

Determinación de naftaleno, fenantreno, antraceno y pireno en polvo de la calle de la ciudad de Maracay, Venezuela

Armando Carrasquero-Durán y Arnoldo González Suárez*

Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Laboratorio de Investigación en Química Aplicada. Maracay, estado Aragua, Venezuela

Recibido: 14-02-11 Aceptado: 31-01-12

Resumen

Las concentraciones de naftaleno (Naf), fenantreno (Fen), antraceno (Ant) y pireno (Pir) fueron cuantificadas por CG-FID en muestras de polvo de la calle de varios puntos de la ciudad de Maracay, Estado Aragua, Venezuela. Los resultados promedio para 22 muestras fueron Naf= 2,15 $\mu\text{g g}^{-1}$, Fen= 10,06 $\mu\text{g g}^{-1}$, Ant= 37,98 $\mu\text{g g}^{-1}$ y Pir= 25,00 $\mu\text{g g}^{-1}$. Las zonas más contaminadas fueron el peaje (74,99 $\mu\text{g g}^{-1}$) y en el área del terminal de autobuses (62,69 $\mu\text{g g}^{-1}$). Las relaciones fenantreno/antraceno indicaron un origen pirogénico de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), asociado entre otros factores a la combustión de gasolina y diesel. En general, los resultados mostraron que el análisis del polvo de la calle provee de información valiosa sobre las fuentes de contaminación ambiental con HAP en la ciudad de Maracay.

Palabras clave: Naftaleno, fenantreno, antraceno, pireno, polvo de la calle.

Naphthalene, phenanthrene, anthracene and pyrene determination in street dust from Maracay city, Venezuela

Abstract

Naphthalene (Naf), phenanthrene (Fen), anthracene (Ant) and pyrene (Pyr) levels were quantified by GC-FID in street dust samples from several locations at Maracay, Aragua State, Venezuela. The average concentrations for the 22 sample points were Naf= 2.15 $\mu\text{g g}^{-1}$, Fen= 10.06 $\mu\text{g g}^{-1}$, Ant = 37.98 $\mu\text{g g}^{-1}$ and Pyr= 25.00 $\mu\text{g g}^{-1}$, with a total average concentration of 74.99 $\mu\text{g g}^{-1}$. The most polluted zones were the city toll (74.91 $\mu\text{g g}^{-1}$) and the main bus terminal (62.69 $\mu\text{g g}^{-1}$). The ratio phenanthrene/anthracene indicated a pyrogenic origin of these polycyclic aromatic hydrocarbons associated among others to the combustion of gasoline and diesel. In general, results showed that analysis of street dust give valuable information about the source of the environmental pollution with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Maracay city.

Key words: Naphthalene, phenanthrene, anthracene, pyrene, street dust.

* Autor para la correspondencia: acarrasquerod@gmail.com

Introducción

Los HAP son contaminantes ambientales que se forman durante la combustión incompleta de la materia orgánica. Durante la pirólisis se forman fragmentos de moléculas y radicales libres que se combinan para dar origen a estructuras cíclicas, cuya composición depende de diversos factores como el tipo de material combustible, la temperatura y el tiempo de duración de la combustión. Estas moléculas una vez liberadas se condensan inmediatamente en las partículas sólidas suspendidas, formando aerosoles en la atmósfera que son transportados por los vientos, diseminando la contaminación.

Los incendios forestales constituyen una de las causas de emisión de HAP al medio ambiente. No obstante, la quema de combustibles fósiles como los derivados del petróleo o el carbón, ha sido señalada como la fuente contaminante de mayor importancia en el medio urbano. Asimismo, la refinación del petróleo crudo o los vertidos accidentales contribuyen en gran medida al impacto ambiental de la polución con HAP (1).

La importancia de los estudios sobre este tipo de contaminantes se basa en la evidencia de una asociación entre el aumento de la incidencia de diversos tipos de cáncer en el hombre y los niveles de esos compuestos en su entorno (2). Entre los efectos tóxicos de estos compuestos puede señalarse que el contacto con la piel produce dermatitis aguda y crónica, provocan la irritación de las vías aéreas con bronquitis y tos crónica; mientras que a nivel del globo ocular se han diagnosticado casos de intenso lagrimeo asociado con fotofobia, edema de párpados e hiperemia conjuntival.

