

## **CONCENTRACIÓN DE HAPS EN MATERIAL PARTICULADO EMITIDO POR COMBUSTIÓN DE DIÉSEL Y BIODIÉSEL B15**

Nestor Y. Rojas<sup>1\*</sup>, Harvey Andrés Milquez Sanabria<sup>1</sup>, Hugo Sarmiento<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental.  
Carrera 30 No. 45 – 03.

<sup>2</sup>Universidad de la Salle. Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Cra. 5 No.  
59A-44.

\*Tel (571)316500 ext. 14053, [nyrojasr@unal.edu.co](mailto:nyrojasr@unal.edu.co)

### **RESUMEN**

Se determinaron 16 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), asociados al material particulado emitido por un motor Diésel alimentado con Diésel (D) y con una mezcla de Biodiésel / Diésel al 15% v/v (B15). El material particulado fue muestreado en estado estacionario y los HAP fueron extraídos con la técnica Soxhlet con diclorometano como solvente. Los extractos fueron analizados mediante cromatografía de gases (GC) con detección de ionización de flama (FID).

No existe diferencia en la masa de material particulado entre D y B15. Diez HAP no presentan diferencias en la concentración con la adición del biocombustible: Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Criseno, Dibenzo(ah)antraceno, Fluoranteno, Flureno, Indeno(1,2,3 - cd)pireno, Naftaleno y Fenantreno.

Acenapteno, Acenaptileno y Antraceno presentaron mayores concentraciones cuando se utiliza Diésel, entre el 45 – 80%. Al igual, Benzo(k)Fluoranteno, Benzo(ghi)Perileno y Pireno presentaron mayores concentraciones cuando se adiciona Biodiésel, entre 30 – 72%. En general, aun cuando existe mayor concentración de HAPs cuando se utiliza Biodiésel, no se encontró diferencia en la concentración tóxica equivalente (BaP<sub>eq</sub>) entre los dos combustibles empleados.

**Los autores prefieren la presentación oral.**

## **1. Introducción**

La adición de Biodiésel al Diésel de petróleo se ha postulado como una de las formas de reducir los impactos que se han asociado con las emisiones producidas por el Diésel, entre ellos su toxicidad y su potencial para ocasionar daños al ADN. Dados los incentivos creados por el Gobierno Nacional para promover la adición de Biodiésel de aceite de palma hasta en un 10% [1], se necesitan evidencias claras que permitan establecer cuáles emisiones y efectos puede esperarse que sean reducidos al hacer efectiva dicha adición. Sin embargo, bajo la misma reglamentación, el gobierno colombiano evaluará la posibilidad del uso de hasta una mezcla de 20% de Biodiésel. A razón de esto, en presente trabajo se propuso estudiar el efecto que la adición de Biodiésel al 15% podría tener sobre las emisiones de 16 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) prioritarios, al ser estos compuestos de gran interés por su toxicidad y mutagenicidad.

Según diversos investigadores, una significativa proporción de la morbilidad y mortalidad en niños se atribuye a la contaminación del aire [2]. De la misma manera, el aumento en los niveles de contaminantes ambientales se ha asociado con problemas en el embarazo y en el desarrollo del individuo, los cuales incluyen nacimiento prematuro, bajo peso del recién nacido, retraso en el crecimiento intrauterino [3], tamaño anormal y circunferencia anormal de la cabeza del recién nacido [4]. En ratones de laboratorio se sugiere que la exposición prenatal a emisiones de escape de motores Diésel genera una reducción en la movilidad y una disminución significativa de los niveles de dopamina y además, aumento en niveles de episodios de asma debido al estrés oxidativo generado en las células por el material particulado del aire, especialmente el encontrado en las partículas emitidas por motores Diésel [5].

Las emisiones gaseosas de motores son una de las mayores fuentes antropogénicas de polución del aire y contribuyen en el deterioro de la calidad del aire urbano. Aún cuando los motores de compresión producen menor cantidad de emisiones que los de chispa, producen mayor cantidad de material particulado, que según diversos autores, está asociado con contaminantes tóxicos, como los HAPs [6-7], los cuales son considerados como posiblemente mutagénicos o tóxicos para los seres vivos [8].

