



COMPOSICION DEL MATERIAL PARTICULADO-PM_{2.5} DEL AIRE DE CUCUTA-COLOMBIA: CUANTIFICACION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS

Alfonso Quijano Parra ¹, Parra Hernandez MC², Hernandez Hernandez ML²

¹ Universidad de Pamplona. Laboratorio de Control de Calidad. Grupo de Investigación en Química. email: alfonsoquijanoparra@unipamplona.edu.co

² Universidad de Pamplona. Investigadora Grupo de Investigación en Química.

Resumen:

El creciente interés existente en la actualidad por la investigación en el campo del material particulado atmosférico, se debe a la identificación de efectos adversos de este contaminante sobre la salud y los ecosistemas. El conocimiento de la composición química de las partículas que se encuentran en el aire es importante desde el punto de vista epidemiológico y técnico, ya que permite determinar el potencial efecto en la salud humana por la presencia de sustancias tóxicas y cancerígenas adheridas a este diminuto material.

La razón más importante que motiva el estudio de estos compuestos, tanto en la cantidad como en el tipo, son los peligros para la salud que presentan o pueden presentar las exposiciones a largo plazo. En este estudio se realizó la cuantificación de hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (HAP) presentes en muestras de material particulado fracción respirable PM_{2.5} del aire de la ciudad de Cúcuta - Norte de Santander- Colombia, inicialmente la materia orgánica presente en el material particulado PM_{2.5} se extrajo por ultrasonido con DCM como solvente de extracción, seguido de la concentración en un rotaevaporador, obteniéndose el extracto global, parte del cual se sometió a un proceso de fraccionamiento en una columna de silicagel, obteniéndose finalmente tres fracciones. El contenido del extracto global y las tres fracciones se analizó en un cromatografo de gases Agilent 6890 plus con detector FID para realizar la cuantificación de los HAP presentes en el material particulado PM_{2.5}. Entre los HAPs identificados se encuentran: Naftaleno, Fluoreno, Fenantreno, Benzo(a) antraceno, Pireno, Dibenzo(a,h) antraceno e Indeno (1,2,3,c-d-pireno), estos HAPs son compuestos tóxicos, mutágenos y carcinógenos para los animales y los seres humanos según la agencia internacional de investigación del cáncer (IARC)

Palabras clave: Cromatografía de gases, emisiones vehiculares, Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos, mutagenos, PM_{2.5}.

COMPOSITION OF PARTICULATE MATTER (PM_{2.5}) AIR CUCUTA-COLOMBIA: QUANTIFICATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS

Abstract

Air pollutants have been and still are the main factors that contribute to chronic disease and mortality. Chronic diseases: chronic obstructive pulmonary disease (COPD), cardiovascular disease (CVD), asthma and cancer. Ozone, sulfur oxides, carbon monoxide, nitrogen oxides and particulate matter are air pollutants. In this study we performed quantification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) present in samples of respirable particulate matter PM_{2.5} air of the city of Pamplona - Norte de Santander, Colombia. Organic material initially present in the material extracted PM_{2.5} particulate ultrasound, followed by concentration on a rotary evaporator to yield the overall extract, part of which was subjected to a fractionation process a silica gel column, finally obtaining three fractions. The overall content of the extract and the three fractions was analyzed by Agilent 6890 gas chromatograph with FID detector plus for quantification



of PAHs in PM_{2.5} particulate material. Among the HAPs identified include: Naphthalene, Fluorene, Phenanthrene, Benzo (a) anthracene, pyrene, Dibenzo (a, h) anthracene and Indene (1,2,3, cd-pyrene), these PAHs are toxic compounds, mutagenic and carcinogenic to animals and humans by the international Agency for Research on Cancer (IARC)

Keywords: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Gas Chromatography, PM_{2.5}, mutagens, vehicle emissions

Para citar este artículo: Quijano Parra A., Parra Hernandez MC, Hernandez Hernandez ML. Composición del material particulado (PM_{2.5}) del aire de Cucuta-(Colombia) Cuantificación de hidrocarburos aromáticos policíclicos. Revista Bistua. 2015.13(2):47-56

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas: Alfonso Quijano Parra. Universidad de Pamplona. Laboratorio de Control de Calidad. Grupo de Investigación en Química. email: alfonsoquijanoparra@unipamplona.edu.co