La ciudad de Maracay, ubicada en la región centro norte costera de Venezuela, ha experimentado un gran crecimiento poblacional, llegando a ser la quinta urbe en población y una de las más importantes por su desarrollo industrial. Sin embargo, este desarrollo ha venido acompañado con un crecimiento paralelo en el uso de vehículos, cuyas emisiones de

sustancias contaminantes hacia el ambiente no está totalmente evaluada. Por ejemplo, es poco lo que se conoce sobre los niveles de HAP en los suelos o en el aire, aun cuando se presume un fuerte impacto asociado a la combustión de gasolinas en vehículos particulares y de transporte público, con motores desgastados, poco eficientes y que utilizan Diesel como combustible. En este sentido, en este trabajo se evaluaron los niveles de contaminación con naftaleno, fenantreno, antraceno y pireno en el polvo acumulado en algunas vías altamente transitadas de la ciudad de Maracay, como un indicador tanto del impacto ambiental producido por las emisiones de los vehículos, como del eventual riesgo para la salud de los habitantes de la ciudad expuesto a estas partículas.

Materiales y métodos

Se emplearon los siguientes reactivos de grado analítico: antraceno (Fluka Chemika, Suiza), naftaleno y fluoranteno (Synchemica, England), fenantreno y ciclohexano (Riedel de Haen, Alemania).

Equipo cromatográfico y condiciones operacionales

Se utilizó un cromatógrafo de gases Agilent 4890 con una columna capilar HP 5 (5% fenilmetilpolisiloxano) de 0,5 μm de diámetro interno y 15 m de longitud, empleando nitrógeno como gas portador a un flujo de 3 mL min^{-1} . Se dispuso de un detector de ionización de llama (FID) y un software Agilent Cerity para la integración de los picos cromatográficos. Las condiciones operativas (tabla 1) fueron establecidas luego de realizar ensayos preliminares tomando como condiciones iniciales las referidas en la literatura (3).

Selección de los sitios de muestreo

La selección de los sitios para la toma de las muestras de polvo de la calle, se basó tanto en la densidad de vehículos, como en la proximidad de viviendas, escuelas y lugares de alta afluencia de personas. Se tomó un to-

Tabla 1
Parámetros instrumentales del método cromatográfico

Temperatura del inyector	245°C		
Temperatura del detector	300°C		
Temperatura del horno (programación)	Incremento (°C.min ⁻¹)	T (°C)	Mantener (min)
	Inicial	0	60
	Rampa 1	40	160
	Rampa 2	10	250
	Rampa 3	2,5	275
Volumen de muestra inyectado	2 µL		

tal de 22 muestras, 13 de ellas localizadas en el casco central de la ciudad, coincidiendo con las avenidas y calles de mayor circulación. Otras cuatro muestras se tomaron en el interior del terminal de pasajeros, donde circula un número importante de vehículos de transporte público que emplean gasolina y diesel. Las últimas cinco muestras se recolectaron en el área del peaje de "Palo Negro", que el vía de acceso a la ciudad desde la utopista Regional del Centro, la cual comunica a las ciudades de Caracas, Maracay y Valencia. La figura 1 muestra las áreas donde estas muestras han sido recolectadas,

En un área de 1 m² de cada sitio seleccionado para la toma de las muestras, el polvo acumulado fue recogido utilizando una brocha pequeña y una espátula de plástico. La muestra se colocó en una bolsa plástica cerrada herméticamente. En el laboratorio las muestras se colocaron extendidas sobre pliegos de papel para que se secan al aire por tres días, en un lugar suficientemente alejado de las emisiones de los vehículos o cualquier fuente de contaminación por HAP. Una vez secas, las muestras se tamizaron hasta un tamaño de partícula inferior a 75 µm, para ser almacenadas nuevamente en bolsas de plástico.

Extracción de los HAP

Se colocaron muestras de 500 mg del material en viales de vidrio de 10 mL de ca-

pacidad y se adicionaron 5 mL de ciclo hexano (4). Aunque existen diversos métodos para la extracción de los HAP, como el ultrasonido, extracción con Soxhlet o agitación mecánica, no se han observado diferencias significativas entre ellos en cuanto a recuperación de HAP en suelos o sedimentos (5). Por esta razón, la extracción de los compuestos orgánicos se hizo por agitación mecánica durante 12 h. Posteriormente los viales y su contenido se dejaron en reposo por 15 min para luego centrifugar en tubos adecuados durante 15 min a 3.000 rpm.