Las concentraciones de material particulado y de los HAPs son función del motor del vehículo, el tipo de combustible utilizado, las condiciones de mantenimiento, la relación aire combustible y las prácticas de conducción [8-11]. Si el motor no está sometido a un correcto y adecuado mantenimiento, es muy probable que se produzca un incremento en las emisiones y en el consumo de combustible [6, 12]. De la misma manera, las emisiones de HAPs dependen del tipo de aceite utilizado, (aceite de canola, palma, soya, girasol, etc...), y del alcohol empleado, (metanol, etanol), en el proceso de transesterificación [13].

En 2004, Baldassarri et al., [14], estudiaron las características químicas y de mutagenicidad para las emisiones de motores Diésel, alimentados con Diésel y Biodiésel de aceite de colza al 20%, con un motor turbocargado tipo EURO II. No observaron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de hidrocarburos totales, monóxido de carbono, NO<sub>x</sub>, material particulado y la fracción orgánica soluble del material particulado. Además, afirmaron que no se presentan diferencias estadísticamente significativas en las pruebas de mutagenicidad para diferentes contenidos de Biodiésel.

Machado et al., en 2006 [15], investigaron el efecto de la adición de Biodiésel de aceite de ricino, sobre el perfil de emisiones de Hidrocarburos Aromáticos Monocíclicos (HAMs) y HAPs. Las pruebas fueron realizadas utilizando un motor de alta carga de seis cilindros en condiciones de estado estacionario con una velocidad de 1500 rpm. Se identificaron diez HAPs y ocho HAMs. La reducción promedio de emisión de HAMs fue de 4,2% para la mezcla B2 (2 % en volumen de Biodiésel), 8,2% para B5 y 21,2% para B20; la reducción promedio de HAPs fue 2,7% para B2, 6,3% para B5 y 17,2% para B20. Con estos resultados, Machado concluye que el impacto del Biodiésel en la cantidad total de HAPs y HAMs es benéfico, basado en la reducción promedio cuando se adiciona el Biodiésel al Diésel convencional de petróleo.

Yang et al., en 2007 [16], examinaron las emisiones resultantes del uso del Biodiésel en un estudio de 80.000 km de duración efectuado en dos motores operados con Diésel y con una mezcla de 20% de Biodiésel (de aceites usados de cocina) y Diésel, respectivamente. Las emisiones de CO, HC, NO<sub>x</sub>, material particulado y HAPs fueron medidas cada 20000 km.

Para simular las condiciones de manejo en condiciones realistas, las mediciones de las emisiones fueron hechas de acuerdo con la guía de ciclo transitorio de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (*US EPA, por sus siglas en inglés*). Los resultados de este estudio muestran que el uso de B20 puede reducir las emisiones de HAPs y con ello, la potencia carcinogénica de las emisiones.

Lin et al., en 2008 [17], compararon la emisión de los 16 HAPs prioritarios por la combustión de diferentes mezclas de Biodiésel de aceite de palma con Diésel y el efecto que tiene sobre los diámetros aerodinámicos del material particulado generado usando un motor Mitsubishi 6D14. La prueba fue llevada a cabo en estado estacionario a 75% de la potencia máxima, utilizando Diésel (B0), y mezclas B10, B15, B20, B25 y B30. Observaron una disminución de la cantidad de HAPs generados a medida que se incrementa la concentración de Biodiésel.

En Bogotá, se estableció en 2005 que existen más de 50000 vehículos que utilizan motores Diésel, entre camiones, buses y camionetas [18]. Además, el gobierno Colombiano ha venido implementando un conjunto de instrumentos de política orientados a la promoción de los biocombustibles a través del Plan Nacional de Desarrollo (PND), del establecimiento de un marco normativo y del desarrollo de incentivos tributarios y financieros. Así mismo, el Gobierno Nacional cuenta con lineamientos de política en sectores tales como la agricultura, la investigación y desarrollo, infraestructura y el medio ambiente, que inciden en el desarrollo de los biocombustibles. Adicionalmente el PND dispone que el Ministerio de Minas y Energía (MME) deba adoptar las medidas necesarias para que en todo el país la gasolina contenga un 10% de alcohol carburante y el Diésel contenga un 5% de Biodiésel, y debe evaluar a conveniencia y viabilidad técnica de incrementar estos porcentajes [1].