Recibido: Noviembre 30 de 2014

Aceptado: Abril 06 de 2015

INTRODUCCIÓN

El material particulado (PM) ambiental es una mezcla heterogénea compleja de elementos biológicos y/o químicos como metales, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (HAP), dioxinas y furanos^{1,2}. La exposición al PM ha sido asociada con numerosos efectos adversos para la salud³⁻⁵ y diferentes estudios han relacionado específicamente la exposición al PM con muertes prematuras^{6,7}. La contaminación del aire por material particulado (PM) es un problema mundial y en los últimos años, el PM se ha convertido en un tema

importante de investigación ya que el PM atmosférico afecta los procesos climáticos⁸, las altas concentraciones del PM son responsables de la insuficiencia de visibilidad^{9,10}, el PM tiene un impacto negativo significativo en la salud humana¹¹ como se evidencia en varios estudios epidemiológicos¹²⁻¹³. Los efectos negativos para la salud incluyen el asma, así como aumento de la mortalidad respiratoria, cardiovascular y la morbilidad^{14,15}. Los procesos de combustión representan la fuente principal de PM en las áreas urbanas, estos incluyen fundamentalmente las emisiones de

los motores de los vehículos^{16,17} y otras actividades de combustión¹⁸. El material particulado fracción respirable está dividido en dos grupos principales de acuerdo a su tamaño: PM_{10} y $PM_{2.5}$ ¹⁸. Las partículas PM_{10} (diámetro aerodinámico $<10 \mu m$) son partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera, en su mayoría de pH básico. El segundo tamaño $PM_{2.5}$ es un indicador de las partículas finas (diámetro aerodinámico $<2.5 \mu m$) agrupa partículas generalmente ácidas, que contienen hollín y otros derivados de las emisiones vehiculares e industriales y corresponde a una fracción agresiva debido a que éstas son respirables²⁰ y tienen mayor efecto en la salud, ya que pueden ingresar al sistema respiratorio depositándose en los alveolos pulmonares y llegar al torrente sanguíneo produciendo efectos negativos en la salud respiratoria en personas susceptibles²¹. El PM atmosférico está compuesto por metales, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos Policíclicos (HAP), dibenzo-p-dioxinas y furanos, bifenilos policlorados, endotoxinas²². El creciente interés existente en la actualidad por la investigación en el campo del PM atmosférico, se debe a la identificación de efectos adversos de este contaminante sobre la salud y los ecosistemas. El conocimiento de la composición química de las partículas que se encuentran en el aire es importante desde el punto de vista epidemiológico y técnico, ya que permite determinar el potencial efecto en la salud humana por la presencia de sustancias tóxicas y cancerígenas adheridas a este diminuto material²³ y valorar el aporte de las fuentes de emisión a la contaminación del aire ambiente.

En el aire de Colombia y en la región Nororiental (Cúcuta), no existe información sobre la cuantificación de los Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos (HAP). En la presente investigación, las partículas en suspensión ($PM_{2.5}$) y los compuestos orgánicos volátiles se recogieron durante el periodo comprendido entre Enero-Julio de 2013 con un equipo Partisol 2025 plus de la Ruprecht y Pataschnick, en una vía céntrica de Cúcuta influenciada por vehículos que funcionan con diesel y gasolina; los HAP presentes en el $PM_{2.5}$ del aire de Pamplona se analizaron por Cromatografía de Gases con detector FID.

METODOLOGÍA

Muestreo

EL monitoreo del $PM_{2.5}$ se realizó con un equipo 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 $PM_{2.5}$ en Cúcuta - Norte de Santander ubicada en la cordillera Oriental de Colombia con coordenadas geográficas $72^{\circ} 25'$ de longitud Oeste y $7^{\circ} 20'$ de latitud Norte, a una altitud de 300 msnm y una presión atmosférica de 650 mm de Hg; se instaló un equipo Partisol 2025 Plus en la azotea del edificio del Cread de la Universidad de Pamplona ubicada en la Transversal Santander en un sector catalogado como mixto (residencial y comercio), en una vía por donde circula gran cantidad de vehículos a motores diesel y gasolina. Este sitio de monitoreo de $PM_{2.5}$ es muy importante, ya que en este sitio de la ciudad de Cúcuta no existen fuentes externas de contaminación ambiental y toda la contaminación ambiental existente en este sitio es producida fundamentalmente por las fuentes móviles que circulan por

esta vía. Las muestras ambientales obtenidas con el Partisol 2025 Plus en muestreos de 24 horas, cada tres días, se realizaron durante el período comprendido entre Julio-Diciembre del año 2012.

