

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos presentes en partículas menores de 10 μm del aerosol atmosférico en una zona de La Habana, Cuba

Aleinnys Marys- Barredo-Yera ^(1*), Michel- Manduca-Artiles ⁽²⁾ y Lázaro Lima-Cazorla ⁽²⁾

⁽¹⁾*Grupo de Análisis Físico-Químico, Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros (CIEC), Cuba. Email: invquimica1@ciec.cu*

⁽²⁾*Laboratorio de Análisis Ambiental, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), Cuba. Email: manduca@instec.cu*

Recibido: abril 13, 2015	Aceptado: junio 28, 2015
--------------------------	--------------------------

Resumen

El objetivo del presente trabajo es determinar las concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos existentes en las partículas menores de 10 μm del aerosol atmosférico en una zona de La Habana, Cuba. Para la colección del aerosol atmosférico se utilizó un muestreador de alto flujo PM10 Staplex con filtros de cuarzo, 20 x 25 cm. Para el análisis de las concentraciones de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos se utilizó la extracción por Soxhlet, la cromatografía de columna para la separación y la Cromatografía de Gases acoplada a un Espectrómetro de Masas (CG/MS) para las mediciones. Se evaluó la calidad metrológica de los valores obtenidos utilizando Materiales de Referencia Certificados (MRC). Los valores de PM10 determinados en los filtros son inferiores a lo establecido por la NC 1020/2014. Se determinaron las concentraciones de 14 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos con la obtención de resultados veraces y precisos.

Palabras clave: Cromatografía Gaseosa acoplada a un Espectrómetro de Masas (CG/MS), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), Material Particulado, Soxhlet.

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons presents in particles less than 10 μm the atmospheric aerosol in La Havana. Cuba

Abstract

The object of this research is to determine the concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons existing in particles smaller than 10 μm of atmospheric aerosol in La Havana, Cuba. High Flow sampler PM10 Staplex with quartz filters, 20 x 25 cm was used for the collection of atmospheric aerosol. For analysis of the concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Soxhlet extraction, column chromatography for separation and Gas Chromatography coupled to Mass Spectroscopy (GC / MS) it was used for measurements. Metrological quality of the values obtained using Certified Reference Materials (CRMs) were evaluated. PM10 values determined in the filters are lower than set by the NC 1020/2014. Concentrations of 14 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons with obtaining accurate and precise results were determined.

Keywords: Gaseous chromatography coupled to a mass spectrometer (GC / MS), Particulate Matter, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Soxhlet.

1. Introducción

La Humanidad enfrenta hoy múltiples problemas ambientales, entre los que se pueden mencionar; la contaminación atmosférica, debido principalmente a la constante emisión de contaminantes a la atmósfera (Sinclair 1950). Se denomina contaminante atmosférico a todas las partículas sólidas, líquidas y gaseosas que se encuentren suspendidas en el aire ambiente y que pueden traer efectos nocivos para el hombre o el Medio Ambiente en general (Sinclair 1950).

En los últimos años muchos investigadores centran su atención en el estudio del material particulado del aerosol atmosférico ya que estos determinan, en gran medida, la química de los procesos de la atmósfera, el clima y la salud humana, debido a que pueden ser inhalados por el hombre e incorporados al organismo, causando grandes afectaciones para la salud. El material particulado presenta una gran distribución de tamaños, mientras menor sea el diámetro de las partículas, mayor será la penetración de las mismas en el organismo. Partículas menores de 10 μm pueden penetrar a las tráqueas, las menores de 2.5 μm alcanzan los bronquiolos y las menores de 1 μm pueden llegar hasta los alveolos, causando grandes trastornos respiratorios (INSHT 2006).

No solo el tamaño de las partículas es perjudicial, también es importante la composición química de las mismas ya que existen diversas sustancias que pueden causar daños a la salud humana (INSHT 2006). En este trabajo se estudian los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), que son sustancias que están compuestas por dos o más anillos aromáticos y que están ampliamente distribuidos en el ambiente debido a que su principal fuente de formación es la combustión incompleta de materiales orgánicos incluyendo carbón, petróleo, gasolina, leña y basura. De forma natural se originan en la quema de bosques, las erupciones volcánicas, entre otros. (Mastandrea *et al* 2005).