En este contexto, el presente proyecto tuvo el propósito de determinar si la adición de Biodiésel de aceite de palma al Diésel de petróleo tiene el potencial de reducir la concentración de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), presentes en la fase de material particulado de las emisiones de gases de escape de motores Diésel y, en consecuencia, su toxicidad.

## **2. Materiales y Métodos**

### **2.1 Motor y condiciones experimentales**

Se utilizó un motor Cummins modelo C83 con inyección directa con una potencia nominal de 170 HP a 1800 rpm. No se utilizaron dispositivos para control de emisiones. Dicho motor no estaba acoplado a un dinamómetro, debido a esto las pruebas fueron realizadas con el motor en condiciones de estado estacionario a 2000 rpm.

Las pruebas fueron realizadas usando Diésel comercial distribuido en la ciudad de Bogotá (D) y con una mezcla de Diésel con metil éster de aceite de palma al 15% v/v, referido como Biodiésel 15 o B15.

### **2.2 Muestreo y análisis**

El material particulado (PM10) fue recolectado por filtración de una muestra de flujo parcial del gas de escape. Cada muestra fue obtenida a un flujo de  $25 \text{ L min}^{-1}$  durante 5 minutos sobre filtros de fibra de vidrio (Whatman, serie QM-A, PM10) previamente horneados a  $400^\circ\text{C}$  por 4 h para quemar cualquier impureza que pudiera estar presente sobre ellos. Antes y después del muestreo, los filtros fueron almacenados por 24 horas a condiciones de humedad y temperatura constantes antes de ser pesados en una balanza Sartorius BP 201d con precisión de cinco cifras significativas.

Se recolectaron treinta muestras del material particulado emitido usando Diésel y treinta muestras usando mezcla B15. Cada muestra se sometió a extracción Soxhlet utilizando diclorometano grado HPLC marca Merck® por un periodo de 18 h. El extracto fue luego concentrado hasta 4 mL. El contenido de HAPs fue determinado por cromatografía de gases con detector de ionización de llama, FID (Thermo Finigan, modelo Trace GC Ultra), usando una columna capilar con un 5% de fenilmetilsilicona (DB-5 30 m x 0.32 mm I.D). Se utilizó división de flujo a  $250^\circ\text{C}$  para la inyección, hidrogeno ( $\text{H}_2$ ) como gas de arrastre y un aumento de temperatura desde  $80^\circ\text{C}$  hasta  $150^\circ\text{C}$  con incrementos de  $8^\circ\text{C/min}$ , seguido de incrementos sucesivos como sigue: hasta  $180^\circ\text{C}$  a  $3^\circ\text{C/min}$ , hasta  $230^\circ\text{C}$  a  $1.5^\circ\text{C/min}$ , hasta  $260^\circ\text{C}$  a  $1^\circ\text{C/min}$  y hasta  $310^\circ\text{C}$  a  $10^\circ\text{C/min}$ .

La identificación y cuantificación se basó en la calibración con un estándar comercial (RESTEK® 610 PAH mix). La misma columna y condiciones de análisis fueron utilizadas para generar la curva de calibración. Se realizaron 5 puntos de calibración en el rango entre 25 a 200 ng·mL<sup>-1</sup>. Además se analizaron blancos y los resultados indicaron que no se presentaba contaminación significativa. La recuperación de HAPs fue determinada mediante la adición al filtro de una solución hecha con un estándar comercial. Los resultados indicaron una recuperación superior al 90%.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Análisis Gravimétrico

En la tabla 1 se presenta el resultado del análisis de normalidad para las 2 poblaciones de 30 mediciones gravimétricas cada una, obtenidas con Diésel (D) y con la mezcla B15 (B15). Se encontró que ambas poblaciones se pueden representar por una curva de distribución normal a un nivel de confianza de 95%.