Medio de recolección

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

Extracción de la Materia Orgánica de los filtros de PM_{2.5}. Extracción por ultrasonido.

La materia orgánica de los filtros de PM_{2.5} (HAP) se extrae por ultrasonido en un baño ultrasónico (Branson 1510, modelo 1510R-MT); como solvente de extracción se utiliza el diclorometano (200 mL). Los filtros de PM_{2.5} inicialmente se colocan en un vaso de precipitado con 20 mL del solvente para una extracción de 15 minutos a una temperatura de 23°C-24°C se recoge el extracto y se agregan de nuevo 20 mL del solvente y se realiza la extracción durante quince minutos, se recoge el extracto y se repite la operación hasta completar los 200 mL del solvente.

Concentración de la materia orgánica

Una vez obtenido el extracto global de la materia orgánica proveniente de los filtros de PM_{2.5} (200 mL), se concentra en un evaporador rotatorio de vacío, marca Heidolph modelo Laborota 400-1, a la temperatura de ebullición del solvente a 150 rpm hasta aproximadamente 5 mL y este es el extracto que se utiliza para la determinación de Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos (HAP) por Cromatografía de Gases (FID)

Las muestras de HAP se secaron con Na₂SO₄, con el fin de eliminar el agua residual y preparar la muestra para el análisis cromatográfico. Se

guardaron en frasco ámbar, manteniéndolas refrigeradas a 4 °C.

Fraccionamiento del extracto global de la materia orgánica del PM_{2.5}

Se utiliza para el fraccionamiento del extracto global una columna de Silicagel ²⁴. La Silica tuvo un tratamiento térmico de ocho días a 170° C y durante dos días de 110 °C. Se colocan en una columna 10 gramos de Silica, se agregan los 5 mL del extracto global al que se han adicionado 10 mL de Hexano. Posteriormente a esta columna se agregan 200 mL de hexano, obteniéndose la fracción 1; obtenida esta fracción se agregan 200 mL de una mezcla Diclorometano-Hexano obteniéndose la fracción 2, posteriormente a la columna se agregan 200 mL de Diclorometano obteniéndose la fracción 3.

Identificación de Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos

Para identificar los HAP presentes en el PM_{2.5} del aire de Cúcuta, extracto global y las tres fracciones, se utilizó un equipo de Cromatografía de Gases marca Agilent Technologies 6890N Network Plus Series II Hewlett-Packard Plus acoplado a un detector de ionización de llama-FID (Flame Ionization Detector) equipado con un puerto de inyección *split/Splitless*. Se utiliza la columna Restek Rxi-17 Sil MS, 30m de longitud, 0.25mm de diámetro, 0.25µm de diámetro interno (silarylene similar a 50% phenyl/50% dimethyl polysiloxane). Para la identificación de los HAP se utilizó el patrón de hidrocarburos de Restek (EPA Method 8310 PAH Mixture). La identificación cualitativa de los HAP presentes en el extracto global se realizó de acuerdo a las siguientes condiciones: Programación de Temperaturas: Inicia en 65°C

51

durante 0,50 min y se incrementa de la siguiente manera: 15°C/min hasta 200°C, 4°C/min hasta 330°C durante 15min. Modo de inyección Splittles a 320°C, Gas de arrastre Helio, flujo 20mL/min, mezcla (mL/min): Aire 450 - H₂ 40 - N₂ 45, volumen de inyección 1µL.

RESULTADOS Y DISCUSION

Cuantificación de los HAP. Curva de Calibración

La curva de calibración, es elaborada con el fin de confirmar que las condiciones seleccionadas para el proceso de cromatografía son idóneas. Para tener un patrón de referencia confiable en la construcción de la curva de calibración, es necesario utilizar un patrón que este certificado y que contenga los 18 HAP. El patrón certificado utilizado es de marca RESTEK (figura 1) sus características se presentan en la tabla 1. Cabe mencionar que se utiliza este patrón debido a que contiene los 18 HAP en la misma concentración.