Los HAP pueden penetrar en el organismo a través de diferentes vías: el agua, el suelo, el aire, los alimentos o por el contacto directo con productos que contengan estos compuestos. Entre las propiedades químicas de los HAP podemos mencionar que son pocos reactivos, persistentes, algunos pueden tener carácter mutagénico y alto poder cancerígeno. Los HAP por las propiedades que presentan pueden causar graves problemas a la salud humana. Según Mastandrea *et al* (2005) los HAP pueden causar disminución del rendimiento físico, aumento de la frecuencia de síntomas respiratorios y deterioro de la función pulmonar en los niños y en la población sana. El INSHT (2006) relaciona el incremento de la morbilidad por afecciones respiratorias agudas y crónicas, el cáncer pulmonar, la agudización de manifestaciones clínicas de deterioro de las funciones respiratoria y cardiovascular a la presencia de HAP en los organismos dañados.

Actualmente se utilizan en todo el mundo diversas técnicas analíticas y metodologías para determinar las concentraciones de los HAP en los aerosoles atmosféricos. Se encuentran muchas variantes en las metodologías analíticas empleadas para la identificación y cuantificación de dichos compuestos. Peltonen y Kuljukka (1995) realizaron la extracción de los HAP presentes en el material particulado utilizando Soxhlet y ultrasonido además de una variedad de solventes que incluyen diclorometano, benceno, acetona, metanol, entre otros. Entre las técnicas analíticas más utilizadas podemos mencionar la Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (CG/MS) y la Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) (Didyk *et al* 2000, Pindado Jimenez *et al* 2006).

Por el nivel de contaminación que estos compuestos representan es necesario cuantificar los HAP presentes en los aerosoles atmosféricos urbanos con el objetivo de que se pueda llegar a evaluar el grado de exposición a que están sometidos los habitantes de la ciudad, además que a partir de estos datos se pueden tomar diferentes medidas con el fin de lograr una mayor calidad del aire que respiramos. Para esto, es preciso establecer un método adecuado de muestreo, así como una metodología analítica confiable para determinar la concentración de los HAP existentes en la atmósfera de ciudad (Sierra *et al* 2002). En nuestro país no se tienen reportes de la concentración de HAP asociados al material particulado menor de 10 μm presente en el aerosol atmosférico. Por lo que este trabajo tiene como objetivo proponer una metodología analítica para la determinación de los HAP en partículas menores de 10 μm del aerosol atmosférico y cuantificar los HAP presentes en una zona de La Habana, Cuba.

2. Materiales y Métodos

2.1. Metodología para la realización del muestreo

Para la realización del muestreo se utilizó un Captador de alto volumen Staplex con un flujo constante de 1.13 m³/min durante 24 h, condiciones reportadas para estudios de contaminación atmosférica por diversos autores (Fariña Estramil 2012). El mismo se colocó en la azotea del edificio cadena del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), Quinta de los Molinos, municipio Plaza de Revolución, La Habana. A pesar que donde se realizó el muestro existe una abundante vegetación aportando contaminantes de origen natural proveniente de la cera y el polen de la misma, hay una marcada incidencia de la contaminación antropogénica proveniente de la quema de combustible fósil, debido al elevado tráfico vehicular de la zona, así como hospitales, grupos electrógenos y pequeñas industrias (Mastandrea *at al* 2005).

Se utilizaron filtros de fibra de cuarzo para la colección del material particulado. Los filtros fueron sometidos a un proceso de calcinación, se colocaron en la mufla a 400°C durante 24 horas, lo garantiza la eliminación de cualquier interferente sólido o gaseoso. Los filtros luego de ser calcinados se colocaron en una cámara a temperatura y humedad controlada durante 48 horas (20°C, 50 % humedad). Se pesaron en una balanza analítica y se llevaron a la zona de muestreo. Los filtros con la muestra fueron introducidos en una desecadora durante 48 h para controlar su temperatura y humedad, se pesaron y se colocaron nuevamente en la desecadora hasta alcanzar una masa constante. La masa total de las partículas PM10 se determinó restando las masas de los filtros antes y después de realizar el muestreo (Pindado Jimenez 2009).