*Tabla 1. Análisis de normalidad poblaciones D (Diésel) y B15 (15% Biodiésel de aceite de palma).*

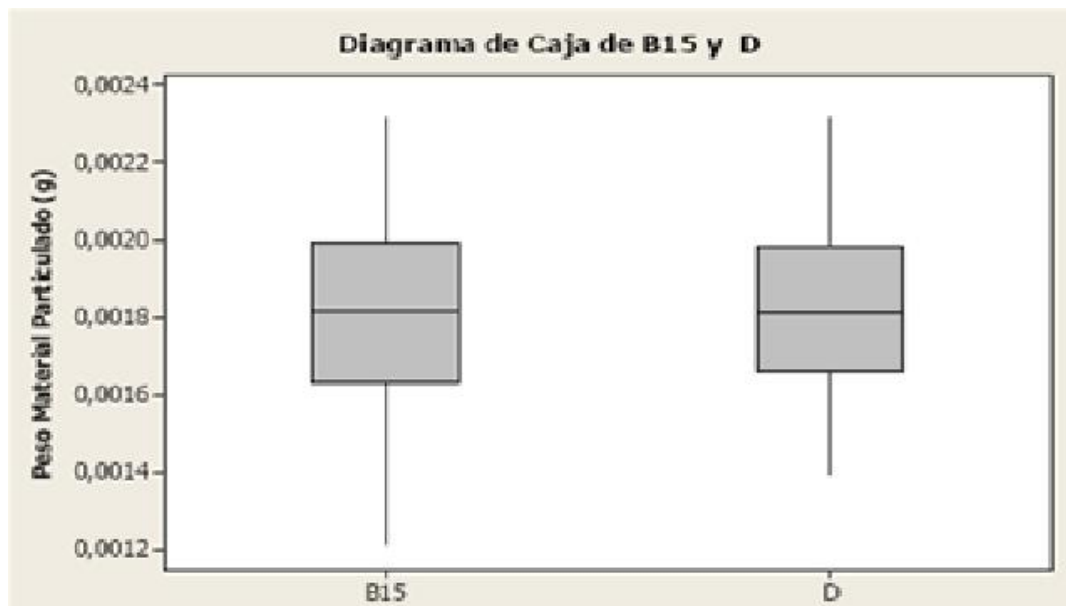
	D	B15
Media (mg)	1.82	1.80
$\sigma$ (mg)	0.22	0.27
P	0.97	0.99

Aplicando la prueba t de Student a los datos de masa de material particulado de las poblaciones D y B15, se afirma que la masa de material particulado de ambas poblaciones son iguales a un nivel del confianza del 95% (Figura 1). En consecuencia, puede decirse que la adición de 15% de Biodiésel de aceite de palma al Diésel no afectó la masa de material particulado emitido bajo las condiciones de operación de la prueba.

#### 3.2 Análisis Químico

La tabla 2 presenta los resultados de las concentraciones de los 16 HAPs prioritarios evaluados, además de su desviación estandar. Se observa que la concentración total de

HAPs (tomada como la suma de todos los 16 HAPs en la muestra de material particulado) fue un 30% mayor cuando se utiliza como combustible B15.



*Figura 1. Diagrama de caja para la prueba t de Student de las poblaciones D y B15*

Al igual que los análisis realizados para la masa de material particulado, se utilizó una prueba t de Student para verificar la diferencia de concentraciones de cada uno de los 16 HAPs prioritarios utilizando los combustibles D y B15. Los resultados se muestran en la Figura 2 al aplicar la prueba a un nivel de confianza de 95%.

Se observa que 10 de los 16 HAPs analizados no presentan cambios de concentración estadísticamente significativos al usar los dos combustibles, estos son: Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Criseno, Dibenzo(ah)antraceno, Fluoranteno, Flureno, Indeno(1,2,3 - cd)pireno, Naftaleno y Fenantreno. De los 6 HAPs restantes, Acenapteno, Acenaptileno y Antraceno presentan concentraciones entre 45% y 80% mayores cuando se utiliza Diésel como combustible. En contraste, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(ghi)perileno y Pireno presentan concentraciones entre 30% y 72% mayores cuando se utiliza la mezcla B15 como combustible.

