

Hidrocarburos alifáticos y aromáticos policíclicos respirables en aerosol atmosférico del sur de la Ciudad de México.

¹Sergio Rosales Ledezma , ²Gilberto Díaz González , ³Agustín Muhlia Velázquez . Amando Leyva Contreras³.

¹Unidad de Investigación Interdisciplinaria de la Ciencias de la Salud y Educación - UIICSE. FES Iztacala. UNAM. Av. de los Barrios No. 1 Los Reyes Iztacala. Tlalnepantla, Edo de Méx. Código Postal: 54090, correo electrónico: sergioro@unam.mx sergiorole@gmail.com . ²UAM Xochimilco, Calzada del Hueso No 1100. C.P: 04960. Col. Villa Quietud. México, DF. ³Instituto de Geofísica. Ciudad Universitaria. UNAM. C.P: 04510. D

RESUMEN

Con el presente estudio se determinaron y evaluaron los niveles de hidrocarburos alifáticos (del C9 al C34) e hidrocarburos aromáticos policíclicos del Naftaleno al Coroneno-familias de HAPs con número creciente en anillos aromáticos encontrados en el aerosol atmosférico, de acuerdo a su distribución de tamaño en las partículas finas respirables, las cuales fueron colectadas en muestreadores de alto volumen tipo cascada. Los hidrocarburos lineales colectados durante un año, presentaron concentraciones de aeropartículas colectadas que fluctuaron entre los 90,000 y 105,000 $\mu\text{g/g}$, se detectó la concentración para HAPs totales, que van desde 50,000 a 75,000 $\mu\text{g/g}$. En un 80 % las concentraciones de los hidrocarburos presentan diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados permiten sugerir no sólo un marcador indicador de contaminación atmosférica sino varios marcadores considerando las evaluaciones de Criseno, Benzo (b) Fluoranteno, Benzo (a) Fluoranteno, Benzo (k) Fluoranteno, Benzo (a) antraceno y Benzo (a) Pireno.

Palabras clave: Hidrocarburos, alifáticos, aromáticos.

ABSTRACT

With this study were determined and evaluated levels (C9 to C34) Polycyclic aromatic hydrocarbons Naphthalene to coronene-families of PAHs with increasing number of aromatic rings found in the atmospheric aerosol according to their size distribution in fine respirable particles, which were collected at high volume samplers type waterfall. The linear hydrocarbons collected during one year, presented collected aero particles concentrations in a ranging between 90,000 and 105,000 mg/g , the total PAH concentration was found in a ranging that goes from 50.000 to 75.000 mg/g In an 80% the concentrations of hydrocarbons presents significant differences between treatments. The results suggest not only a marker of air pollution indicator but several markers considering the evaluations of chrysene, benzo (b) fluoranthene, benzo (a) fluoranthene, benzo (k) fluoranthene, benzo (a) anthracene and benzo (a) pyrene .

Keywords: Hydrocarbons, aliphatic, aromatic.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de México se emiten anualmente a la atmósfera alrededor de 4,500 000 toneladas de contaminantes a la atmósfera, lo cual representa, a su vez, la generación de un gran número de problemas, que van desde el aumento de enfermedades, principalmente respiratorias, hasta el gasto de sumas millonarias para la investigación en tecnologías capaces de disminuir en alguna medida la producción y/o la emisión de estas sustancias contaminantes (INE, 1994, 1997). Aparte del ozono que es un contaminante atmosférico formado por reacciones fotoquímicas también hay polvo, gases tóxicos, diminutas partículas conocidas como partículas finas, las llamadas PM10 o partículas suspendidas menores de 10 μm de diámetro (respirables) que nacen o se forman por tolvaneras incendios, deforestación o por procesos de condensación dando lugar a los aerosoles y contaminando el aire que respiramos (Galindo, 1990; Bravo, 1987, 2000). Desde nuestros primeros antepasados que se reunían alrededor del fuego, los humanos desde entonces han estado emitiendo partículas finas al aire. Sólo recientemente los científicos han notado que las partículas finas son tan pequeñas que pueden fácilmente inhalarse y éstas alcanzar las profundidades de nuestros pulmones causando serios desórdenes en el sistema respiratorio. Las partículas finas también reducen la visibilidad y disminuyen la incidencia de los rayos solares. (Muhlia 1998),

Las partículas finas son sólidos y líquidos diminutos que tienen muchas formas y tamaños, y de muchas fuentes diferentes. Son también llamadas material particulado o PM (partículas micrométricas). Algunas partículas son de 10 micrómetros de tamaño o de menor diámetro (PM10). Un micrómetro es una millonésima de un metro. Las PM10 son un poco mayores que las bacterias, al igual que las bacterias las PM10 son invisibles al ojo humano (a simple vista) y lo bastante pequeñas para ser respirables y llegar hasta lo más profundo de nuestros pulmones. No todas las PM10 son creadas del mismo tamaño. Algunas pueden ser muy pequeñas, aproximadamente de 0.1 a 0.2 micrómetros de diámetro, como las que se pueden encontrar en las descargas y escape del automóvil o emisiones de chimeneas. Se puede incluir también las de mayor tamaño, unas 10 veces más que las anteriores, que se pueden encontrar en la brisa del mar o polvo originado del asfalto de los caminos.

Como se observan en los resultados de este trabajo, el contenido y concentración de Hidrocarburos Alifáticos y Aromáticos Policíclicos (HAP), se incrementa de manera sustancial en las fracciones más pequeñas de 2.5 micrómetros o de menores dimensiones, que son las de mayor riesgo para la salud de los habitantes de esta ciudad. (Rosales, 2004). El material particulado fino (PM 2.5 y partículas menores) pueden permanecer en el aire durante días a semanas. Este material puede

depositarse hasta los alvéolos pulmonares, donde el oxígeno entra en contacto con el torrente sanguíneo. Como resultado, ellas pueden causar dificultades respiratorias y a veces el daño permanente a nuestros pulmones.

Se han encontrado varias sustancias potencialmente dañinas en las PM_{2.5}, como sulfatos producto de las emisiones de dióxido de azufre, estos llegan a ser ácidos en la naturaleza atmosférica, y pueden reaccionar directamente con nuestros pulmones. Durante la combustión de la madera son producidas partículas de carbón (hollín) y los motores de combustión interna y externa pueden producir químicos por pirolisis y propiciar la formación de productos carcinogénicos entre ellos.

Un HAP como el benzo(a)pireno puede estar confinado en las partículas respirables, y éstas permitir que el hidrocarburo alcance nuestros pulmones. Cientos de compuestos orgánicos además del benzo(a)pireno se han identificado en las descargas a través de los escapes de los vehículos en los procesos de combustión e incluso en las operaciones de la cocción de la carne. (Davis *et al.* 1987; Clement International Corporation under Contract No. 205-88-0608, 1994). Estos compuestos son atrapados por las partículas suspendidas (algunas respirables) y por tanto también pueden causar daños respiratorios. Además varios estudios han demostrado trazas de metales tóxicos como plomo, cadmio y níquel que llegan a encontrarse en mayor concentración en la fracción PM_{2.5} en comparación con el material de

mayor tamaño PM₁₀. (Quadri *et al.* 1994).

Este material particulado tiene la capacidad de reflejar absorber y dispersar la luz, (scatter) en todas direcciones. El efecto neto es que estas partículas pueden bloquear la vista y pueden hacer difícil el disfrutar de los paisajes o incluso disminuir la visibilidad para viajar por tierra o aire. (Muhlia, 1998). La fracción con más efectos en la dispersión son aquellas cuyo tamaño fluctúa aproximadamente entre 0.1-2.0 micrómetros y están en el rango de la longitud de onda de la luz visible. Esto las hace perfectas para interferir o dispersar la luz, lo que significa que uno no puede ver más lejos de 10 a 20 Km. (Muhlia, 1998). Entre los componentes orgánicos presentes en las partículas finas suspendidas en nuestra atmósfera, los hidrocarburos saturados y aromáticos policíclicos tienen una importancia importante para su estudio, evaluación y determinación de sus niveles de contaminación. Sabiendo que se pueden encontrar absorbidos y adsorbidos en las PM₁₀, en las PM_{2.5} y aun peor en las partículas menores de 2.5 μm , lo cual es un riesgo potencial para la salud humana, por su formación en diferentes reacciones fotoquímicas (Daysey 1980; Kasahara *et al.* 1985; Stanley, 1998) y por su carácter mutagénico y/o carcinogénico. (Barale *et al.*, 1994; Clement International Corporation Under Contract No. 205-88-0608, 1994; Motykiewicz *et al.*, 1995). Además su presencia nos da un trazador de la fuente de origen y generalmente su detección va asociada a la de otros contaminantes como el O₃, y aún más

los hidrocarburos no cuentan con una norma de calidad del aire (Bravo *et al*, 1987; Gutierrez *et al* 1997; Normas Oficiales Mexicanas (http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/es_tadisticas_2000)).