2.2. Tratamiento de las muestras

El tratamiento de las muestras previo a la medición instrumental utilizado fue el propuesto por algunos autores en la literatura, los cuales utilizan la extracción con Soxhlet de los analitos de interés a partir de los filtros previamente muestreados, empleando una mezcla de disolvente CH₂CL₂/acetona (3:1) (Peltonen y Kuljukka 1995, Romano y Beatriz 2009).

Los filtros muestreados fueron cuarteados finamente y depositados en cartuchos de celulosa para la extracción de los contaminantes orgánicos por Soxhlet. Las condiciones de trabajo de la extracción por Soxhlet y del evaporador rotatorio se muestran en la Tabla I (Pindado Jimenez 2009). Una vez terminado el proceso de extracción, los extractos ya enfriados, fueron transvasados a un matraz de 150 mL y se procedió a la evaporación del solvente mediante el empleo de un evaporador rotatorio, hasta obtener un volumen final de 1 µL.

Tabla I. Condiciones de operación de los sistemas de extracción Soxhlet y evaporador rotatorio.

Soxhlet			
Disolvente	Volumen (mL)	Tiempo (h)	Temperatura(°C)
CH ₂ CL ₂ /acetona(3:1)	80	4	60
Rotovaporador			
Disolvente	Temperatura(°C)	Presión de vapor (mmHg)	
CH ₂ CL ₂ /acetona(3:1)	40	700	

El extracto orgánico obtenido es una mezcla compleja de compuestos, cuyo análisis directo por técnicas cromatográficas sería inviable (Viñas *et al* 2009). Por ello, debió someterse a un proceso de purificación y fraccionamiento de los compuestos de interés, con el fin de facilitar su análisis cromatográfico. Para ello se utilizó la cromatografía de columna (Sierra *et al* 2002).

Para realizar la etapa de fraccionamiento se usaron columnas cromatográficas de vidrio de 10 cm de largo y 1 cm de diámetro. Como fase estacionaria se empleó gel de sílice, y el soporte empleado para la misma, fue lana de vidrio. Las columnas se prepararon momentos previos de realizar el procedimiento de fraccionamiento para evitar la adsorción de cualquier especie sobre el gel de sílice que pudiera interferir en el posterior análisis (Manduca Ariles 2014).

Como los extractos presentan una mezcla compleja de compuestos orgánicos, se utilizaron diferentes solventes de polaridad creciente con el objetivo de separar los diferentes grupos de compuestos (Rey Salgueiro 2008).

Una vez que la columna fue empaquetada, se depositó el extracto en la cabeza de columna, se añadieron 3 mL de hexano para eluir los compuestos más apolares correspondientes al grupo de los n-alcenos que podrían interferirnos en el posterior análisis, esta fracción fue desechada (Manduca Artilles 2014).

Seguidamente se le añadió la mezcla de hexano/diclorometano en una relación (4:1) para eluir la fracción de interés correspondiente a los HAP en un volumen final de 10 mL. Esta fracción se llevó a sequedad en el evaporador rotatorio y se reconstituyó con 1 mL de diclorometano para ser medida en el CG-MS (Manduca Artilles 2014).

Se utilizó un Espectrómetro de masas GCMS-QP2010 Plus, con el objetivo de determinar los HAP presentes en el material particulado muestreado. Teniendo en cuenta las condiciones de trabajo que se recomendaban en la literatura, se establecieron los parámetros con los cuales se obtenían mejores resultados. Las condiciones de operación seleccionadas se muestran en la Tabla II (Pindado Jiménez 2009).

Tabla II. Condiciones de operación seleccionadas para la determinación de los HAP.

➤ Espectrómetro de masas GCMS-QP2010 Plus con el programa GCMSsolution.		
➤ Fuente de ionización por impacto electrónico con un voltaje de ionización de 70 eV.		
Inyector (Splitless)	Gradiente de temperatura	Características de la Detección
Gas portador: He	Columna HP-5MS Fenil metil silosano	Espectrometría de Masas
Flujo Constante: 1mL/min	(30m, 250µm, 0,25 µm)	Cuadrupolo: 150 oC
Presión inicial: 78,2 kPa	Programa de temperatura	Fuente de iones: 230 oC
Volumen inyectado: 1µL	To: 100oC to: 5min 5 oC/min	
	Tf: 300 oC tf: 13min	

2.3. Preparación de los patrones de las curvas de calibración.

Las curvas de calibración para los HAP se prepararon por dilución del factor multicomponente, con una concentración de 10 µg/mL, siendo las concentraciones de los puntos de la curva de calibración de 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 y 2.00 µg/mL. Todas estas soluciones se prepararon en un volumen final de 400 µL utilizando n-hexano como disolvente. Para realizar esta operación se empleó una jeringuilla de 50 µg/mL.