Tabla 2. Concentración de los 16 HAPs prioritarios en D y B15

Nombre	Abreviatura	Concentración (pg/std m <sup>3</sup> )			
		D	$\sigma$	B15	$\sigma$
Naftaleno	NAP	6.41	7.47	4.14	1.93
Acenaftileno	ACY	2.14	2.55	0.52	0.29
Acenafteno	ACE	2.88	2.36	1.78	1.39
Flureno	FLU	0.85	0.55	0.68	0.38
Fenantreno	PHE	1.38	1.12	1.11	0.79
Antraceno	ANT	3.11	2.33	1.36	1.05
Fluoranteno	FLA	1.31	0.62	1.85	1.5
Pireno	PYR	9.82	9.01	34.8	21.9
Benzo(a)antraceno	B(A)A	2.23	1.29	1.75	1.05
Criseno	CRI	1.49	0.63	1.65	1.09
Benzo(b)fluoranteno	B(B)F	2.43	1.76	2.71	2.04
Benzo(k)fluoranteno	B(K)F	1.53	0.53	2.47	1.29
Benzo(a)pireno	B(A)P	2.13	1.03	1.75	1.05
Indeno(1,2,3 - cd)pireno	IND	4.09	2.54	5.18	3.11
Dibenzo(ah)antraceno	D(A)A	5.03	3.51	6.7	4.21
Benzo(ghi)perileno	B(GHI)P	3.19	2.14	4.7	2.38
Total		50.01		73.16	

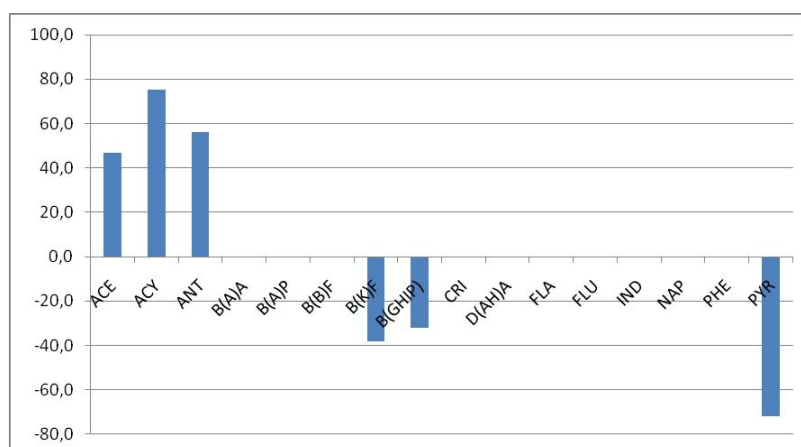
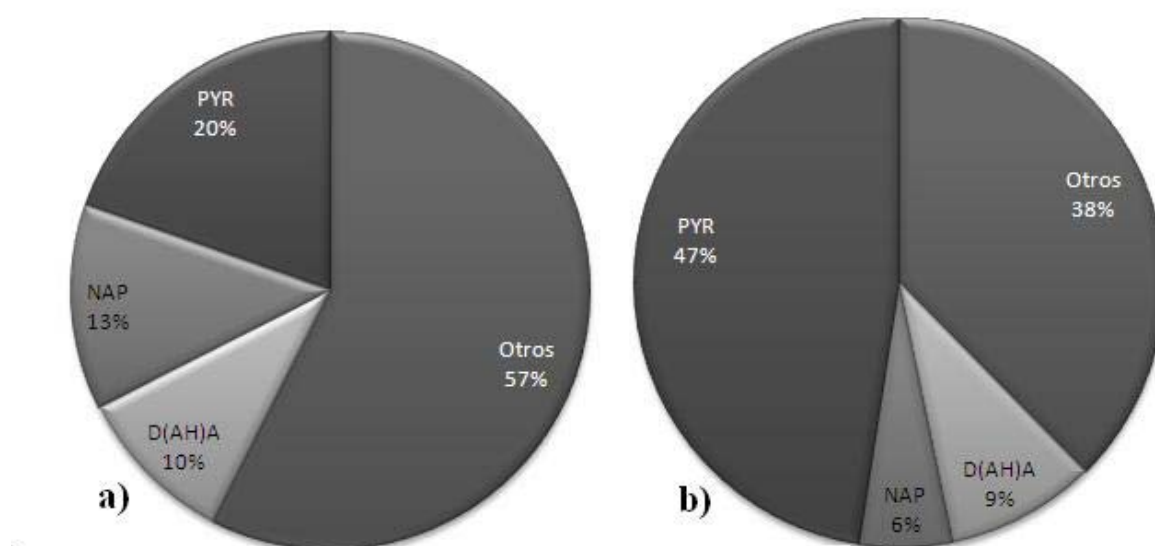


Figura 2. Porcentaje de variación en la concentración de los 16 HAPs con la modificación de los combustibles.