La ciudad de México se caracteriza por presentar importantes núcleos con gran densidad vehicular que utiliza motores de combustión interna, además, contaminan afectando la salud humana, así como el ambiente en que vivimos. Lo anterior constituye un gran problema para la salud de los habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), y cuya solución ha tenido grandes atrasos. Lo peor es que no se han aplicado medidas de mitigación rigurosas. (Bravo, 1987). Es de llamar la atención en el contexto anterior, que no se ha evidenciado el interés por estudiar la asociación de contaminantes, que significan riesgos para la salud como lo son los HAPs en las partículas suspendidas finas que son respirables, lo cual no permite que tengamos mejores condiciones para tener un aire más limpio, y con un buen programa de evaluaciones atmosféricas podremos proponer medidas que mitiguen estos efectos. Razones por la que se realizó el presente trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de muestreo está localizada en la parte Sur de la Ciudad de México, dentro de Ciudad Universitaria (Fig. 1), siendo importante el hacer notar que desde la zona Norte de la ciudad hay predominancia de vientos en dirección Sur (Sedue, 1986., INEGI, 1992).

Las aeropartículas respirables fueron colectadas en muestreadores de alto volumen tipo cascada Andersen-Sierra Instruments. Inc. (Bulletin No. 678-230, 1975).

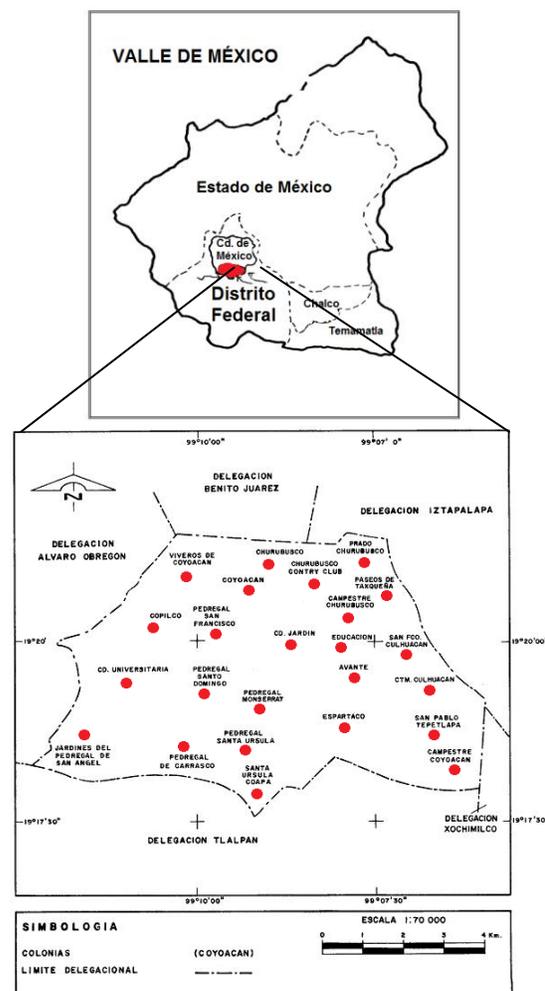


Figura 1. Ubicación del sitio de estudio.

El muestreo de las partículas atmosféricas se hizo quincenalmente durante un año con una duración de tiempo de muestreo de 24 horas; para lo cual se utilizó un colector o muestreador de gran volumen de aire Hi-vol- (High Volume Cascade Impactor Series 230 - Sierra Instruments-Inc.) de 5 pasos. Los 5 pasos o etapas del colector

comprometen la habilidad de fraccionar las partículas impactadas y simulan al sistema respiratorio humano.

El procedimiento analítico para la extracción y purificación de las fracciones de hidrocarburos fue el recomendado por el Caripol IOCARBIBE Manual (1986); Intergovernmental Gas Chromatographic Analysis in Air Pollution, (1983); Davis *et al.* (1987); Environmental Applications of Gas Chromatography (1995); Alltech (2000,2001) y Nicol *et al.* (2001). (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1998RG000045/epdf>).

Las fracciones de hidrocarburos alifáticos (F1) y aromáticos (F2), se analizaron por cromatografía de gases de alta resolución. La identificación y cuantificación de los componentes orgánicos se realizó comparando los tiempos de retención y el área bajo la curva de cada problema contra estándares externos e internos. En el proceso se usó una columna capilar de 5% difenil-95% dimetil polixiloxano (30 m. de long. X 0.25 mm. di. X 0.25 μ m. de grosor de película), en un equipo Hewlett Packard Mod. 5890 Series II, con un detector de ionización de flama. Se utilizó helio como gas acarreador y nitrógeno como gas auxiliar. El modo de inyección fue con una técnica de splitless.

Se aplicó una análisis de varianza de Fisher de un factor (una variable de clasificación), en el diseño de bloques aleatorios completos (No. de Paso o Nivel del Colector tipo Hi-Vol); de dos factores en el diseño completamente aleatorio. (Todos los Hidrocarburos

tanto los lineales como los aromáticos tienen la misma probabilidad de caer en cualquier número

de Paso de cero nivel del Colector tipo Hi-Vol) y un análisis de correlación del momento producto de Pearson, para contar con un indicador del grado de intensidad o fuerza de la relación (asociación) entre las variables involucradas (Hidrocarburos Alifáticos, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y tamaño de partículas al ser seleccionadas o capturadas por el Colector tipo Hi-Vol con cinco Etapas o Pasos). Se utilizó el paquete estadístico Stat-Plus de Microsoft Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el total de hidrocarburos saturados registrados se tiene que el valor más elevado fue en el paso 1 con 104025 μ g/g y el más bajo se midió para el nivel 5 con 92480 μ g/g (tabla 1; fig. 2). En cuanto a los hidrocarburos aromáticos policíclicos se tiene que el valor más alto corresponde al paso 3 con 72579,4 μ g/g y el más bajo registrado fue en el paso 1 con 41561,9 μ g/g (tabla 2; fig. 3). La mayor concentración para los hidrocarburos alifáticos se registró en el paso No 1 (7.2-10 μ m) y la menor en el paso No 5 (0.45 – 0.95 μ m). (Tabla 3; fig. 4), observando un comportamiento diferente para los HAPs, registrando la mayor concentración en los pasos No 3 y 4 respectivamente y la menor concentración en el paso No.1. En estos resultados se presentan diferencias en relación a las concentración entre las etapas de muestreo (del colector tipo Hi-Vol que simula el tracto respiratorio humano).

Los hidrocarburos Alifáticos (Fracción- F1) y HAPs (Fracción- F2) que se encuentran absorbidos y adsorbidos en las partículas respirables de acuerdo al tamaño de partícula, fracciones colectadas desde 11-7.0 μm a 0.95-0.45 $\mu\text{m} \pm 0.05 \mu\text{m}$, son las que se consideran partículas finas respirables. Es importante recalcar que los hidrocarburos alifáticos y aromáticos policíclicos (recomendados y reconocidos por la EPA-Environmental Protection Agency, se encuentran no sólo en las partículas finas, conocidas como PM10 y PM2.5, sino también en hidrocarburos que están confinados en las partículas intermedias entre las PM10 y las PM2.5.

Aún más, los hidrocarburos alifáticos y aromáticos policíclicos están presentes en la fracción respirable menor a los 2.5 μm , cuyo tamaño de partícula de diámetro corresponde a la etapa de muestreo de 0.45 - 0.95- $\mu\text{m} \pm 0.05 \mu\text{m}$, y son las partículas finas y ultrafinas que llegan hasta los alvéolos pulmonares.

Al hacer un análisis de varianza de los hidrocarburos lineales y aromáticos totales para todos los muestreos quincenales por un período de un año, se observó que hay una notable diferencia significativa entre los meses del año; esto quiere decir, que durante un año de muestreo se presentaron variaciones atribuibles a las estaciones del año. (Ya sea primavera, verano, otoño o invierno, o a la estación de sequía o lluvias). (Rosales *et al*, 2004). Lo que es evidente para el factor (tamaño de distribución de partícula), se siguen presentando diferencias en

relación a las concentración entre las etapas de muestreo (del colector tipo Hi-Vol que simula el tracto respiratorio humano).