2.4. Características metrológicas de los métodos de cuantificación de HAP

Con el objetivo de verificar que los procedimientos seleccionados para la cuantificación de HAP brindaban resultados con suficiente calidad analítica, se determinaron varios parámetros metrológicos como: Límite de Detección (LD), Límite de Cuantificación (LC), Precisión y Veracidad.

Se tuvieron en cuenta en esta estimación aspectos recomendados en la Norma (EURACHEM 1998).

Límite de Detección

Se ejecutaron en seis ocasiones el procedimiento de análisis, pero sin la utilización de muestras de material particulado en el proceso de extracción. En los cromatogramas se determinaron las alturas de los picos en que debían obtenerse cada uno de los HAP. A los valores de las seis réplicas de los blancos se les determinaron la media y la desviación estándar, obteniéndose el parámetro Relación del Límite de Detección (RLD) como la suma de la media de las absorbancias del blanco y tres veces la desviación estándar de las relaciones de los blancos. El parámetro RLD fue interpolado en la curva de calibración, de la cual se obtiene el Límite de Detección para cada uno de los HAP.

Límite de Cuantificación

En las curvas de calibración se interpolaron los valores de Relación del Límite de Cuantificación (RLC), correspondientes a la suma de la media de los blancos para cada HAP más diez veces el valor de la desviación estándar de las relaciones de los blancos. La concentración obtenida se correspondió con el Límite de Cuantificación para cada HAP.

Evaluación de la veracidad

La veracidad fue evaluada a través de un Test Studen y utilizando el Material de Referencia Certificado (MRC), IAEA - 417. La prueba se realizó utilizando la ecuación 1, donde \bar{x} es la media de las seis réplicas, μ es el valor reportado, s es la desviación estándar de las seis réplicas y n es el número de réplicas, para un intervalo de confianza de 95%.

$$t_{\text{exp}} = \frac{(\bar{x} - \mu) \sqrt{n}}{s} \quad (1)$$

Evaluación de la precisión

Fue calculada como el coeficiente de variación a partir de la realización del procedimiento de ensayo bajo condiciones de repetibilidad, realizándose el análisis de seis réplicas de las muestras de MRC.

3. Resultados y Discusión.

3.1. Evaluación de la metodología de extracción y purificación de los HAP

Se determinó el porcentaje de recobrado utilizando el MRC con el objetivo de evaluar las metodologías de extracción y purificación utilizadas, Tabla III.

Tabla III. Análisis del porcentaje de recobrado del MRC para la evaluación de las metodologías de extracción y purificación de los HAP.

Compuestos	%Recobrado MRC (IAEA – 417)
Fluoranteno	96 ± 9
Pireno	101 ± 8
Benzo (a)antraceno	94 ± 5
Criseno	100 ± 6
Benzo (b)Fluoranteno	94 ± 8
Benzo (a)pireno	100 ± 7
Benzo (ghi)pirileno	100 ± 9
Indenopireno	96 ± 9

Como se puede observar en la Tabla III, se pudieron identificar y cuantificar ocho de los HAP. Los porcentajes de recobrados obtenidos oscilaron entre 94 - 101 %. Según la Directiva 30/99/CE los recobrados para HAP deben estar entre 80 - 120 %, por lo que los resultados obtenidos utilizando esta metodología fueron adecuados para la extracción y purificación de los HAP.

3.2. Determinación de los HAP empleando la CG/MS

Para la determinación analítica de los HAP se establecieron las condiciones experimentales propuestas por diferentes autores. La determinación de las señales de cada uno de los HAP en las muestras colectadas se realizó mediante un patrón de alta calidad metrológica, permitiendo identificar en el cromatograma la señal de cada analito de forma individual (Pindado Jimenez 2009).

Para la identificación de los HAP presentes en las muestras, se seleccionaron las relaciones masa/carga de cada uno de los HAP por el método SIM y se compararon los espectros de masa de cada sustancia con los reportados en la librería del equipo. En la Tabla IV, se muestran las relaciones masa/carga seleccionadas y los tiempos de retención a los que se obtuvieron los máximos de cada uno de los picos de interés.