En la figura 3 se observa el aporte que hace cada uno de los 16 HAPs a la emisión total, tanto para el combustible D como para el combustible B15. Es de resaltar el aporte que realizan los componentes Pireno, Naftaleno y Dibenzo(ah)antraceno a la concentración total de HAPs presente en el material particulado, tanto para el combustible D como para B15. En el caso del combustible D, los componentes Pireno, Naftaleno y Dibenzo(ah)antraceno corresponden a cerca del 50% del total de la emisión. A cerca del combustible B15, los mismos componentes representan más del 60% del total de la emisión. Esto indica que estos componentes en particular son característicos de las emisiones de material particulado generado por motores Diésel, esta información concuerda con lo reportado por la Organización Mundial de la Salud, y específicamente con el informe del Programa Internacional en Seguridad Química [8].



*Figura 3. Diagrama de aporte de los HAPs a la emisión total.*

### 3.3 Análisis de Toxicidad

Una forma de evaluar la toxicidad y valorar el riesgo de una mezcla es relacionar estos con un mecanismo común de acción. El factor de equivalencia de toxicidad (FET) es una metodología desarrollada por la US EPA, cuyo objetivo es evaluar la toxicidad y el riesgo de diversas sustancias. El FET es un parámetro estimativo que relaciona la toxicidad de un

compuesto con un componente de referencia, que para el caso de HAPs es el Benzo (a) Pireno. El uso del factor de equivalencia de toxicidad para los HAPs es ampliamente aplicado en estudios la Agencia de Protección Ambiental de California y en estudios como los de Lin et al., [19]; Baldassarri et al., [14]; Angulo et al., [20] y de Abrantes et al., [11], entre otros. Mediante este factor se puede encontrar un estimado de la toxicidad generada por una fuente variable; esto es se encuentra una ponderación de que tan toxica es una emisión; a su vez, otra aplicación de esta metodología es verificar de que manera un tratamiento de remediación afecta el sistema estudiado. En la tabla 3, se presentan los resultados del cálculo de la concentración toxica equivalente (BaPeq) del material particulado emitido por los gases de combustión para los casos de uso de combustible Diésel y una mezcla Diésel – Biodiésel al 15% en volumen.

De la información consignada en la tabla 3, se puede establecer que, aun cuando la concentración total de HAPs cuando se utiliza la mezcla B15 es mayor que la concentración total de HAPs cuando se utiliza D, no existe gran diferencia entre la concentración toxica equivalente cuando se utiliza Diésel ( $BaPeq_{(D)}$ ) y la concentración toxica equivalente cuando se utiliza la mezcla B15 ( $BaPeq_{(B15)}$ ). Esto debido a que el componente que mayor aporte hace a la concentración total de HAPs cuando se utiliza B15 es Pireno, sin embargo, para la determinación de la concentración toxica equivalente, el factor de equivalencia de toxicidad de dicho componente es dos órdenes de magnitud menor que el del Benzo(a)Pireno.

De la misma forma que los resultados encontrados por Lin en 2006 [19], Angulo en 2007 [20], de Abrantes en 2009 [11], y Chen et al [21] se observa una leve disminución de la concentración toxica equivalente total al realizar la comparación entre la emisión generada utilizando Diésel y la emisión utilizando un 15% de Biodiésel.