Los extractos orgánicos de color amarillo se purificaron en columnas de gel de sílice para remover sustancias húmicas y otros compuestos orgánicos que pudieran interferir en el análisis (6). El equipo empleado (figura 2) consistió en un quitasato de 125 mL conectado a un sistema de vacío, en cuyo interior fue colocado un tubo de ensayos de 10 mL, donde se recogía la solución purificada. Como columna purificadora se utilizó la punta de una micropipeta de 5 cm de largo y 0,5 cm de diámetro, rellena con 500 mg de gel de sílice, el extremo inferior de la punta se tapó con papel de filtro a fin de evitar pérdidas del adsorbente. El extracto se introdujo utilizando el embudo colocado en la parte superior de la columna y se hizo pasar por la misma aplicando vacío. La solución de extracto incoloro fue recogida en el tubo de ensayos colocado en el interior del quitasato y

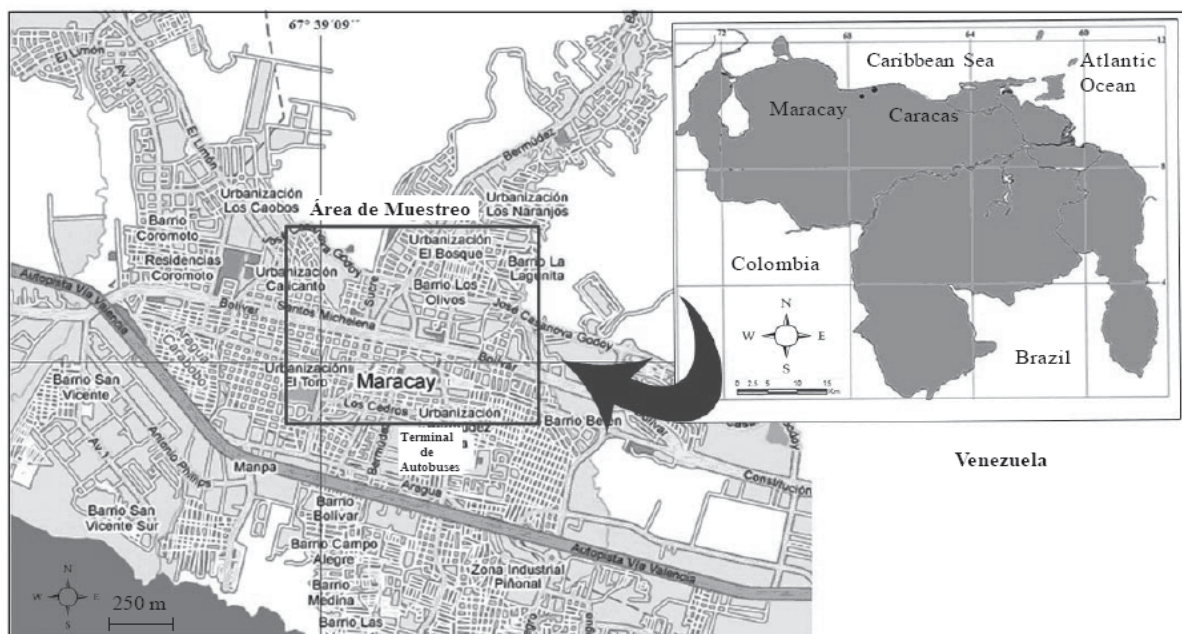


Figura 1. Mapa de las zonas de muestreo en la ciudad de Maracay.

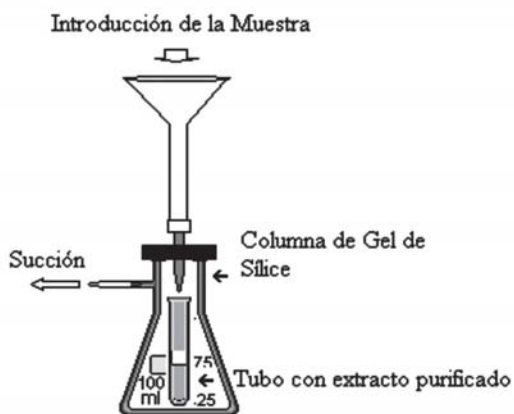


Figura 2. Equipo para la purificación de los extractos orgánicos.

posteriormente transferida a viales con tapa y almacenadas en el refrigerador a -4°C hasta su análisis.