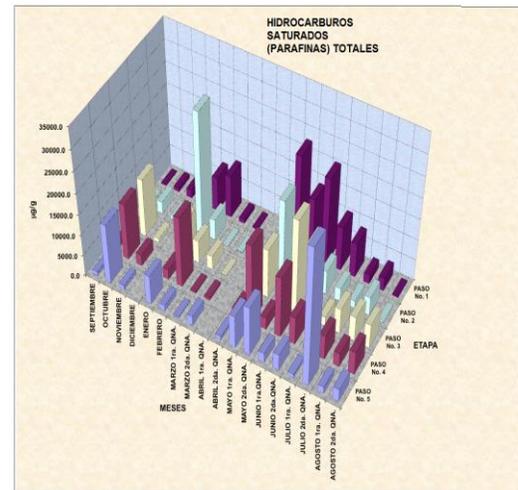


Figura 2. Hidrocarburos saturados (parafinas) Totales.

Con este análisis se dedujo que al aumentar las partículas suspendidas en el aerosol atmosférico respirable, también aumentan los contaminantes que vienen atrapados o secuestrados en estas aeropartículas respirables.

El análisis estadístico, nos indica que no hay diferencias significativas entre las etapas, esto se debe a que hay una gran similitud de concentración en las etapas 3 y 4, 2 y 5, ya que al reunir las concentraciones totales de todas las quincenas de un año se enmascara el efecto real de los tratamientos.

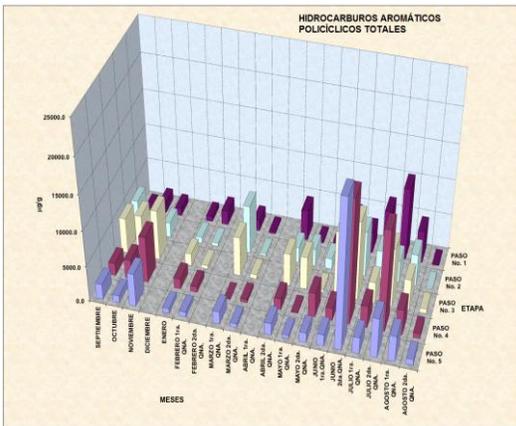


Figura 3. Hidrocarburos aromáticos policíclicos totales.

Los cuales previamente ya se habían analizado por separado mes por mes, evidenciando diferencias significativas entre los tratamientos aplicados durante el muestreo de las partículas respirables. (Rosales *et al*, 2004). También se debe mencionar que en los hidrocarburos lineales colectados durante un año, se detectaron concentraciones que fluctuaron entre los 90,000 y 105,000 µg/g (de aeropartículas colectadas).

Se reportan también las concentración para los HAPs totales, que van desde 50,000 a 75,000 µg/g. Con estos resultados es factible sugerir un rango de concentración (para las cinco etapas o tratamientos) en futuros muestreos para aerosoles o partículas suspendidas respirables. Obviamente si se quieren conocer cuales hidrocarburos están secuestrados en las aeropartículas, forzosamente se tendrá que hacer un análisis cromatográfico para cada etapa del muestreo (fig. 4).

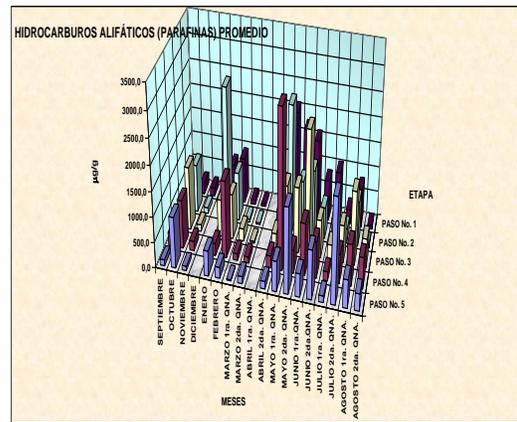


Figura 4. Hidrocarburos alifáticos (parafinas) promedio.

Al analizar las concentraciones promedio (que nos indican las medias de cada mes) de los hidrocarburos y al aplicar el análisis de varianza doble factorial, es evidente una diferencia significativa (con una $\alpha = 0.05$) entre los tratamientos (las cinco etapas de muestreo en el colector tipo Hi-Vol, ver sumas totales) aplicados a las partículas respirables colectadas, en el que se observa que no hay diferencias significativas para los meses de año (tabla4). Observando la variación anual durante todas las quincenas se elaboró una gráfica de granulometría, esta resume de manera puntual las fluctuaciones estacionales y las diferencias entre cada etapa. La tabla 6 indica la sumatoria del peso neto (en gramos) de cada etapa (tratamiento) durante las quincenas que se muestrearon durante los años (1995-1996). Ahora bien, es notorio que en la etapa 5 se distingue que hay una mayor concentración de partículas finas (fig. 6). Esto indica que las partículas finas y ultra finas llegan hasta los confines de los alvéolos pulmonares.

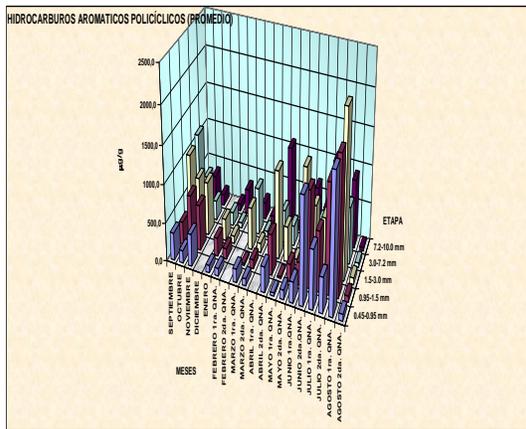


Figura 5. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (promedio).

Visualizando los datos de partículas más gruesas que van de $7.2 \mu\text{m}$ a $11 \mu\text{m}$, sólo alcanzan las vías aéreas superiores como fosas y senos nasales, las partículas llamadas $\text{PM}_{2.5}$ pueden alcanzar la tráquea y bronquios primarios (Gutiérrez, 1997).

Con los resultados generados fue necesario saber que bloque o familia de anillos bencénicos de los HAPs proporcionan mayor contribución a las concentraciones reportadas (tabla 7, fig. 8), por lo que el análisis permitió determinar que en la etapa 3 es donde existe mayor concentración de hidrocarburos tanto para la fracción F1 y F2. (Tablas 4 y 5, figs. 5 y 6). Además, se aprecia que las familias de cuatro y tres anillos bencénicos de los HAPs son las que contribuyen en mayor proporción a las concentraciones reportadas.

El análisis doble factorial nos sugiere que hay diferencias significativas entre las etapas de muestreo y el número de anillos bencénicos. Es claro que la familia de tres y cuatro de anillos

aromáticos de los HAPs son las que ejercen mayor influencia en las concentraciones reportadas.

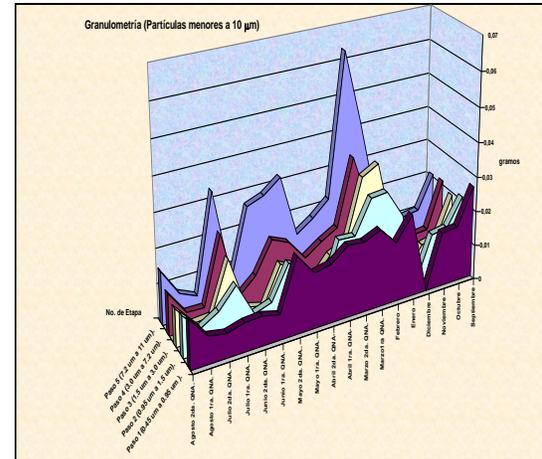


Figura 6. Granulometría (partículas menores a $10 \mu\text{m}$).

Continuando con el análisis, surge una duda, si era acertado o creíble, la cual ha prevalecido durante varias décadas en el ámbito de los muestreos atmosféricos, por lo que al aumentar la concentración de partículas suspendidas en el ambiente aéreo, era correcto afirmar o decir que también se incrementa la concentración de contaminantes (hidrocarburos) atrapados o secuestrados en las aeropartículas. Esta afirmación es hasta cierto punto creíble en un 20% si recordamos que al analizar las etapas de muestreo (tratamientos-etapas del recolector Hi-Vol; tipo cascada, observamos que la tendencia de encontrar mayor concentración de hidrocarburos fué en las etapas 3 y 4, disminuyendo hacia las etapas 2, 1 y 5 respectivamente; el comportamiento granulométrico o del muestreo de las partículas nos indica que la mayor concentración de aeropartículas la tenemos en la Etapa 5, posteriormente

en la Etapa 1, seguido de las Etapas 2, 3 y 4 respectivamente (Tablas 6, 7, 8 y 9).