*Tabla 3. Concentración Toxica Equivalente*

Componente	TEF (Factor de Equivalencia de Toxicidad)*	Concentración Toxica Equivalente Diésel (BaP <sub>D</sub> ) x 10 <sup>3</sup> ./ ng·stdm <sup>-3</sup>	Concentración Toxica Equivalente Biodiésel (BaP <sub>B15</sub> ) x 10 <sup>3</sup> ./ ng·stdm <sup>-3</sup>
ACE	0.001	0.00288	0.00178
ACY	0.001	0.00214	0.000522
ANT	0.01	0.0311	0.0136
B(A)A	0.1	0.223	0.175
B(A)P	1	2.13	1.75
B(B)F	0.1	0.243	0.271
B(K)F	0.1	0.1526	0.247
B(GHI)P	0.01	0.0319	0.047
CRI	0.01	0.01492	0.0165
D(AH)A	0.1	0.503	0.67
FLA	0.001	0.00131	0.00185
FLU	0.001	0.000844	0.000682
IND	0.1	0.409	0.518
NAP	0.001	0.00641	0.00414
PHE	0.001	0.00138	0.001112
PYR	0.001	0.00982	0.0348
Concentración Toxica Equivalente Total		3.763	3.753

\* Adaptado de Lin, 2008 [17].

Continuando con este análisis, se presenta una disminución cercana a tres órdenes de magnitud en la concentración toxica equivalente individual y total en los resultados encontrados en el presente trabajo, con trabajos similares como los de Lin et al., en 2006 [19], Angulo et al., en 2007 [20] y de Abrantes et al., en 2009 [11]. La principales razones de estas variaciones se pueden atribuir a la diferencia de motores utilizados, así como de combustibles y condiciones de experimentación y análisis. En especial, la carga aplicada al motor, según lo reportado por Tsai et al., en 2010 [22], afecta en gran manera la concentración toxica equivalente, aun cuando los resultados indican una gran variabilidad en cuanto a la adición de diferentes proporciones de Biodiésel de aceite de soya.

#### **4. Conclusiones**

De acuerdo a la evidencia encontrada en este estudio, la cantidad de material particulado emitido en la fase gaseosa de las emisiones de un motor Diésel típico operado en una condición estacionaria no presenta diferencia estadísticamente significativa cuando se utiliza como combustible Diésel y cuando se utiliza como combustible una mezcla Diésel – Biodiésel al 15% en volumen. De la misma manera, respecto a la concentración de 16 HAPs prioritarios, 10 no presentan diferencias estadísticamente significativas cuando se utiliza como combustible Diésel y una mezcla de Diésel – Biodiésel al 15% en volumen. Esto indica que la adición de un 15 % de Biodiésel al Diésel convencional no conlleva impactos en la cantidad ni calidad del material particulado emitido por los motores de combustión interna.

De los 6 HAPs que presentaron diferencias estadísticamente significativas, los componentes Acenapteno, Acenaptileno y Antraceno presentaron mayor concentración, en el material particulado emitido en la fase gaseosa de motores Diésel, cuando se utiliza como combustible Diésel. Los componentes Benzo(k)Fluoranteno, Benzo(ghi)Perileno y Pireno presentan mayor concentración, en el material particulado emitido en la fase gaseosa de motores Diésel, cuando se utilizo como combustible la mezcla Diésel- Biodiésel al 15% en volumen.

Se obtuvo mayor concentración de HAPs totales, es decir la suma de cada uno de los 16, cuando se utilizo como combustible la mezcla Diésel – Biodiésel al 15% en volumen. De los componentes analizados, tanto para el combustible Diésel como para la mezcla Diésel – Biodiésel al 15% en volumen, el que genera mayor concentración y por ende otorga mayor aporte a la concentración total de los HAPs es el Pireno.

Los componentes que mayor contribución realizan a la concentración total de HAPs en el material particulado cuando se utiliza Diésel son Pireno, Naftaleno y Dibenzo (a,h) antraceno. De la misma manera el componente que mayor aporte realiza a la concentración total de HAPs para el combustible B15 es el Pireno, por lo cual este componente se puede

utilizar como marcador de las emisiones de HAPs presentes en el material particulado emitido por motores de ciclo Diésel.

La concentración toxica equivalente (BePeq) del material particulado generado en los gases de combustión del motor Diésel cuando se utiliza Diésel resulto ser prácticamente igual a la obtenida cuando se utiliza como combustible la mezcla Diésel – Biodiésel al 15% en volumen.