Tabla IV. Tiempos de retención en la columna y relaciones masa/carga seleccionadas para los HAP.

Compuestos	TR(min)	m/z	Compuestos	TR(min)	m/z
Naftaleno	7.783	128	Benzo[a]antraceno	21.626	228
Acenaftileno	11.432	152	Criseno	21.698	228
Acenafteno	11.861	154	Benzo[b]fluoranteno	24.023	228
Fluoreno	13.149	166	Benzo[k]fluoranteno	24.130	252
Fenantreno	15.365	178	Benzo[a]pireno	24.667	252
Antraceno	15.509	178	Indeno[1,2,3 y cd] pireno	27.207	276
Fluoranteno	18.192	178	Dibenzo[a,h]antraceno	27.171	278
Pireno	18.729	202	Benzo[ghi]pirileno	27.851	276

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de los cromatogramas obtenidos el cual se comparó con los de la librería y se pudo identificar la señal como la correspondiente al pireno, de esta manera se identificaron los demás HAP con excepción del Acenafteno y el Benzo[k]fluoranteno para los cuales no se encontraron las señales de los fraccionamientos característicos para cada uno de ellos en los tiempos de retención esperados, no teniendo así suficiente criterio para su identificación.

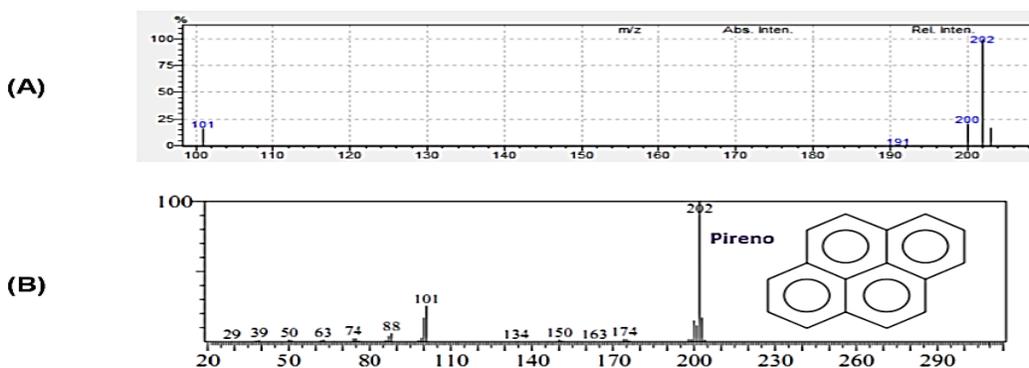


Fig. 1. Espectros de masa del pireno. (A) espectro obtenido experimentalmente, (B) espectro reportado por la librería del equipo.

3.3. Partículas totales

En la Figura 2, se muestran las concentraciones del material particulado colectado en los seis filtros, los cuales se encuentran en un rango entre 37.2 y $24.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ y por debajo de la concentración propuesta por la Norma Cubana 1020: 2014 que hace referencia a las concentraciones máximas permisibles y valores guías para zonas habitables, la misma establece que esta concentración no debe ser superada en un muestreo de 24 horas de duración. Estas concentraciones pueden estar asociadas a diversos factores entre las cuales se encuentran la influencia de la intensidad de las fuentes de emisiones y de algunas variables meteorológicas, como la humedad relativa, la temperatura, la velocidad y dirección del viento, etc (Mastandrea *at al* 2005).

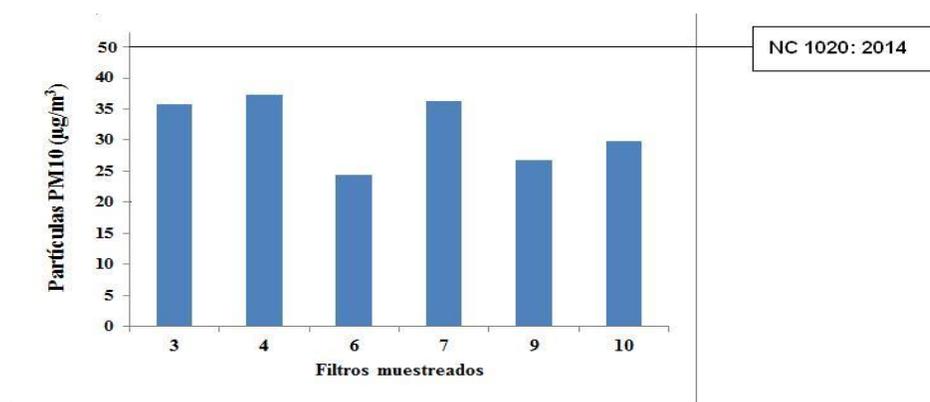


Fig. 2. Valores de las concentraciones de PM10 colectado en los seis filtros.