Tales observaciones, forzaron a realizar un análisis de correlación entre las concentraciones encontradas para ambas fracciones F1 y F2 contra las concentraciones granulométricas de cada filtro por todo el año (La medida del grado de relación entre dos variables se llama coeficiente de correlación, y es representado universalmente por ρ . Y y X son variables aleatorias). Como tales, no deben ser designadas como dependiente e independiente: cualquier designación dará el mismo resultado. Con este estudio se visualizó si existió o no relación entre las variables involucradas. Las hipótesis planteadas son: $H_0: \rho = 0$ (no hay relación) y $H_A: \rho \neq 0$ (si hay relación). El resultado indica que para la Fracción F1 no existe en absoluto correlación entre las variables anteriormente mencionadas.

Los datos en la tabla 10 muestran el análisis de correlación momento de Pearson. Del análisis estadístico se deduce, que no es regla general que al observar un incremento en la concentración de partículas suspendidas (respirables), necesariamente tenga que haber un incremento cuantitativo en las concentraciones de los contaminantes atmosféricos (como las parafinas y los HAPs). Los resultados demuestran que en un 68% las concentraciones de los HAPs están asociadas a las partículas finas y ultra finas (Etapas 3 y 4), y 42% las concentraciones de Parafinas están asociadas también a las Etapas 3 y 4. Desafortunadamente, en estas la relación inversa que existe entre la

granulometría y el incremento de concentración tanto en las parafinas, como en los HAPs en las etapas 3 y 4; ponen de manifiesto que estamos respirando contaminantes que son un riesgo para nuestra salud, es decir, al respirar tales tamaños de partículas finas y ultrafinas exponemos a nuestros cuerpos con elevada probabilidad, a que las Parafinas y los HAPs se alojen en nuestros bronquios y bronquiolos, tal incidencia puede propiciar la aparición de varios tipos de cáncer.

Ahora para tratar de explicar el comportamiento global de los hidrocarburos alifáticos (tanto pares como impares), se procedió a realizar un análisis de varianza de un factor para visualizar si había o no diferencias entre la concentración carbonos pares y nones durante los años de estudio (95- 96). También se determinó si un aumento en la concentración de las aeropartículas, repercute en el incremento en concentraciones de hidrocarburos alifáticos (ya fueran pares o impares). Para ello se estableció la relación entre la granulometría y la concentración de las parafinas. Los mismos resultados fueron muy similares para las Etapas 3, 2 y 1.

De los análisis se determinó que no hay ninguna correlación con excepción de la Etapa 4, en la que si existió correlación entre carbonos pares e impares, lo cual significa que es favorable en cierta medida para la salud de los seres humanos, por lo que se deduce nuevamente, que al observar un aumento en la concentración de las partículas suspendidas respirables, no

necesariamente deba haber un incremento cuantitativo en contaminantes atmosféricos en relación a hidrocarburos.

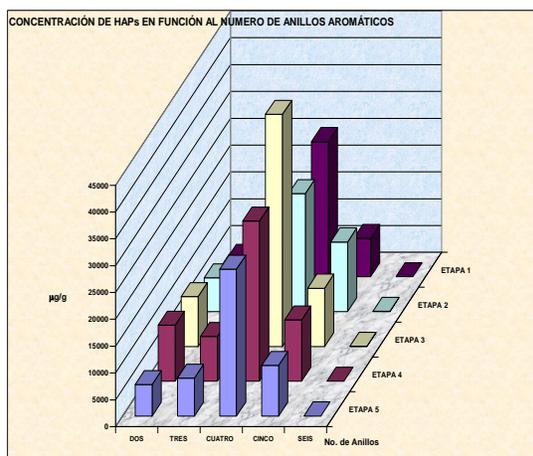


Figura 7. Concentración de HAPs en función al número de anillos aromáticos.

Los resultados del comportamiento anual de los carbonos pares y nones arrojados de los estadísticos (anova de un factor), en relación a los carbonos pares e impares de los hidrocarburos alifáticos, indican que no hay diferencias aparentes entre las concentraciones durante todo el año. Esto implica la inquietud de conocer si existe relación entre los carbonos pares e impares de las parafinas. La respuesta se encontró con el análisis de correlación del momento producto de Pearson, la que indica que no hay correlación entre las concentraciones de los carbonos pares e impares a excepción de la etapa 4 (0.95 – 1.5 µm), en donde si hay correlación.

Con esto surgió la duda, si los carbonos pares e impares se presentan en una relación equilibrada en concentraciones similares, ya que los datos provienen de una misma zona de estudio y de un

mismo filtro, en otras palabras, si las concentraciones de los carbonos pares e impares se dan equitativamente en la naturaleza.

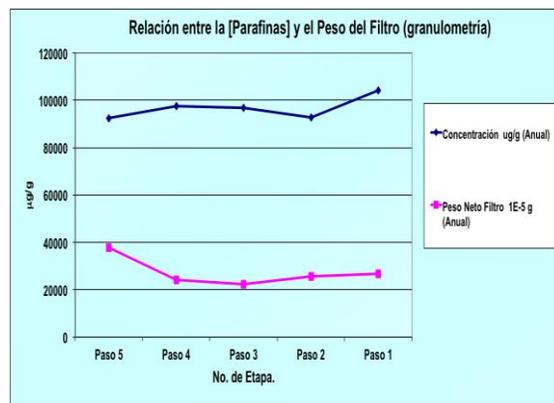


Figura 8. Relación entre Parafinas y el peso del filtro (granulometría).

Se analizaron con mayor detalle los resultados, detectando que en todos los pasos ó etapas de muestreo, existe una mayor concentración de carbonos pares con respecto a la de carbonos nones, observando con el análisis de varianza de un factor, marcando una notable diferencia entre ambos carbonos pares y nones.

Esto ratifica lo que Sariaslani (1974) y Higgins (1978) reportan, la existencia de evidencias de que la α oxidación se lleva a cabo durante la degradación de los n -alcanos y 1-fenil alcanos por algunos organismos, lo cual, involucra la formación de α hidroxi-ácidos y su subsiguiente descarboxilación. En algunos casos los ácidos orgánicos son oxidados a α,ω -ácidos dicarboxílicos, el grupo ω -metilo es sujeto a la misma secuencia de reacciones al igual de como sucede en los hidrocarburos (Klug, 1971; Higgins, 1978). Es factible por

esta razón que predominan los carbonos pares sobre los nones (impares) de los hidrocarburos alifáticos (Parafinas).

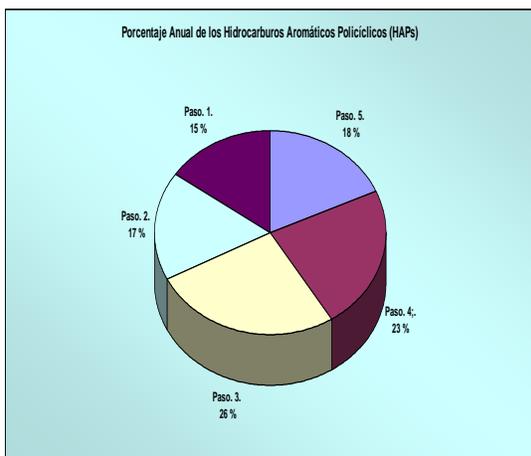


Figura 9. Porcentaje anual de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs).

Por lo anterior y teniendo en cuenta que hay poca información concerniente acerca del tamaño de las partículas respirables y su relación con la distribución de masa de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (Ronald, 1975), e hidrocarburos alifáticos, De Majo (1966), reportó que más del 75% de las concentraciones totales de los HAPs estaban asociados a las partículas finas cuyo diámetro era menor a los 2.5 μm . a diferencia del autor, los resultados de este estudio demuestran que en un 67-68 % las concentraciones de los HAPs están asociadas a las partículas finas y ultra finas (etapas 3, 4 y 5). Por otra parte, Thomas (1968), mostró que la cantidad de benzo(a)pireno por unidad de peso cuya fuente era hollín, producto de la combustión de varios combustibles, se encontró en todos los tamaños de partículas, es importante recalcar que estos estudios son resultados totales

anuales y reflejan el comportamiento global. Kertesz (1971) mostró que el contenido de benzo(a)pireno se encuentra asociado a partículas finas y ultrafinas ($r < 0.15 - 0.45 \mu\text{m}$), nuestros resultados de manera global también refleja el mismo comportamiento. Pero al observar cada tamaño de partícula por separado a lo largo de los años en que se llevó a cabo el estudio, se aprecia que los HAPs son distribuidos o “seleccionados” por el tamaño de partícula de acuerdo a Rosales (2004).