Cuantificación

La cuantificación se llevó a cabo de dos formas (7); en primer lugar, a través de las curvas de calibración absolutas de cada componente, para lo cual se inyecta-

ron disoluciones estándar preparadas en ciclohexano a partir de una solución madre de la siguiente composición: naftaleno: $372 \mu\text{g mL}^{-1}$, antraceno: $416 \mu\text{g mL}^{-1}$, fenantreno: $376 \mu\text{g mL}^{-1}$ y pireno: $412 \mu\text{g mL}^{-1}$. Como estándar interno (ISTD) se utilizó tetrametilbenceno a una concentración de $35,84 \mu\text{g mL}^{-1}$. Por otro lado, el segundo método se basó en la cuantificación usando el método del estándar interno, determinando en primer lugar el factor de corrección de cada hidrocarburo con respecto al ISTD a fin de establecer el factor de respuesta (Fr) del detector. La masa de un determinado hidrocarburo aromático policíclico se obtuvo aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{masa}_{\text{Compuesto}} = \frac{\text{masa}_{\text{ISTD}}}{\text{Área}_{\text{ISTD}}} \times \frac{\text{Área}_{\text{Compuesto}}}{\text{Fr}}$$

La expresión del resultado final en $\mu\text{g g}^{-1}$ se hizo aplicando los factores de conversión convenientes. Se calcularon los límites de detección y cuantificación utilizando el método

de la raíz del cuadrado medio del error (RCME), propuesto por Corley (8) para los sistemas dinámicos como la cromatografía cuando existe una relación lineal entre la respuesta del detector y la concentración del analito.

Determinación del porcentaje de recuperación

Se seleccionaron cuatro muestras cuyos análisis mostraron niveles no cuantificables de los HAP de interés a las que se agregaron cantidades conocidas de los HAP disueltos en el solvente. Luego de agitar mecánicamente por 1 h, se evaporó el ciclohexano dejando los frascos abiertos durante toda la noche. Los HAP se extrajeron y cuantificaron por los procedimientos ya señalados. Se analizaron blancos para determinar la presencia de posibles impurezas en el ciclohexano y en la sílice.

Resultados y discusión

Identificación de los HAP en los cromatogramas

El orden de elución de los compuestos se estableció inyectando por separado disoluciones estándar de cada compuesto y, posteriormente, preparando una mezcla que los contenía a todos más al ISTD (figura 3). Los tiempos de retención absolutos ($Tr_{absoluto}$). Luego de cinco inyecciones consecutivas (tabla 2), mostraron una variabilidad entre 2,7 y 4,2%, que puede estar relacionada con el método de inyección manual utilizado en este trabajo. Sin embargo, al calcular los $Tr_{relativo}$ con respecto al ISTD (tabla 3), la variabilidad disminuye a un intervalo entre 0,2 y 1,5%, evidenciando la ventaja del uso del estándar interno para la localización de los picos, ya que de esta forma se elimina el efecto de la inyección manual. Para la identificación de los picos en muestras reales, se emplearon aquellas a las que se agregaron cantidades conocidas de los compuestos a fin de determinar los porcentajes de recuperación.

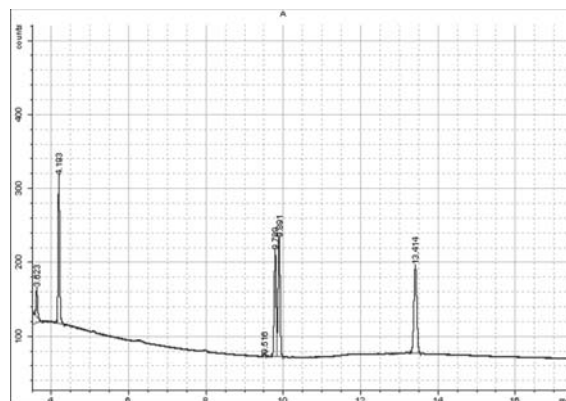


Figura 3. Cromatograma típico de los HAP presentes en el polvo de las calles. Condiciones: cromatógrafo de gases Agilent 4890. Columna capilar HP 5 (0,5 μ m de diámetro y 15 m de longitud). Nitrógeno como portador a un flujo de 3 mL min^{-1} .