Tabla 1. Información del Patrón Primario- Restek

Marca		Restek
Nombre		EPA Method 8310 PAH Mix.
Abreviatura	PHA	Concentración (µg/mL)
NAP	Naftaleno	2000
1MNAP	1-Metilnaftaleno	2000
2MNAP	2- Metilnaftaleno	2000
ACY	Acenaptileno	2000
ACE	Acenapteno	2000
FLU	Fluoreno	2000
PHE	Fenantreno	2000
ANT	Antraceno	2000
FLA	Fluoranteno	2000
PYR	Pireno	2000
B(A)A	Benzo (a) antraceno	2000
CRI	Criseno	2000
B(B)F	Benzo (b) fluoranteno	2000
B(K)F	Benzo (k) fluoranteno	2000
B(A)P	Benzo (a) pireno	2000
IND	Indeno (1,2,3 -cd) pireno	2000

D(AH)A	Dibenzo (a,h) antraceno	2000
B(GHI)P	Benzo (ghi) perileno	2000

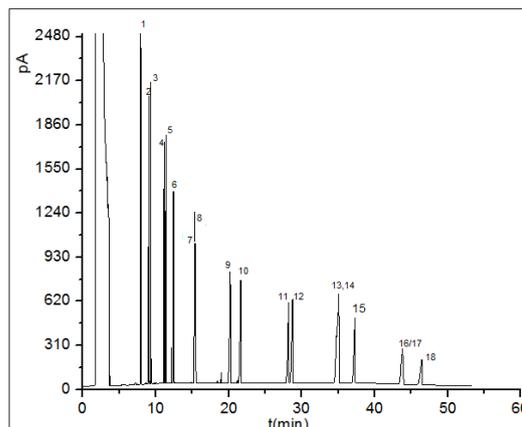


Figura 1. Cromatograma del Patrón Estándar de los 18 HAP (Restek EPA Method 8310 PAH Mix)

A partir de este patrón se construyó la curva de calibración a diferentes concentraciones: 25, 50,100,150 y 200 ppm. Los patrones preparados para la curva de calibración se inyectaron por triplicado, bajo las mismas condiciones de operación.

En la tabla 2 se muestran los tiempos de retención de cada componente del patrón primario de Restek en función de las concentraciones utilizadas.

HAP	Tiempos de Retención Promedio
NAP	7,737
1MNAP	9,005
2MNAP	9,3065
ACY	11,107
ACE	11,346
FLU	12,363
PHE	15,287
ANT	15,379
FLA	20,094
PYR	21,518
B(A)A	23,017
CRI	28,520
B(B)F/ B(K)F	34,707
B(A)P	37,317
IND/ D(AH)A	43,416
B(GHI)P	45,985

Tabla 2. Tiempos de retención promedio de los HAP

En la Figura 2 y 3 se muestra como ejemplo la calibración del Fenantreno y Pireno

Figura 2. Curva de Calibración del PHE

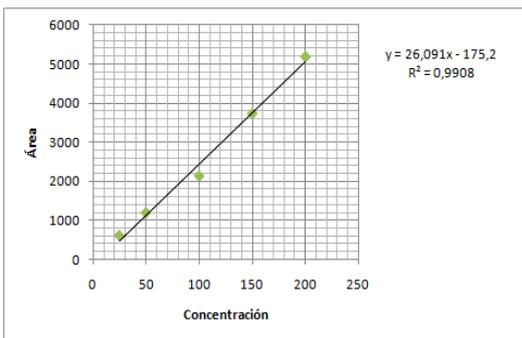
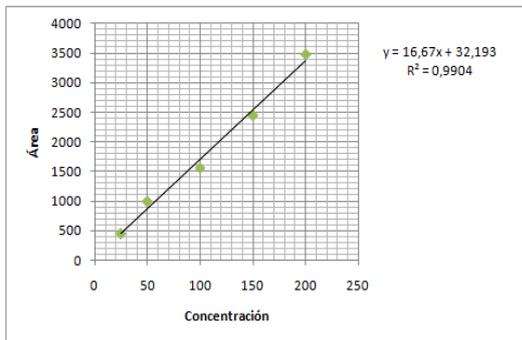


Figura 3. Curva de Calibración del PYR

La relación entre la concentración de cada uno de los HAP y el área reportada por el cromatógrafo es lineal, con coeficientes de correlación cercanos a 1. De esta manera puede asegurarse que el método cromatográfico y el procedimiento utilizado son eficientes para el análisis de los HAP.