Otra visualización que se aprecia sobre el comportamiento de los hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), es que el 68% de los HAPs son atrapados ó seleccionados en las Etapas 3, 4 y 5 poco grato, ya que prácticamente éstas son las etapas que simulan las vías aéreas más profundas de los pulmones; es decir desde los bronquiolos hasta los alveolos pulmonares.

En base a los resultados obtenidos se sugiere, no sólo establecer un marcador indicador de contaminación atmosférica, sino ampliar estos, considerando las valoraciones de Criseno, Benzo (b), Fluoranteno, Benzo (a) Fluoranteno, Benzo (k) Fluoranteno, Benzo (a), antraceno y Benzo (a) Pireno; los cuales son seleccionados, atrapados o secuestrados (absorbidos y adsorbidos), incluyendo los HAPs con cuatro anillos aromáticos bencénicos a través de los aerosoles atmosféricos respirables.

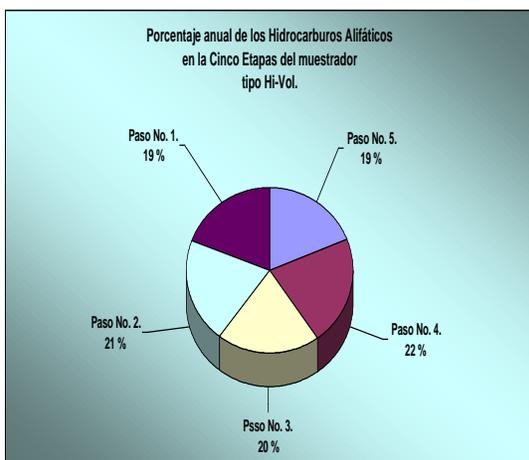


Figura 10. Porcentaje anual de hidrocarburos alifáticos en las cinco etapas del muestreador.

Una última apreciación sobre el comportamiento de los hidrocarburos alifáticos es que un amplio rango de bacterias, hongos y levaduras han mostrado crecer y desarrollarse bien a expensas de los hidrocarburos (líquidos) alifáticos que van desde el C_{10} al C_{18} (Higgins, 1978). Este comportamiento se aprecia globalmente en la figura 11, en donde la concentración de parafinas es mucho menor en los n-alcános $C_{13} - C_{20}$. (figs. 11 y 12).

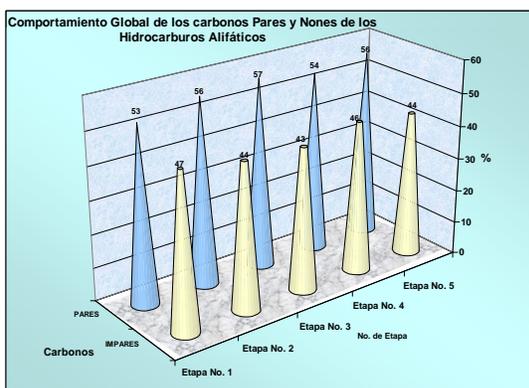


Figura 11. Comportamiento global de los carbonos pares y nones de los hidrocarburos alifáticos.

Esta información nos lleva a la conclusión de que los seres humanos

corremos el riesgo de estar expuestos a compuestos que son carcinogénicos y pueden estar asociados con la incidencia de varios tipos de cáncer. Entonces si la mayoría de los HAPs son absorbidos y/o adsorbidos por la materia inerte particulada, tenemos una gran probabilidad de transportar a estos compuestos hacia nuestras vías aéreas superiores y de aquí hacia los bronquiolos y alvéolos pulmonares.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron las siguientes conclusiones al examinar la idea inicial (hipótesis de nuestro estudio), si había o no una dependencia de los hidrocarburos alifáticos e HAPs por el tamaño (de distribución) de las partículas atmosféricas respirables.

A. En un 80 % las concentraciones de los hidrocarburos presentan diferencias significativas entre los tratamientos; esto quiere decir, al ser separadas las partículas suspendidas respirables por el colector en cascada Tipo Hi-Vol, también los hidrocarburos son seleccionados por su tamaño molecular (por número de anillos y longitud) y de la presencia de Parafinas mes por mes y quincena por quincena.

B. En la etapa número 3 es donde encontramos la mayor concentración de hidrocarburos tanto para la fracción F1 como fracción F2. Es claro que la familia de tres y cuatro anillos aromáticos de los HAPs son las que ejercen su mayor influencia en las concentraciones reportadas.

C. Principalmente desde el antraceno hasta el benzo(a)fluoranteno son los HAPs que reflejaron estar presentes en todos los tratamientos, siendo la mayor concentración obtenida y reportada (en este estudio) para la etapa 3.

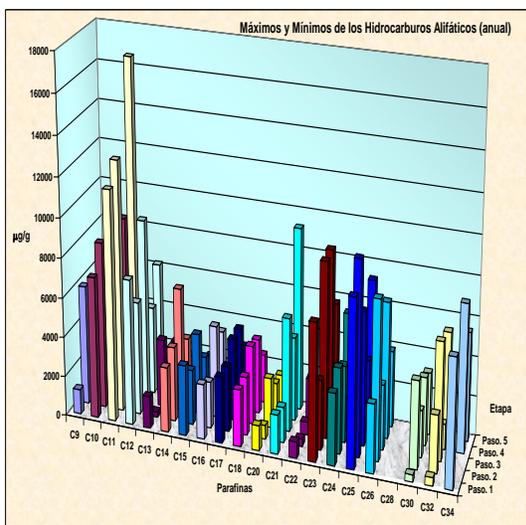


Figura 12. Máximos y mínimos de hidrocarburos alifáticos (anual).

D. No necesariamente un aumento en la concentración de las aeropartículas respirables, deba de reflejar un incremento en la concentración de los contaminantes (HAPs). También válido para la fracción F1 (Alifáticos ó Parafinas).

E. Los hidrocarburos lineales colectados durante un año, presentaron concentraciones que fluctuaron entre los 90,000 y 105,000 $\mu\text{g/g}$ (de aeropartículas colectadas). Reportamos también las concentración para los HAPs totales, que van desde 50,000 a 75,000 $\mu\text{g/g}$. Con estos resultados es factible sugerir un rango de concentración (para las cinco etapas o tratamientos) en futuros muestreos para aerosoles o

partículas suspendidas atmosféricas respirables. Obviamente si se quieren conocer cuales hidrocarburos están secuestrados o atrapados en las aeropartículas, forzosamente se tendrá que hacer un análisis cromatográfico.

F. Al observar y analizar nuestros resultados; lo interesante, ahora es el poder sugerir una concentración por día, para los hidrocarburos lineales y otra para los HAPs colectados de las aeropartículas respirables, que pueden ir desde 1100 a 1500 $\mu\text{g/g}$ para las parafinas y un rango de concentración de 550 a 800 $\mu\text{g/g}$ para los HAPs, que incluye la suma de las cinco etapas. Lo que significa que podríamos estar respirando y atrapando más o menos entre 0.6 a 1.0 mg/g/día de hidrocarburos por gramo de partículas al día.

G. Con este estudio podemos sugerir no sólo un marcador indicador de contaminación atmosférica sino varios marcadores como son: el primer candidato sería el Criseno y posteriormente podemos sugerir al Benzo (b) Fluoranteno, Benzo (a) Fluoranteno, Benzo (k) Fluoranteno y en menor concentración en contaminación estaría el Benzo (a) antraceno y Benzo (a) Pireno.

H. Es notoria la diferencia entre carbonos pares e impares. Predominan con un 55% los carbonos pares contra un 45 % de los nones.

I. Una última apreciación sobre el comportamiento de los hidrocarburos alifáticos es que un amplio rango de

bacterias, hongos y levaduras han mostrado crecer y desarrollarse bien a expensas de los hidrocarburos (líquidos) alifáticos que van desde el C₁₀ al C₁₈. (Higgins 1978). Este comportamiento se aprecia claramente en los resultados, donde la concentración de parafinas es mucho menor en los n-alcános C₁₃ – C₂₀.