Tabla 2

Estudio de precisión (repetibilidad) de inyecciones

Componente	$Tr_{Promedio} \pm S$
Estándar interno	3,754 \pm 0,158 (4,2%)
Naftaleno	4,347 \pm 0,177 (4,1%)
Fenantreno	10,023 \pm 0,268 (2,7%)
Antraceno	10,126 \pm 0,269 (2,7%)
Pireno	13,763 \pm 0,408 (3,0%)

Entre paréntesis Desviación estándar relativa (%RSD).

Tabla 3

Estudio de precisión (repetibilidad) de los tiempos de retención relativos

Componente	$Tr_{relativo\ promedio} \pm S$
Estándar interno	1,000
Naftaleno	1,158 \pm 0,002 (0,2%)
Fenantreno	2,671 \pm 0,041 (1,5%)
Antraceno	2,699 \pm 0,041 (1,5%)
Pireno	3,668 \pm 0,045 (1,2%)

Entre paréntesis Desviación estándar relativa (%RSD).

Determinación del porcentaje de recuperación

Los resultados (tabla 4) muestran que los factores de respuesta más bajos se observaron en los hidrocarburos fenantreno y antraceno, mientras que el pireno y el naftaleno exhibieron valores próximos a la unidad. Por otro lado, las curvas de calibración de cada compuesto se ajustaron adecuadamente a modelos lineales, con coeficientes de regresión significativos tal como se muestra en la tabla 5, donde se incluyen los límites de detección y cuantificación, siendo el pireno el compuesto con el límite de detección más bajo ($0,97 \mu\text{g g}^{-1}$) y el más alto el antraceno con un valor de $3,20 \mu\text{g g}^{-1}$.

En general, se observaron recuperaciones entre 80 y 108 % para el naftaleno, un poco menores para fenantreno (59,6 a 101%) y antraceno (61 a 103) (tabla 6), mientras que en el hidrocarburo de mayor número de anillos se alcanzó un intervalo de 59 a 91,7%. Estos resultados son semejantes a los señalados en la literatura para la extracción de HAP en suelos y sedimentos utilizando diferentes procedimientos y solventes. Por ejemplo, Gao y Zhu (9) obtuvieron recuperaciones de 95,6% y 91,3% para fenantreno y pireno extraídos de suelos utilizando diclorometano y ultrasonido. En otro trabajo se utilizó una mezcla de cloroformo y nhexano para la extracción de naftaleno, fenantreno, antraceno y pireno de sedimentos contaminados, obteniéndose recuperaciones de 57,8; 88,7; 67,6

Tabla 4
Factores de Respuesta (Fr)

Componente	Media \pm S
Estándar interno	1,000
Naftaleno	$0,953 \pm 0,055$
Fenantreno	$0,894 \pm 0,027$
Antraceno	$0,870 \pm 0,036$
Pireno	$0,971 \pm 0,073$

y 77,1% respectivamente (10). También se extrajo el 90% del pireno acumulado en muestras de suelos utilizando diclorometano y un equipo de Soxhlet (11). Con base en estos resultados que sugieren algún tipo de influencia por parte de la matriz y para evitar efecto de la inyección manual sobre los tiempos de retención, se procedió a realizar los cálculos de las concentraciones por medio del método del estándar interno en lugar de la calibración directa.

Determinación de los HAP en las muestras de polvo de la calle

Los niveles de los cuatro HAP en las muestras de polvo de calle oscilaron entre valores no cuantificables por el método analítico, hasta concentraciones de $695,45 \mu\text{g g}^{-1}$ en las muestras más contaminadas correspondientes a la zona del peaje de "Palo Negro" (tabla 7). Las muestras M3 y M4 a pesar de haber sido tomadas en una avenida

Tabla 5
Figuras de méritos del método cromatográfico empleado

Compuesto	Ecuación	R ²	Límite de Detección (LD)	Límite de Cuantificación (LC)
Naftaleno	A= 28,948C + 18,17	0,9998	1,66	5,53
Fenantreno	A= 27,600C + 13,73	0,9970	1,21	4,04
Antraceno	A= 27,328C + 6,67	0,9998	3,20	10,8
Pireno	A= 31,618C - 22,25	0,9999	0,97	3,23

C = concentración g mL^{-1}
LD y LC en ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Tabla 6
Porcentajes de recuperación de los compuestos aromáticos analizados

