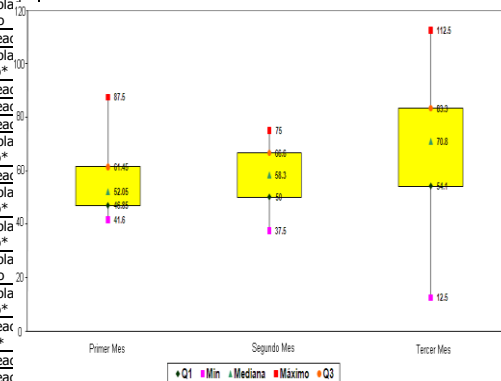


Figura 2. Diagrama de cajas y bigotes de los meses monitoreados

38

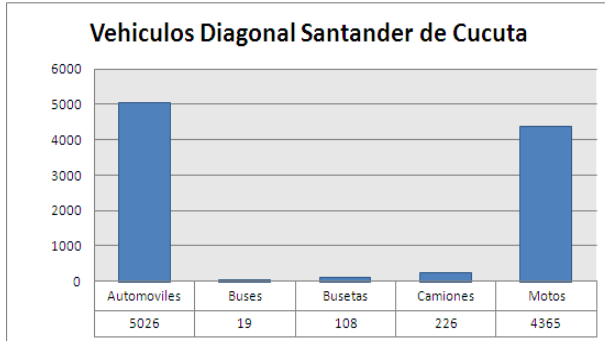


Figura 3. Vehículos que transitaron por la Avenida Diagonal Santander de Cúcuta.

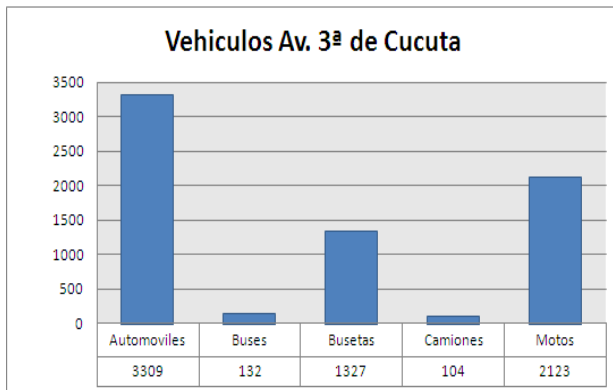


Figura 4. Vehículos que transitaron por la Avenida 3ª de Cúcuta

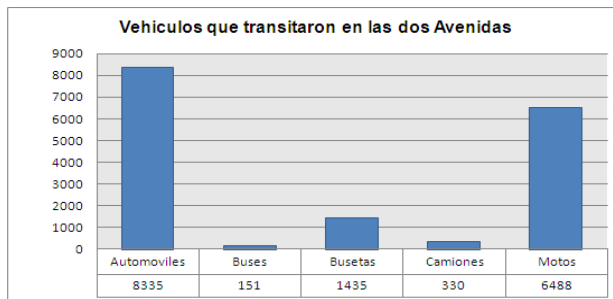


Figura 5. Grafica de Vehículos que transitaron por las dos Avenidas.

Tabla 4. Concentración de los metales hallados en el material particulado PM_{2.5} en la zona del Cread de Cúcuta.

Metal	Concentración (µg/m ³)
Ca	2.64375
Fe	2.35625
Pb	1.92291
K	0.91458
Cr	0.74791
Zn	0.36875
Cd	0.12083
Mn	ND

Tabla 5 comparativo de metales hallados en Cúcuta, Pamplona ,Bucaramanga y Bogotá

Metales	Cúcuta	Pamplona	Bucaramanga	Bogota
Ca	X	-----	X	-----
Fe	X	X	X	X
Pb	X	X	X	X
K	X	X	-----	-----
Cr	X	X	-----	X
Zn	X	X	X	X
Cd	X	ND	-----	-----
Mn	ND	X	-----	X
Ni	-----	X	X	X

Tabla 6.Comparación de metales hallados en el aire de Cucuta (Colombia), Cordoba (Argentina) con tres ciudades Europeas Atenas, Dunckerke y Roma

Metales	Cúcuta	Cordoba	Atenas	Dunckerke	Roma
Ca	X	-----	-----	-----	-----
Fe	X	-----	X	X	X
Pb	X	X	X	X	X
K	X	-----	-----	X	X
Cr	X	-----	X	-----	X
Zn	X	-----	X	-----	-----
Cd	X	-----	X	-----	X
Mn	ND	-----	-----	X	X
Ni	-----	X	X	-----	X

Tabla 7. Concentración de los iones sulfato en el PM_{2.5} en Cúcuta- Norte de Santander.

Muestra material particulado PM _{2.5} en Cúcuta	Concentración de iones sulfato (SO ₄ ²⁻) mg/L
Blanco	0
Muestra	4