Determinación de la Concentración de los HAP

La cuantificación de los HAP en la muestra global y en cada una de las fracciones se lleva a cabo siguiendo la recomendación del Método TO-13a²⁵, de acuerdo con la ecuación 1.

$$\text{Concentración, } \left(\frac{\text{ng}}{\text{std m}^3} \right) = \frac{A_x \cdot I_s \cdot V_t \cdot D_f}{A_i \cdot V_i \cdot \overline{RRF}}$$

$$\overline{RRF} = \frac{A_x C_i}{A_i C_x}$$

Donde:

A_x = Área de respuesta para el componente que se está analizando

A_i = Área de respuesta del estándar interno.

I_s = Cantidad de estándar interno

\overline{RRF} = Factor de respuesta relativa

V_i = Volumen del aire muestreado, std m³

V_t = Volumen del extracto, µL

D_f = Factor de dilución para el extracto, si no existe dilución D_f es igual

En la tabla 3 se muestran las concentraciones de los HAP hallados en el PM_{2.5} del aire de Cúcuta.

Tabla 3. Concentración de los HAP hallados en el aire de Cúcuta

HAP	Concentración en ng/m ³	Abundancia %
Naftaleno	6,3737	6,03
1 Metilnaftaleno	0,188	0,18
2Metilnaftaleno	5,3435	5,15
Fluoreno	10,3458	9,78
Fenantreno	2,2973	2,17
Pireno	13,064	12,35
Benzo(a)antraceno	25,911	24,49
Indeno(1,2,3 pireno)/ Dibenzo(a,h)antraceno	42,2487	39,94

En los últimos años, los HAP han recibido gran atención en los estudios de contaminación del aire debido a que algunos de estos compuestos son altamente carcinogénicos o mutagénicos. La Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC)²⁶ agrupa a los diferentes compuestos estudiados en cinco grupos, de acuerdo a sus propiedades carcinogénicas: 1-Carcinogenico para Humanos, 2A Probablemente Carcinogénicos para Humanos, 2B-Posiblemente Carcinogénicos para Humanos, 3-No clasificable como Carcinogénicos para Humanos y 4-Probablemente no Carcinogénicos para Humanos. Entre ellos, destacan por sus características cancerígenas el Benzo(a)pireno,

Benzo(a)antraceno, Benzo(b) fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Indeno(1,2,3-cd)pireno, Naftaleno, Dibenzo(a,h)antraceno y Benzo(ghi)perileno.

La suma total de los HAP hallados en el aire de Cúcuta es 105.773 ($\mu\text{g}/\text{mL}$).

De acuerdo con otros estudios de partículas, los HAP están predominantemente presentes en la fracción de $\text{PM}_{2.5}$ ^{27,28}. Como se observa en el aire de Cúcuta, los HAP más abundantes corresponden a la relación Indeno/Dibenzo(a,h)antraceno, Benzo(a) antraceno, Pireno, Fluoreno y Fenantreno, representan el 39.94%, 24.49%, 12.35%, 9.78% y 2.17%. El Fenantreno está relacionado con las emisiones del tráfico vehicular²⁹. Se observa que en el aire de Cúcuta los HAP con 5 y 6 anillos (Indeno(1,2,3,cd)pireno) y Dibenzo(a,h) antraceno dominan la fase de partículas con un 39.94%, lo que concuerda con otras investigaciones relevantes^{27,28,30}. Los HAP con 3-4 anillos son típicamente asociados con las emisiones de los vehículos diésel³¹, en el aire de Cúcuta los HAP relacionados con las emisiones diésel son: Fluoreno, Fenantreno, Pireno y Benzo(a)antraceno.

De los HAP encontrados en el aire de Cúcuta el dibenzo [a, h] antraceno, el indeno [1,2,3-cd] pireno, el benzo [a] antraceno son considerados como posible / probable carcinógenos humano²⁶. El Naftaleno es otro HAP cancerígeno³².

Los HAP son compuestos genotóxicos y su carcinogenicidad es probablemente mediada por su capacidad de dañar el ADN³³.

Los HAP con 5,6 anillos²⁸ están presentes en la fase de partículas y

en el aire de Cúcuta estos HAP corresponden a:

Dibenz[a,h]anthracene (5)
, indeno[1,2,3-cd] pyrene (6).