Muestra	Naftaleno ($\mu\text{g g}^{-1}$)		Fenantreno ($\mu\text{g g}^{-1}$)		Antraceno ($\mu\text{g g}^{-1}$)		Pireno ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
	Añadido	Encontrado	Añadido	Encontrado	Añadido	Encontrado	Añadido	Encontrado
1	6,00	4,92(82)	6,00	5,10(85)	20,0	17,8(89)	3,0	2,75(91,7)
2	10,0	10,8(108)	20,0	20,2(101)	20,0	20,6(103)	6,0	6,18(103)
3	6,0	6,12(102)	12,0	9,48(79)	10,0	8,40(84)	3,0	2,20(73,4)
4	12,0	12,12(101)	6,0	4,86(81)	15,0	12,5(83)	6,0	5,10(85)
5	2,5	2,00(80)	2,5	1,49(59,6)	5,00	3,05(61)	3,0	1,77(59)

Entre paréntesis el porcentaje de recuperación.

Tabla 7
Concentración de HAP ($\mu\text{g g}^{-1}$) en muestras de polvo de calle

Muestra	Naftaleno	Fenantreno	Antraceno	Pireno	Sumatoria
M-1(Ave. José Casanova)	< LD	< LD	< LD	23,3	23,3
M-2(Ave. José Casanova)	< LD	< LD	< LD	17,96	17,96
M-3 (Ave. Las Delicias)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
M-4 (Ave. Las Delicias)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
M-5(Centro de la ciudad)	< LD	< LD	< LD	19,62	19,62
M-6(Centro de la ciudad)	< LD	< LD	< LD	34,61	34,61
M-7(Centro de la ciudad)	< LD	< LD	< LD	9,93	9,93
M-8 (Ave. Aragua)	4,45	< LD	< LD	10,22	14,67
M-9 (Ave. Aragua)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
M1AA (Ave. Aragua)	< LD	12,71	8,48	7,35	28,54
M2AA (Ave. Aragua)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
M1FA (Ave. Fuerzas Aéreas)	6,8	13,47	5,11	83,37	108,75
M2FA (Ave. Fuerzas Aéreas)	< LD	< LD	< LD	57,32	57,32
Promedio de la zona	0,83	2,53	2,40	20,43	26,07
M-11 (Terminal de Pasajeros)	< LD	13,29	14,67	6,8	34,76
M-12 (Terminal de Pasajeros)	< LD	< LD	27,56	42,28	69,84
M-13 (Terminal de Pasajeros)	3,36	12,48	9,06	59,57	84,47
M-14 (Terminal de Pasajeros)	< LD	12,85	11,85	33,89	58,59
Promedio de la zona	1,46	9,81	15,79	35,64	62,69
MP1 (Peaje)	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
MP2 (Peaje)	19,49	111,14	547,36	17,49	695,48
MP3 (Peaje)	< LD	< LD	< LD	68,12	68,12
MP4 (Peaje)	5,99	34,15	168,2	43,7	252,04
MP5 (Peaje)	< LD	2,58	22,53	12,08	37,19
Promedio de la zona	5,59	29,82	148,26	28,38	212,05
Promedio general	2,15	10,06	37,98	25,00	74,99

< LD : Por debajo del límite de detección.

de alta circulación, no presentaron niveles apreciables de los contaminantes. Sin embargo, las muestras M1 y M2, localizadas en la Ave. "Casanova", presentaron concentraciones de pireno de 23,30 y 17,96 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente, siendo este HAP el único compuesto cuantificable.

Una situación semejante se observó en las muestras M5, M6 y M7, que correspondían al casco central de la ciudad, donde solamente estuvo presente el pireno en concentraciones de 19,62; 34,61 y 9,93 $\mu\text{g g}^{-1}$. El naftaleno estuvo presente solamente en la muestra M8. Estos resultados sugieren una preferencia en la formación de HAP de más de 3 anillos, mientras que los compuestos como fenantreno y antraceno parecieran formarse en bajas proporciones o constituyen la materia prima para obtener productos más complejos.