3.4. Cuantificación de los niveles de HAP empleando la CG/MS

Para la cuantificación de las concentraciones de los HAP se realizaron las 14 curvas de calibración correspondientes a cada uno de los compuestos de interés. En la Tabla V, se muestran los parámetros de ajustes de las curvas de calibración. En la mayoría de los casos se obtuvieron valores elevados para los coeficientes de regresión lineal, por encima de 0.99, por lo que el ajuste fue adecuado.

Tabla V. Parámetros de ajustes de las curvas de calibración.

Compuestos	Pendiente	Intercepción	R
Naftaleno	398	9392.8	0.991
Acenaftileno	320	-14160	0.992
Fluoreno	719	-16340	0.996
Fenantreno	105	-953.6	0.997
Antraceno	105	-26794	0.997
Fluoranteno	105	-42081	0.996
Pireno	105	-99267	0.977
Benzo(a)antraceno	105	-68296	0.995
Criseno	105	1384.9	0.999
Benzo(b)fluoranteno	105	- 54006	0.997
Benzo(a)pireno	105	- 48506	0.998
Indeno[1,2,3-cd]pireno	105	- 61877	0.997
Dibenzo(a,h)antraceno	105	- 29037	0.999
Benzo(ghi)perileno	105	-26096	0.999

Los LD y LC obtenidos estuvieron entre 0.001- 0.10µg/mL. Según Vargas *et al* (2013), en condiciones similares a las establecidas en esta investigación, los valores de LD pueden oscilar entre 0.003 - 0.12 µg/mL, por tanto, con los valores obtenidos es posible cuantificar los niveles de los HAP presentes en el material particulado menor a los 10 µm, colectados en este estudio.

Para determinar la veracidad del método utilizado, se analizaron los resultados obtenidos del MRC (IAEA-417). El análisis del Test Studen arrojó que los valores calculados para todos los compuestos se encontraban por debajo de los valores de t_{tab} para un intervalo de confianza de un 95%, lo que significa que no existen diferencias significativas entre ambos valores, por lo que se puede considerar que el método brinda resultados veraces, al menos para los ocho compuestos determinados en el MRC.

La precisión se evaluó como el coeficiente de variación (Cv) del método, realizando seis réplicas del Material de Referencia Certificado (IAEA - 417). En la Tabla VI se muestran los Cv obtenidos, los cuales estaban en un rango entre 5 - 9 % para los HAP encontrados, según Sienna *et al* (2002) los Cv en este tipo de análisis deben ser menor que diez, por lo que los calculados en esta investigación son adecuados para predecir la veracidad del método.

Tabla VI. Determinación de HAP en el MRC y análisis de los parámetros metrológicos.

Compuesto	LD µg/mL	LC µg/mL	Reportado MRC (IAEA-417) (ng/g)	Promedios determinados MRC (IAEA-417) (ng/g)	Precisión (Cv)	Veracidad	
						t_{exp}	t_{tab}
Fluoranteno	0.043	0.045	7700 ± 900	7419 ± 668	9 %	0.99	2.57
Pireno	0.101	0.102	6000 ± 700	6045 ± 483	8 %	0.23	2.57
Benzo(a) Antraceno	0.069	0.071	3200 ± 400	3020 ± 151	5 %	2.29	2.57
Criseno	0.001	0.003	3600 ± 500	3610 ± 216	6 %	0.12	2.57
Benzo(b) Fluoranteno	0.058	0.063	4100 ± 1000	3864 ± 348	9 %	1.57	2.57
Benzo (a)pireno	0.050	0.051	2800 ± 400	2818 ± 197	7 %	0.22	2.57
Benzo(ghi) Pirileno	0.031	0.034	2300 ± 400	2305 ± 207	9 %	0.05	2.57

Las concentraciones de los HAP presentes en cada uno de los filtros muestreados oscilaron entre 0.03 – 0.53 µg/mL para el naftaleno y el pireno respectivamente y se obtuvo como resultado que el pireno, el benzo(a)antraceno, el fluoranteno y el fenantreno están presente en los seis filtros, mientras que el resto de los HAP se encuentran solamente en algunos de los filtros. En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos para 2 de los HAP en cada uno de los filtros.