Conclusiones

Entre los HAP identificados en el aire de Cúcuta se encuentran: Naftaleno, Fluoreno, Fenantreno, Benzo(a) antraceno, Pireno, Dibenzo(a,h) antraceno e Indeno (1,2,3,c-d-pireno), estos HAP son compuestos tóxicos, mutágenos y carcinógenos para los animales y los seres humanos según la agencia internacional de investigación del cáncer (IARC).

La principal fuente de HAP en el aire de la ciudad de Cúcuta son las emisiones de tráfico vehicular.

Las investigaciones químicas relacionadas con la fracción de $\text{PM}_{2.5}$ son muy importantes, ya que es la fracción de PM más relevante para la salud, debido a que estas partículas penetran a las regiones más profundas de los pulmones y los alveolos, causan efectos adversos a la salud, incluyendo enfermedades cardiopulmonares y cáncer de pulmón.

Con el fin de proteger la salud pública es fundamental continuar con los esfuerzos de reducción de las emisiones de los contaminantes, relacionados principalmente con el tráfico vehicular, ya que estos contaminantes pueden promover problemas graves a la salud de la población.

Referencias bibliográficas

1-Billet S, Garcon G, Dagher Z, Verdin A, Ledoux F, Cazier F, Courcot D, Aboukais A, Shirali P. Ambient particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$): physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells



(A549). Environmental Research.2007; 105: 212e223.

2.- Nel AE, Xia T, Madler L, Li N. Toxic potential of materials at the nanolevel. Science.2006; 311:622–627.

3.- Liden J, Ek A, Palmberg L, Okret S, Larsson K. Organic dust activates NFkB in lung epithelial cells. Respir. Med.2003; 97: 882–892.

4.-Osornio-Vargas AR, Bonner JC, Alfaro-Moreno E, Martinez L, Garcia-Cuellar C, Ponce-de-Leon Rosales S, Miranda J, Rosas I. Proinflammatory and cytotoxic effects of Mexico city air pollution particulate matter in vitro are dependent on particle size and composition. Environ. Health Persp.2003; 111: 1289–1293.

5.-Pope CA, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. J. Air Waste Manage. Assoc. 2006;56(6): 709–742.

6.-Tsai FC, Apte MG, Daisey JM. An exploratory analysis of the relationship between mortality and the chemical composition of airborne particulate matter. Inhalation Toxicol. 2000;12: 121–135.

7.-Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, van den Brandt PA. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. Lancet. 2002; 360 (9341): 1203–1209.

8.-Pio CA, Legrand M, Oliveira T, Afonso J, Santos C, Caseiro A, Fialho P, Barata F, Puxbaum H, Sanchez-Ochoa A, Kasper-Giebl A, Gelencser A, Preunkert S, Schock M. Climatology of aerosol composition (organic versus inorganic) at nonurban sites on a west-east transect across Europe. Journal of Geophysical Research-Atmospheres 2007.112.

9.-Liu ZD, Liu HG, Wang B, Lu F, Huang SH, Wu DX, Han D.W. Aerosol observation in Fengtai area, Beijing. Particuology.2008; 6: 214e217.

10.-Yang LX, Wang DC, Cheng SH, Wang Z, Zhou Y, Zhou XH, Wang WX. Influence of meteorological conditions and particulate matter on visual range impairment in Jinan, China. Science of the Total Environment .2007;383: 164e173.

11.-Oliveira C, Pio C, Alves C, Evtugina M, Santos P, Goncalves V, Nunes T, Silvestre AJD, Palmgren F, Wahlin P, Harrad S. Seasonal distribution of polar organic compounds in the urban atmosphere of two large cities from the North and South of Europe. Atmospheric Environment.2007; 41: 5555e5570.

12.-Nawrot TS, Nemery B. Response to findings on association between temperature and dose response coefficient of inhalable particles (PM10) e response. Journal of Epidemiology and Community Health.2007; 61: 838e839

13.-Nawrot T, Torfs R, Fierens F, De Henauw S, Hoet P, van Kersschaever G, de Backer G, Nemery B. More people die in summer from fine particulate air pollution than in winter. Associations from a heavily polluted region in Western Europe. Epidemiology.2006; 17: S262.

14.-Nemmar A, Inuwa IM. Diesel exhaust particles in blood trigger systemic and pulmonary morphological alterations. Toxicology Letters.2008; 176: 20e30.