En las muestras tomadas en el área del Terminal Central (M11 a M14) se detectó la presencia de todos los hidrocarburos evaluados. El pireno representó más del 50% en promedio de los cuatro HAP, coincidiendo con la tendencia a producir hidrocarburos policíclicos más complejos. De las dos muestras tomadas en la avenida "Aragua", solamente el punto M1AA, cercano a la intersección con la avenida "Fuerzas Aéreas", presentó niveles altos de HAP con un total de 28 $\mu\text{g g}^{-1}$, y una proporción menor de pireno con respecto a antraceno y fenantreno. El nivel de contaminación de la Avenida "Fuerzas Aéreas" se ve reflejado en las muestras M1FA y M2FA con concentraciones totales de 108,75 y 57,32 $\mu\text{g g}^{-1}$, que son tan altas como las señaladas para el Terminal Central, donde también predominó el pireno. Esta avenida es muy transitada ya que comunica las zonas norte y sur de la ciudad y es, al mismo tiempo, la ruta que deben seguir los vehículos que salen desde el Terminal Central.

El impacto del tránsito de vehículos a gasolina y diesel se ve claramente reflejado

en los sitios de muestreo del área del peaje "Palo Negro", donde las concentraciones totales son las más elevadas, como en el caso del punto de muestreo MP1 (695,48 $\mu\text{g g}^{-1}$) y MP4 (252,04 $\mu\text{g g}^{-1}$). Asimismo, los promedios más elevados fueron obtenidos en esta área de muestreo, principalmente en el caso del antraceno, aunque el pireno exhibió un promedio inferior que en el caso del área correspondiente al terminal de autobuses.

En general se puede indicar la presencia de sitios de muestreo en los cuales las concentraciones de uno o varios HAP son más altas que los valores reportados en la literatura para áreas urbanas (12). Por ejemplo, los suelos varias ciudades de China (13-15) tienen concentraciones totales de HAP entre 0,84 y 12,3 $\mu\text{g g}^{-1}$; mientras que para la ciudad de Bangkok, se señala un intervalo de 12 a 380 $\mu\text{g g}^{-1}$ (16). En suelos urbanos de Nueva Orleans los niveles de naftaleno, fenantreno, antraceno y pireno fueron respectivamente 10, 36, 4 y 56 $\mu\text{g kg}^{-1}$ que representan concentraciones 1000 veces inferiores a las determinadas en el presente estudio (17).

La tabla 8, muestra los valores establecidos en algunos estándares internacionales que regulan los límites máximos aceptables para suelos de distintos usos. Se observa que en aquellos sitios donde se detectó la presencia de naftaleno, la concentración superó los valores de referencia para suelos con fines agrícolas, residenciales o comerciales de acuerdo a la legislación de Ontario en Canadá. No obstante, se superan en todos los casos el valor máximo aceptable de acuerdo a las normas del Consejo de Ministros de Medioambiente de Canadá. En los casos del fenantreno, antraceno y pireno los resultados son inferiores a los valores máximos aceptables, aunque con algunas excepciones en las muestras tomadas en la zona del peaje, como por ejemplo las muestras MP1 y MP4 donde se superan los niveles para el antraceno.

Tabla 8
Algunos estándares medioambientales para HAP en suelos ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Compuesto	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Naftaleno	4,6	4,6	4,6	22	22	0,6
Fenantreno	40	40	40	50	50	5
Antraceno	28	28	28	-	-	-
Pireno	250	250	250	100	100	100

1. Ontario suelo para uso agrícola
 2. Ontario suelo para uso residencial o recreacional
 3. Ontario suelo para uso industrial o comercial.
 4. Suelos para uso comercial según el Canadian Council of Ministers of the Environment.
 5. Suelos para uso industrial según el Canadian Council of Ministers of the Environment.
 6. Suelos para uso residencial según el Canadian Council of Ministers of the Environment
- Fuente: Nadal y col. (11).

Es posible establecer el origen de los HAP a través de la relación fenantreno/antraceno y así deducir si tienen un origen pirogénico, como durante la combustión de la gasolina, diesel, quema de madera, etc. o si por el contrario provienen de derrames de aceites lubricantes u otros derivados usados en los vehículos.

Las relaciones fenantreno/antraceno calculadas en las muestras donde se obtuvieron concentraciones cuantificables, mostraron valores inferiores a 10 (tabla 9), lo cual indicaría un origen pirogénico (18-20), donde la cinética de la reacción favorece la producción de antraceno. Este origen pirogénico también incluye a los HAP formados durante la combustión de la madera, como en el caso de los incendios de vegetación que es muy común en las zonas cercanas a la ciudad, sobre todo en la época previa a la siembra cuando la quema es una práctica muy utilizada por los agricultores de caña de azúcar para la preparación del suelo.