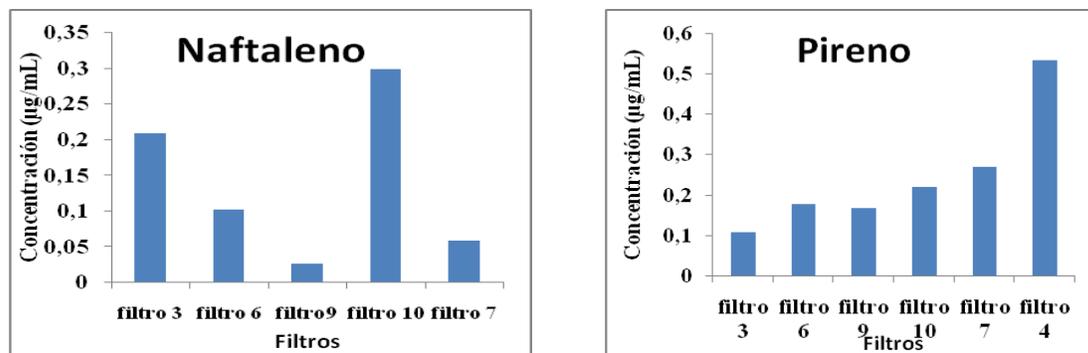


Fig. 3. Concentraciones de Naftaleno y Pireno presentes en los filtros.

Por último, comparamos las concentraciones obtenidas para el benzo(a)pireno (normado como el indicador de los HAP), siendo esta de $0,031 \text{ ng/m}^3$, con el establecido por la NC 1020:2014. La concentración máxima permisible para el Benzo(a) pireno en el aire ambiente es de 2 ng/m^3 para 24 horas de exposición y de 1 ng/m^3 para un año. Como se pudo apreciar las concentraciones encontradas en este estudio fueron inferiores a la establecida por la NC 1020:2014

El análisis de los datos que aparecen en las tablas y figuras anteriores nos pueden dar una medida de la calidad que tiene el aire ambiente cubano. A pesar que el muestreo no se realizó directamente en una zona industrial, ni fue posible realizarlo todos los meses del año, se puede tomar como referencia los datos presentados en esta investigación para clasificar el aire ambiente de la zona muestreada como no contaminada de partículas PM10 y de HAP, debido sobre todo al poco flujo de automóviles y a lo alejadas que se encuentran las industrias de las zonas urbanas.

Conclusiones

1. La metodología propuesta para la determinación de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, utilizando extracción en sistemas Soxhlet y cuantificación mediante Cromatografía de Gases acoplada a un Espectrómetro de Masas, permitió la obtención de resultados veraces y precisos para 8 de estos compuestos orgánicos.
2. Las concentraciones de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y de partículas PM10 en la zona estudiada, están por debajo de los valores de la NC 1020/2014 que rige las concentraciones máximas permisibles de estos contaminantes en la atmósfera.

Referencias

- Didyk, B. Simoneit, R., Pezoa, A., Riveros, M., Flores, A. 2000. Urban aerosol particles of Santiago, Chile: organic content and molecular characterization. *Atmos. Environ.*, 34, 1167,
- Directiva 30/99/CE del Consejo, mayo del 2010.
- EURACHEM Guide. 1998. The Fitnessfor Purpose of Analytical Methods A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics. Developed EURACHEM Working Group.
- Fariña Estramil, L.M. 2012. Determinación de As, Cd, Pb y Ni en Materia Particulada Atmosférica. Grado. Universidad de A Coruña.
- INSHT. 2006. Toma de muestras de aerosoles. Muestreadores de la fracción inhalable de materia particulada. Madrid.
- Manduca Artiles, M. 2014. Desarrollo de metodologías analíticas para la determinación de metales pesados y contaminantes orgánicos presentes en material particulado menor de $10 \mu\text{m}$ en el aerosol atmosférico. Maestría, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas.
- Mastandrea, C., Chichizola, C., Ludueña, B., Sánchez, H., Álvarez, H y Gutiérrez, A. 2005. Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos, *Acta bioquím. clín. latinoam.* 39. 27-36
- Mugica, V., Hernández, S y Carrión, B. 2011. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en la ciudad de México. *Toxicol Pharmacol.*
- NC 1020:2014. Abril 2014. Calidad del aire — contaminantes — Concentraciones máximas admisibles y valores Guías en zonas habitables. Cuban National Bureau of Standards.