J. Toda la información anterior, nos lleva a la conclusión de que los seres humanos que vivimos en esta gran urbe, corremos el riesgo de estar expuestos a compuestos que son carcinogénicos, que además pueden estar asociados a los aerosoles atmosféricos y con la incidencia de desarrollar varios tipos de cáncer. Entonces si la mayoría de los HAPs son absorbidos y/o adsorbidos por la materia inerte particulada, tenemos una gran probabilidad de transportar de estos compuestos hacia nuestras vías aéreas superiores, de ahí hacia los bronquiolos y alvéolos pulmonares.

RECOMENDACIONES

Para que seamos merecedores del título de "*Homo sapiens*" que nos hemos dado, es preciso hoy más que nunca, que encontremos las formas de desarrollo humano que nos permitan convivir con esta envoltura protectora - la atmósfera- sin ensuciarla ni rasgarla como lo estamos realizando en este preciso instante en que usted está leyendo este trabajo.

Tendremos forzosamente que reducir en forma drástica y definitiva, la emisión de gases y contaminantes que afectan la composición del aire, sin crear desde luego desempleo ni cancelar las aspiraciones legítimas de toda la raza

humana para encontrar una vida mejor. La reducción de emisiones nocivas sin perjudicar la planta productiva se puede hacer realidad. Exige esfuerzos ya que implican cambios y modificaciones en nuestra diaria rutina, pero no es imposible lograrlo.

Usted hará cabalmente su parte, seleccionando los productos que usted consume, eligiendo los que provienen de un proceso industrial limpio sin contaminación, y logrando el mínimo de desperdicios y por otra parte exigiendo se apliquen las normas conforme a la ley.

No podemos perder nuestra única atmósfera contaminándola, de lo contrario, no solo la vida silvestre desaparecerá de la faz de la Tierra, sino también la humanidad.

LITERATURA CITADA

Barale, R., Giromini, L., Del Ry, S., Barnini, B., Bulleri, M., Barrai, I., Valerio, F., Pala, M., and He, J. (1994) Chemical and Mutagenic Patterns of Airborne Particulate Matter Collected in 17 Italian Towns. *Environmental Health Perspectives*. Volume 102, Supplement 4, October. pp. 67-73.

Bravo, A. Humberto. (1987). La contaminación atmosférica en la ciudad de México. Siglo XXI, México.

Bravo, A. H. y Sosa, E. R. (1997)., en Gutiérrez, J. H., Romieu, I., Corey, G., Fortéul, T. (1997). Contaminación del Aire. Riesgos Para la Salud. Editorial. El Manual Moderno, S.A. de C.V. México, D. F.

Bravo, A. Humberto. (2000). Las gasolinas en el D.F. son inadecuadas. Gaceta UNAM. 21 de Noviembre. p 12.

Bulletin No. 678-230. Sierra Instruments, Inc., 1975.

Caripol-IOCARBIBE (1986). Manual Caripol para el análisis de hidrocarburos del petróleo en sedimentos y organismos marinos. Subcomisión IOCARBIBE COI Cartagena Colombia., pp. 22.

Ciencia y Desarrollo. Marzo-Abril de 1993. Vol. XIX No. 109. *Conacyt*. ISSN-0185-0008. México.

Clement International Corporation Under Contract No. 205-88-0608 U.S. Department of Health and Human Services February.(1994). Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Draft for Public Comment Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta, Georgia 30303. USA.

Daisey, M. J. (1980) Organic Compounds in Urban Aerosols. *Annals New York Academy of Sciences*. Number 338, pp: 50-69.

De Maio, L., and Corn, M. (1966). Polynuclear aromatic hydrocarbons associated with particulates in Pittsburgh air. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 16:67. en Gelboin, H.V. and Ts'O, P.O.(1978). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Cancer, Volume I: Environment, Chemistry and Metabolism, Academic Press, New York

Davis, C. S., Felling, P., and Otson, R. (1987). A Review of Sampling methods for Polyaromatic Hydrocarbons in Air. *Jour Air Poll Contr. Assoc.* 37 (12) December: 1397-1408.

Environment and Resource Management. (February 1995). British Columbia Ministry of Environment, Land and Parks.

Fuentes, Gea. Vicente. (2000). Un transporte público eficaz, solución real a la contaminación en el D. F. Gaceta UNAM. Junio 1. p 11.

Galindo, I. (1990). Aspectos físicos de la contaminación del aire; sus implicaciones en la salud humana. *Ciencia* 41: 163-175.

Godish, Thad. (1991). *Air Quality*. Lewis Publishers. USA.

Gutiérrez, J. Héctor., Romieu, Isabelle., Corey, Germán., Fortoul, Teresa. (1997). La

Contaminación del aire. Riesgos para la salud. Manual Moderno. México. D. F.

<http://elp.gov.bc.ca/epd/epdpa/ar/particulates/fpwtaht.html>. 2015

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1998RG000045/epdf>. 2015

http://www.academia.edu/10188341/Kepekatan_partikel_ternafas_PM10_dan_plumbum_ternafas_dalam_udara_ambien_di_kawasan_bandar_dan_luar_bandar.2015

<http://www2.gov.bc.ca/gov/DownloadAsset?assetId=C70149C2DA854771B2636D2F251303D0&fileName=phoannual2003.pdf>.2015

<http://www.inecc.gob.mx/calair-informacion-basica/525-calair-cont-primarios-secundarios>.2015

Higgins, I. J. and Gilbert, P. D. (1979). *The Oli Industry and Microbial Ecosystems*. Edited by K.W.A. chater and H.J. Somerville. Heyden.

Imas, G. M. (1995). El 65% de los contaminantes atmosféricos son de origen vehicular. Agenda UNAM. 16 de Octubre. p.18.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (1992). Coyoacán. Cuaderno básico de información delegacional. México.

Instituto Nacional de Ecología, Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas, (1997). Gobierno del Distrito Federal, Dirección General de Ecología, Subdirección de Inventario de Emisiones y Atención a Contingencias, 1997. Gobierno del Distrito Federal, Dirección General de Proyectos Ambientales, Dirección de Estudios y Proyectos Ambientales. Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México.

Instituto Nacional de Ecología. (1994). Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas.

Kasahara, M., Takahashi, K. and Moriguchi, Y. (1985). Photochemical Aerosol Forming Potential of Polluted Air as a Function of Photochemical Reactivity of Hydrocarbons.

Inter. J. Environmental Studies. Vol. 25, pp.23-38.

Kertész-Sáring, M., Mészáros, E., and Várkonyi, T. (1971). On the size distribution of benzo [a] pyrene containing particles in urban air. *Atmos. Environ.* 5:429.

Manahan, E. Stanley. (1997). *Environmental Science and Technology*. CRC. Press LLC. Florida. USA. 641 pp.

Manahan, E. Stanley. (1998). *Introduction to Environmental Chemistry*. Facultad de Química, UNAM. México, D. F. Febrero-Marzo.

Motykievicz, G., Malusecka, E., Grzybowska, E., Chorazy, M., Zhang, Y-J., Perera, P.F. and Santella, M. R. (1995) *Cancer Research*. Number 55, April. pp:1417-1422.

Múgica, Álvarez Violeta y Figueroa, Lara Jesús (1996). *Contaminación Ambiental causas y control*. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México, D. F.

Muhlia, Velázquez A. (1998). La baja radiación solar puede provocar raquitismo en la población infantil. *Gaceta UNAM*. 27 de agosto. pp.27-28.

Normas Oficiales Mexicanas:Aire Contaminación atmosférica).

http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/compendio_2000/04dim_institucional/04_02_Normatividad/data_normatividad/RecuadroIV.2.3.htm. 2000

Quadri de la Torre G., y Sánchez Cataño L. R. (1994). *La Ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Limusa. México.

Olvera, Leticia y Hernández, Armienta María A. (2000). *La Contaminación del suelo y agua, tan grave como la Infición del aire*. Gaceta UNAM. Órgano Informativo de la Universidad Nacional Autónoma de México.

PHO's Annual Report (2003): Every Breath You Take... Air Quality in British Columbia, a Public Health Perspective

Ronald, C. Pierce., and Morris, Katz. (1975). Dependence of polynuclear aromatic hydrocarbons content on size distribution of atmospheric aerosols. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 9 No. 4. pp.:347-353.

SEDUE: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, (1985). *Índice Metropolitano de Calidad del Aire*. Corporación Internacional TECNOCONSULT, México

Strauss, W. and Mainwaring, S. J. (1991). *Air Pollution*. Edward Arnold. A división of Hodder & Thomas, J. F. (1968). "Fate of airborne benzo(a) pirene". *Environ. Sci. Technol.*, 2, 33-9.