Conclusiones

En algunos sitios de la ciudad de Maracay, los niveles de los hidrocarburos estudiados son lo suficientemente elevados para alertar ante la posibilidad de una alta exposición de las personas que habitan o trabajan en

Tabla 9
Relaciones fenantreno/antraceno y origen de los HAP

Muestra	Fen/Ant	Origen
M-11	0,9	Pirogénico
M-13	1,4	Pirogénico
M-14	1,1	Pirogénico
M1AA	1,5	Pirogénico
M1FA	2,6	Pirogénico
MP2	0,2	Pirogénico
MP4	0,2	Pirogénico
MP5	0,1	Pirogénico

esos sitios; como el caso de los funcionarios de seguridad y tránsito que ejercen sus funciones en las zonas adyacentes al peaje de "Palo Negro", lo cual podría ser perjudicial para la salud. Lo mismo ocurre con los trabajadores, usuarios y demás personas que habitan en la zona del Terminal Central, sobre todo porque este Terminal se encuentra rodeado de barrios y urbanizaciones.

Es necesario complementar estos estudios con investigaciones de especialistas en salud pública a fin de estimar el impacto real que la contaminación haya podido tener sobre la salud de la población.

Referencias bibliográficas

1. JACOB J. *Pure & Appl Chem* 68: 301-305, 1996.
2. LORENZI D., ENTWISTLE J.A., CAVE M., DEAN, J. *Chemosphere* 83, 970-972, 2011.
3. GFRERER M., SERSCHEN M., LANKMAYR E. *J Biochem Bioph Meth* 53, 203-207, 2002.
4. NIOSH *Manual of Analytical Methods (NMAM)*. Fourth Edition, Method 5515, 1994.
5. SONG Y.F., JING X., FLEISCHMANN S., WILKE B.M. *Chemosphere* 48, 993-997, 2002.
6. HUTZLER C., LUCH A., FILSER J. *Anal Chim Acta* 702, 218 – 224, 2011.
7. MAC. NAIR H., BONELLI E.J. *Basic Gas Chromatography*. Varian. Consolidated Printers Oakland (USA). 25-86 248. 1967.
8. CORLEY J. *Handbook of Residue Analytical Methods for Agrochemicals*. John Wiley and Sons. Chichester (UK). 12-15. 2002.
9. GAO Y., ZHU Y.L. *Chemosphere* 55,1169-1173, 2004.
10. DE LUCCA G., FURESI A., MICERA G., PANZANELLY A., PIU, P.C., PILO M.I., SPANO N., SANNA, G. *Mar Pollut Bull* 50, 1223-1227, 2005.
11. NADAL M., SCHUHMACHER, H., DOMINGO J.L. *Environ Pollut* 132-134 2004.
12. LEE B., DONG, T. *J Hazar Mater* 175, 540 – 550, 2010.
13. WANG W., HUANG M., KANG Y., WANG, H., LEUNG A., CHUNG K, WONG M. *Sci Total Environ* 409, 4519 – 4527, 2011.
14. LIU Y., CHENG L., ZHAO J., WEI Y., PAN Z., MENG X., HUANG Q., LI W. *Org Geochem* 41, 355 - 362, 2010.
15. YAN L., LI X., WANG X., DU J., MA L. *J Environ Sci* 24, 116 – 123, 2012.
16. MIELCKE H.W., WANG G., GONZÁLEZ C.R., LE, B., QUACH V.N., MIELKE, P.W. *Sci Total Environ* 281, 217-219, 2001.
17. WILCKE S., MULLER S., KANCHANAKOOL N., NIAMSKUL, CH., ZECH, W. *Geoderma* 91, 197-201,1999.
18. BAUMARD P., BUDZINSKI M., MICHON Q., GARRIGUEZ P., BURGEOT T., BELLOEQ J. *Estuar Coast Shelf Sci* 47, 77-81, 1998.
19. OLIVEIRA C., MARTINS N., TAVARES J., PIO C., CERQUEIRA M., MATOS M., SILVA H., OLIVEIRA C., CAMOES F. *Chemosphere* 83, 1588-1596, 2011.
20. MARTUCEVICIUS D., KLIUCININKAS L., PRASAUSKAS T., KRUGLY E., KAUNELIENE V., STRANDBERG B. *Atmos Environ* 45, 310- 317, 2011.