De acuerdo con los resultados encontrados, las políticas gubernamentales enfocadas al desarrollo, diversificación y uso de biocombustibles a partir de aceite de palma no afectan de manera positiva la calidad del aire en las grades ciudades, evidenciándose esto en la similitud de concentración de HAPs y de concentración toxica equivalente. Es necesario ahondar en la investigación de los impactos globales, económicos, sociales, ambientales, etc., que tiene actualmente el uso de aceites comestibles para la producción de combustibles.

## **5. Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Vicerrectoria de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia por la financiación del proyecto mediante la convocatoria nacional de apoyo a programas de posgrados 2006.

Además también se hacen extensivos los agradecimientos a Merck Colombia por la donación de reactivos.

## **6. Referencias**

- [1] Departamento Nacional de Planeacion. Consejo Nacional de Politica Economica y Social (COMPES). 2008. Republica de Colombia. *Lineamientos de Politica para promover la Produccion Sostenible de Biocombustibles en Colombia*. Bogota, D.C.
- [2] I. Buka, S. Koranteng, A. Osornio – Vargas, *Paediatr Child Health*, 11, 516, (2006).
- [3] S. Liu, D. Krewski, Y. Shi, Y. Chen, R. Burnett, *Environ Health Perspect* 111, 1773, (2003).
- [4] W. Jedrychowski, I. Bendkowska, E. Flak, *Environ Health Perspect* 112, 1398, (2004).

- [5] N. Li, M. Hao, R. Phalen, W. Hinds, A. Nel, *Clinical Immunology*, 109, 250, (2003).
- [6] S. Machado, G. Arbilla, *Atmospheric Environment*, 42, 769, (2008).
- [7] J. Fenger, *Atmospheric Environment*, 43, 13, (2009).
- [8] IPCS., Diésel fuel and exhaust emissions. *Environmental Health Criteria*, 171, World Health Organization, Geneva. (1996).
- [9] P. Nelson, A. Tibbett, S. Day, *Atmospheric Environment*, 42, 5291, (2008).
- [10] C. Jones, A. Chughtai, B. Murugaverl, D. Smith, *Carbon*, 42, 2471, (2004).
- [11] R. de Abrantes, J. Assunção, C. Pesquero, R. Bruns, R. Nóbrega, *Atmospheric Environment*, 43, 648, (2009).
- [12] M. Maricq, *Aerosol Science* 38, 1079, (2007).
- [13] R. Ballesteros, J. Hernández, L. Lyons, *Atmospheric Environment*, 44, 930, (2010).
- [14] L. Baldassarri, C. Battistelli, L. Conti, R. Crebelli, B. De Bernardis, A. Iamicelli, M. Gambino, S. Iannaccone, *Science of the Total Environment*, 327, 147, (2004).
- [15] S. Machado, G. Arbilla, *Atmospheric Environment*, 40, 6821, (2006).
- [16] H. Yang, S. Chien, M. Lo, J. Lan, W. Lu, Y. Ku, *Atmospheric Environment*, 41, 7232, (2007).
- [17] Y. Lin, C. Tsai, C. Yang, C. Jim, T. Wu, G. Chang, *Atmospheric Environment*, 42, 6679, (2008).
- [18] M. Ibañez, *Evaluación y caracterización del parque automotor de transporte público y colectivo en Bogotá D.C y la confrontación con la flora necesaria para satisfacer la demanda actual de viajes en este modo*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogota – Colombia, (2005).
- [19] Y. Lin, W. Lee, H. Hou, *Atmospheric Environment*, 40, 3930, (2006).
- [20] J. Angulo, A. Navarro, *Análisis de la concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en el aire ambiente de la localidad de Puente Aranda y estimación del riesgo para la salud humana mediante monitoreo atmosférico*. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá – Colombia, (2007).
- [21] K. Chen, Y. Lin, L. Hsieh, L. Lin, C. Wu, *Energy*, 35, 2043, (2010).
- [22] J. Tsai, S. Chen, K. Huang, Y. Lin, W. Lee, C. Lin, W. Lin. *Journal of Hazardous Materials*, doi:10.1016/j.jhazmat.2010.02.085.