Fecha de recepción: 10 de marzo 2015
Fecha de aceptación: 2 de junio de 2015

| AÑO | HIDROCARBUROS SATURADOS | | | | |
|--|--|--------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | TOTALES | | | (PARAFINAS) | |
| 1995-1996 | CONCENTRACION (µg/g). | | | | |
| Etapa | 0.45-0.95 µm | 0.95-1.5 µm | 1.5-3.0 µm | 3.0-7.2 µm | 7.2-10.0 µm |
| MESES | PASO No. 5 | PASO No. 4 | PASO No. 3 | PASO No. 2 | PASO No. 1 |
| SEPTIEMBRE | 942,9 | 1302,3 | 1134,7 | 543,3 | 206,7 |
| OCTUBRE | 14221,0 | 13482,1 | 13874,3 | 2880,5 | 915,6 |
| NOVIEMBRE | 1013,5 | 2679,1 | 958,7 | 570,0 | 1936,5 |
| DICIEMBRE | | | | | |
| ENERO | 6912,4 | 2428,5 | 8153,8 | 28999,3 | 8078,8 |
| FEBRERO | 1352,1 | 16833,2 | 5364,2 | 4853,6 | 10075,6 |
| MARZO 1ra. QNA. | 279,3 | 408,4 | 3255,1 | 315,7 | 964,9 |
| MARZO 2da. QNA. | 2177,7 | 604,2 | 105,0 | 68,1 | 297,5 |
| ABRIL 1ra. QNA. | | | | | |
| ABRIL 2da. QNA. | 929,1 | 1237,6 | 896,5 | 3525,6 | 180,1 |
| MAYO 1ra. QNA. | 7808,5 | 18771,3 | 11731,9 | 17673,8 | 22739,4 |
| MAYO 2da. QNA. | 11830,1 | 2828,2 | 5252,4 | 7464,1 | 13934,2 |
| JUNIO 1ra. QNA. | 2316,3 | 14542,6 | 22238,7 | 10605,0 | 20559,0 |
| JUNIO 2da. QNA. | 3919,6 | 6581,4 | 3801,6 | 5664,8 | 10476,5 |
| JULIO 1ra. QNA. | 942,5 | 1284,6 | 2193,6 | 3108,1 | 8189,2 |
| JULIO 2da. QNA. | 33088,5 | 5809,0 | 6001,5 | 1763,4 | 2099,7 |
| AGOSTO 1ra. QNA. | 1666,5 | 3294,2 | 5872,1 | 4439,6 | 3099,8 |
| AGOSTO 2da. QNA. | 3079,7 | 5592,9 | 5792,3 | 334,9 | 271,7 |
| SUMA | 92480 | 97680 | 96627 | 92810 | 104025 |
| PROMEDIO 96724 µg/g 100 mg/g | BLOQUES ALEATORIOS (ANDEVA) DE 18 BLOQUES Y 5 TRATAMIENTOS | | | | |
| | Factor de Variabilidad | Gr. Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F. Calculada 0.95 |
| | Bloques | 17 | 2126552098 | 125091299,9 | a =0.05 |
| | Tratamiento | 4 | 4864624,645 | 1216156,161 | 0,04 |
| | Residual | 68 | 2046522939 | 30095925,58 | F. TABLAS |
| | Total | 89 | 4177939662 | | 2,5 |
| | | | | | NO SIG. |
| SUMA TOTAL | BLOQUES ALEATORIOS (ANDEVA) DE 5 BLOQUES Y 18 TRATAMIENTOS | | | | |
| CINCO ETAPAS 483621 µg/g 500 mg/g | Factor de Variabilidad | Gr. Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F. Calculada 0.95 |
| | Bloques | 4 | 4864624,645 | 1216156,161 | a =0.05 |
| | Tratamiento | 17 | 2126552098 | 125091299,9 | 4,2 |
| | Residual | 68 | 2046522939 | 30095925,58 | F. TABLAS |
| | | Total | 89 | 4177939662 | |
| | | | | | SIG. |

Tabla 1. Concentración de hidrocarburos saturados.

| ANO | HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS | | | | |
|--|--|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 1995-1996 | TOTALES | | | | |
| | CONCENTRACION ($\mu\text{g/g}$). | | | | |
| Etapa | 0.45-0.95 μm | 0.95-1.5 μm | 1.5-3.0 μm | 3.0-7.2 μm | 7.2-10.0 μm |
| MESES | PASO No. 5 | PASO No. 4 | PASO No. 3 | PASO No. 2 | PASO No. 1 |
| SEPTIEMBRE | 2155,3 | 1781,5 | 5024,4 | 4396,5 | 180,6 |
| OCTUBRE | 994,3 | 2748,8 | 5847,2 | 2797,3 | 1516,8 |
| NOVIEMBRE | 4669,2 | 6561,4 | 7053,7 | 2076,4 | 1062,1 |
| DICIEMBRE | | | | | |
| ENERO | 662,9 | 1458,1 | 1722,9 | 865,7 | 738,9 |
| FEBRERO 1ra. QNA. | 694,2 | 839,0 | 489,6 | 451,8 | 1989,1 |
| FEBRERO 2da. QNA. | | | | | |
| MARZO 1ra. QNA. | 1760,0 | 28,4 | 5564,3 | 6808,9 | 1560,2 |
| MARZO 2da. QNA. | 559,0 | 478,0 | 603,5 | 301,7 | 305,0 |
| ABRIL 1ra. QNA. | | | | | |
| ABRIL 2da. QNA. | 1682,5 | 1604,0 | 4620,1 | 2172,3 | 4339,1 |
| MAYO 1ra. QNA. | 484,7 | 138,5 | 4624,1 | 2411,5 | 286,4 |
| MAYO 2da. QNA. | 1361,3 | 3456,4 | 445,9 | 1487,3 | 718,4 |
| JUNIO 1ra. QNA. | 1652,2 | 1781,3 | 9196,5 | 2859,8 | 4587,4 |
| JUNIO 2da. QNA. | 20908,9 | 17552,9 | 11152,3 | 6341,9 | 2926,9 |
| JULIO 1ra. QNA. | 2306,5 | 3133,8 | 2965,4 | 4047,9 | 6506,3 |
| JULIO 2da. QNA. | 5597,8 | 14247,0 | 8299,3 | 3133,9 | 10214,6 |
| AGOSTO 1ra. QNA. | 3594,3 | 3611,3 | 4357,8 | 4481,3 | 4539,8 |
| AGOSTO 2da. QNA. | 817,2 | 720,7 | 612,4 | 173,3 | 90,3 |
| SUMA | 49900,3 | 60141,2 | 72579,4 | 44807,5 | 41561,9 |
| | BLOQUES ALEATORIOS (ANDEVA) DE 19 BLOQUES Y 5 TRATAMIENTOS | | | | |
| PROMEDIO 53798 $\mu\text{g/g}$ 50 mg/g | Factor de Variabilidad | Gr. Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F. Calculada 0.95 |
| | Bloques | 18 | 807389590,5 | 44854977,25 | a =0.05 |
| | Tratamiento | 4 | 33616802,86 | 8404200,715 | 1,4 |
| | Residual | 72 | 438998539,5 | 6097201,937 | F. TABLAS |
| | Total | 94 | 1280004933 | | 2,5 |
| | | | | | NO SIG. |
| SUMA TOTAL | BLOQUES ALEATORIOS (ANDEVA) DE 5 BLOQUES Y 19 TRATAMIENTOS | | | | |
| CINCO ETAPAS | Factor de Variabilidad | Gr. Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F. Calculada 0.95 |
| 268990 $\mu\text{g/g}$ | Bloques | 4 | 33616802,86 | 8404200,715 | a =0.05 |
| | Tratamiento | 18 | 807389590,5 | 44854977,25 | 7,4 |
| 270 mg/g | Residual | 72 | 438998539,5 | 6097201,937 | F. TABLAS |
| | Total | 94 | 1280004933 | | 1,7 |
| | | | | | SIG. |

Tabla 2. Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos.