- Nisbet, D. Goy, P. 1992. Toxic equivalence factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Regul. Toxicol Pharmacol. 16. 290-300.
- Peltonen, K., Kuljukka, T. 1995. Air sampling and analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. J. Chromatogr. A, 710. 93.
- Pindado Jimenez, O. Pérez, R. García, S. Barrado, I. Sevillano, M. González, D. 2006. Desarrollo de Metodologías para la Determinación de Componentes Orgánicos del Aerosol Atmosférico. Madrid.
- Pindado Jimenez, O. 2009. Caracterización de la fracción orgánica del aerosol atmosférico en una zona rural de Madrid mediante el empleo de técnicas cromatográficas. Madrid.
- Romano, A. Beatriz, M. 2009. Determinación de residuos de contaminantes orgánicos en miel y zumos. Doctorado. Universidad Complutense de Madrid.
- Rey Salgueiro, L. 2008. Factores que determinan la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos como contaminantes agroambientales y alimentarios. Doctoral. Universidad de Vigo.
- Sienra, M. Préndez, M y Romero, R. 2002. Metodología para la extracción, fraccionamiento y cuantificación de hidrocarburos aromáticos policíclicos presentes en material particulado urbano. Boletín de la Sociedad Chilena de Química. 47. 4.
- Sinclair, D. 1950. Handbook on Aerosols U.S. Atomic Energy Division, Washington DC, p. 78.
- Vargas, M. Romero, G. Palencia, A. Rivero, E. Piñero, S. 2013. Equivalentes tóxicos de hidrocarburos aromáticos policíclicos en particulado atmosférico en Valencia, Venezuela. Acta Toxicol. Argent. 21 (2): 69-77.
- Viñas, J.L. Soriano, A. González, A. Ortiz, J. Bayona, L y Albaiges, M. 2009. Accumulation of petroleum hydrocarbons in commercial shellfish from the Galician coast (NW Spain) affected by the Prestige oil spill. Chemosphere 75(4) : 534-41.

Acerca de los autores:

Aleinnys Marys Barredo Yera: Licenciada en Radioquímica, graduada en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas en julio del año 2014. En septiembre de ese mismo año comienza su etapa de adiestramiento en el Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros. Se desempeña como Reserva Científica integrada al grupo de Análisis Físico-Químico donde realiza investigaciones sobre las relaciones interecosistémicas de los ambientes costeros, estudia la biogeoquímica de sistemas acuáticos y la contaminación marina. Ha participado en 4 proyectos de investigación, 5 Servicios Científicos Técnicos y en el MarCuba 2015.

Michel Manduca Artiles: Licenciado en Radioquímica en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas en julio del año 2010. En septiembre de ese mismo año comienza a trabajar en el Laboratorio de Análisis Ambiental perteneciente a esa misma institución, en la cual se desempeña como investigador en el área de química ambiental y también como profesor instructor. En el 2014 obtuvo el Título de Master en Ciencias Químicas. A participado en 9 eventos nacionales e internacionales y publicado 4 artículos en revistas nacionales como la Revista Cubana de Química.

Lázaro A. Lima Cazorta: es profesor invitado de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador. Posee una Licenciatura y una Maestría en Radioquímica y es Doctor en Ciencias Químicas, además realizó un postdoctorado en el CIEMAT en Madrid, España. Sus principales trabajos de investigación los ha desarrollado en química analítica, en el desarrollo de metodologías. Ha realizado investigaciones en otras matrices como suelos y la atmósfera. Posee 72 publicaciones nacionales e internacionales, además de una patente. Ha obtenido dos premios de la Academia de Ciencias de Cuba.