15.-Walker B, Mouton CP. Environmental influences on cardiovascular health. Journal of the National Medical Association.2008; 100: 98e102.

16.- Marr L, Grogan LA, Wöhrnschimmel H, Molina LT, Molina MJ. Vehicle traffic as a source of particulate polycyclic aromatic hydrocarbon exposure in the Mexico City Metropolitan Area. Environ Sci Technol.2004;38:2584–92.

17.-Amador-Muñoz O, Villalobos-Pietrini R, Miranda J, Vera-Avila LE. Organic



compounds of PM_{2.5} in Mexico Valley: Spatial and temporal patterns, behavior and sources. *Science of the Total Environment* .2011;409:1453–1465

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

19.-Samara C & Voutsas D. Size distribution of airborne particulate matter and associated heavy metals in the roadside environment. *Journal Chemosphere*.2005; 59:1197-1206.

20.-Traversi D, Degan R, De Marco R, Gilli G, Pignata C, Villani S, Bono R. Mutagenic properties of PM_{2.5} urban pollution in Northern Italy: the nitro-compounds contribution. *Environment International*.2009;35: 905–910.

21.- Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL, Samet JM. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *J. Am. Med. Assoc.*2006;295:1127–1134.

22.-Billet S, Abbas I, Le Goff J, Verdin A, Andre V, Lafargue PE, Hachimi A, Cazier F, Sichel F, Shirali P, Garçon G. Genotoxic potential of polycyclic aromatic hydrocarbons-coated onto airborne particulate matter (PM_{2.5}) in human lung epithelial A549 cells. *Cancer Letters*.2008; 270(1): 144-155

23.-Piñeiro M, López P, Muniategui S, Prada D, Querol X, Alastuey A. A new method for the simultaneous determination of PAH and metals in samples of atmospheric particulate matter. *Atmospheric Environment*. 2003;37: 4171- 4175.

24.-Xiao-Yang Yang, Kazuhiko Igarashi, NingTang, Jin-MingLin. Indirect- and direct-acting mutagenicity of diesel, coal and wood burning-derived particulates and contribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and nitropolycyclic aromatic hydrocarbons. *Research*.2010;695:29–34. Academy

of Environmental Sciences, Beijing, China.

25.- EPA Method TO-13A, Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)“ Second Edition U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, OH 45268 January 1999: 36-43

26.-IARC.International Agency for Research on Cancer. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures,IARC Monogr, Eval. *Carcinog.Risk.Hum.*2010; 92: 773.

27.-Castro D, Slezakova K, Oliva-Teles MT, Delerue-Matos C, Alvim-Ferraz MC, Morais S, Pereira MC. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particulate samples by microwave-assisted extraction and liquid chromatography. *J. Sep. Sci.*2009; 32:501–510.

28.-Slezakova K, Castro D, Pereira MC, Morais S, Delerue-Matos C, Alvim-Ferraz MCM. Influence of traffic emissions on the carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in outdoor breathable particles, *J. Air Waste Manage. Assoc.*2010;60:393–401.

29.- Ravindra K, Bencs L, Wauters E, de Hoog J, Deutsch F, Roekens E, Bleux N, Bergmans P, Van Grieken R. Seasonal and site specific variation in vapor and aerosol phase PAHs over Flanders (Belgium) and their relation with anthropogenic activities, *Atmos. Environ.*2006; 40: 771–785

30.- Castro D, Slezakova K, Delerue-Matos C, Alvim-Ferraz MC, Morais S, Pereira MCM. Contribution of traffic and tobacco smoke in the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons on outdoor and indoor PM_{2.5}. *Glob. Nest.* J.2010; 12:3–11.



31.-Guo H, Lee SC, Ho KF, Wang XM, Zou SC. Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Hong Kong, Atmos. Environ. 2003;37: 5307–5317.

32.- IARC, Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene, IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risk. Hum.2002; 82: 367

33.- Novotna B, Topinka J, Solansky I, Chvatalova I, Lnenickova Z, Sram RJ. .Impact of air pollution and genotype variability on DNA damage in Prague policemen. Toxicology Letters. 2007;172: 37e47

Alfonso Quijano Parra

Ph.D.Investigador Asociado.
Universidad de Pamplona, Colombia.
Facultad de Ciencias Básicas.
Departamento de Química. Director
Grupo de Investigación en Química

MC Parra Hernandez.

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

ML Hernandez Hernandez

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