| Parafinas | Concentración µg/g | Porcentaje de Parafinas por No. De Etapa |
|-------------------------------|-----------------------|---|
| Paso ó Etapa 5 (0.45-0.95 µm) | 92480 | 19,1 |
| Paso ó Etapa 4 (0.95-1.5 µm) | 97680 | 20,2 |
| Paso ó Etapa 3 (1.5-3.0 µm) | 96627 | 20,0 |
| Paso ó Etapa 2 (3.0-7.2 µm) | 92810 | 19,2 |
| Paso ó Etapa 1 (7.2-10.0 µm) | 104025 | 21,5 |
| Suma | 483621 | 100 |

| HAPs | Concentración µg/g | Porcentaje de HAPs por No. De Etapa |
|-------------------------------|-----------------------|--|
| Paso ó Etapa 5 (0.45-0.95 µm) | 49900 | 18,6 |
| Paso ó Etapa 4 (0.95-1.5 µm) | 60141 | 22,4 |
| Paso ó Etapa 3 (1.5-3.0 µm) | 72579 | 27,0 |
| Paso ó Etapa 2 (3.0-7.2 µm) | 44807 | 16,7 |
| Paso ó Etapa 1 (7.2-10.0 µm) | 41562 | 15,5 |
| Suma | 268990 | 100 |

Tabla 3. Concentración y porcentaje de parafinas.

| ANO | HIDROCARBUROS SATURADOS | | | | |
|------------------|--|--------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 1995-1996 | PARAFINAS | | PROMEDIO | | |
| | CONCENTRACION (µg/g): | | | | |
| | 0.45-0.95 µm | 0.95-1.5 µm | 1.5-3.0 µm | 3.0-7.2 µm | 7.2-10.0 µm |
| MESES | PASO No. 5 | PASO No. 4 | PASO No. 3 | PASO No. 2 | PASO No. 1 |
| SEPTIEMBRE | 117,9 | 260,5 | 141,8 | 108,7 | 68,9 |
| OCTUBRE | 1015,8 | 963,0 | 1261,3 | 960,2 | 228,9 |
| NOVIEMBRE | 84,5 | 191,4 | 137,0 | 114,0 | 161,4 |
| DICIEMBRE | | | | | |
| ENERO | 493,7 | 242,9 | 741,3 | 2636,3 | 734,4 |
| FEBRERO | 225,3 | 1530,3 | 894,0 | 970,7 | 916,0 |
| MARZO 1ra. QNA. | 25,4 | 136,1 | 250,4 | 63,1 | 96,5 |
| MARZO 2da. QNA. | 145,2 | 120,8 | 35,0 | 34,0 | 49,6 |
| ABRIL 1ra. QNA. | | | | | |
| ABRIL 2da. QNA. | 154,8 | 247,5 | 298,8 | 391,7 | 90,1 |
| MAYO 1ra. QNA. | 600,7 | 3128,5 | 1303,5 | 2524,8 | 2067,2 |
| MAYO 2da. QNA. | 1690,0 | 471,4 | 1313,1 | 1066,3 | 1741,8 |
| JUNIO 1ra. QNA. | 463,3 | 1038,8 | 2471,0 | 1325,6 | 1581,5 |
| JUNIO 2da. QNA. | 979,9 | 731,3 | 760,3 | 629,4 | 805,9 |
| JULIO 1ra. QNA. | 134,6 | 183,5 | 313,4 | 444,0 | 1023,6 |
| JULIO 2da. QNA. | 2068,0 | 580,9 | 750,2 | 293,9 | 300,0 |
| AGOSTO 1ra. QNA. | 555,5 | 823,5 | 1468,0 | 887,9 | 775,0 |
| AGOSTO 2da. QNA. | 342,2 | 621,4 | 579,2 | 67,0 | 67,9 |
| SUMA TOTAL | 9096,8 | 11271,8 | 12718,4 | 12517,8 | 10708,5 |
| de los Promedios | BLOQUES ALEATORIOS (ANDEVA) DE 18 BLOQUES Y 5 TRATAMIENTOS | | | | |
| 56313 | Factor de Variabilidad | Gr. Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F. Calculada 0.95 |
| µg/g | Bloques | 17 | 25714604,56 | 1512623,798 | α = 0.05 |
| | Tratamiento | 4 | 482915,5529 | 120728,8882 | 0,5 |
| | Residual | 68 | 15470795,71 | 227511,7017 | F. TABLAS |
| | Total | 89 | 41668315,83 | | 2,5 |
| | | | | | NO SIG. |
| | BLOQUES ALEATORIOS (ANDEVA) DE 5 BLOQUES Y 18 TRATAMIENTOS | | | | |
| | Factor de Variabilidad | Gr. Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F. Calculada 0.95 |
| | Bloques | 4 | 482915,5529 | 120728,8882 | α = 0.05 |
| | Tratamiento | 17 | 25714604,56 | 1512623,798 | 6,6 |
| | Residual | 68 | 15470795,71 | 227511,7017 | F. TABLAS |
| | Total | 89 | 41668315,83 | | 1,8 |
| | | | | | SIG. |

Tabla 4. Concentración de parafinas.

| AÑO | HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS | | | | |
|-------------------------|---|---------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| | 1995-1996 | | | | |
| MESES | CONCENTRACIÓN (µg/g). | | | | |
| | 0.45-0.95 µm | 0.95-1.5 µm | 1.5-3.0 µm | 3.0-7.2 µm | 7.2-10.0 µm |
| | PASO No. 5 | PASO No. 4 | PASO No. 3 | PASO No. 2 | PASO No. 1 |
| SEPTIEMBRE | 359,2 | 296,9 | 1004,9 | 1099,1 | 180,6 |
| OCTUBRE | 165,7 | 687,2 | 730,9 | 559,5 | 379,2 |
| NOVIEMBRE | 424,5 | 596,5 | 705,4 | 259,6 | 151,7 |
| DICIEMBRE | | | | | |
| ENERO | 94,7 | 243,0 | 287,1 | 173,1 | 92,4 |
| FEBRERO 1ra. QNA. | 99,2 | 139,8 | 97,9 | 75,3 | 331,5 |
| FEBRERO 2da. QNA. | | | | | |
| MARZO 1ra. QNA. | 176,0 | 28,4 | 556,4 | 619,0 | 222,9 |
| MARZO 2da. QNA. | 93,2 | 119,5 | 120,7 | 75,4 | 76,3 |
| ABRIL 1ra. QNA. | | | | | |
| ABRIL 2da. QNA. | 336,5 | 534,7 | 1155,0 | 434,5 | 1084,8 |
| MAYO 1ra. QNA. | 44,1 | 23,1 | 462,4 | 267,9 | 47,7 |
| MAYO 2da. QNA. | 123,8 | 230,4 | 74,3 | 212,5 | 102,6 |
| JUNIO 1ra. QNA. | 275,4 | 296,9 | 1313,8 | 476,6 | 655,3 |
| JUNIO 2da. QNA. | 1393,9 | 1253,8 | 857,9 | 453,0 | 418,1 |
| JULIO 1ra. QNA. | 768,8 | 783,5 | 741,4 | 809,6 | 1084,4 |
| JULIO 2da. QNA. | 466,5 | 1424,7 | 691,6 | 261,2 | 851,2 |
| AGOSTO 1ra. QNA. | 1797,2 | 1805,7 | 2178,9 | 746,9 | 908,0 |
| AGOSTO 2da. QNA. | 90,8 | 80,1 | 87,5 | 57,8 | 45,2 |
| SUMA TOTAL | 6709,3 | 8544,1 | 11066,1 | 6580,9 | 6631,9 |
| de los Promedios | BLOQUES ALEATORIOS (ANDEVA) DE 19 BLOQUES Y 5 TRATAMIENTOS | | | | |
| 39532 | Factor de Variabilidad | Gr. Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F. Calculada 0.95 |
| µg/g | Bloques | 18 | 14040332,27 | 780018,4592 | α = 0.05 |
| | Tratamiento | 4 | 800250,7518 | 200062,688 | 2,7 |
| | Residual | 72 | 5406192,421 | 75086,00584 | F. TABLAS |
| | Total | 94 | 20246775,44 | | 2,5 |
| | | | | | SIG. |
| | BLOQUES ALEATORIOS (ANDEVA) DE 5 BLOQUES Y 19 TRATAMIENTOS | | | | |
| | Factor de Variabilidad | Gr. Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F. Calculada 0.95 |
| | Bloques | 4 | 800250,7518 | 200062,688 | α = 0.05 |
| | Tratamiento | 18 | 14040332,27 | 780018,4592 | 10,4 |
| | Residual | 72 | 5406192,421 | 75086,00584 | F. TABLAS |
| | Total | 94 | 20246775,44 | | 1,7 |
| | | | | | SIG. |

Tabla 5. Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos.

| No. De Etapa | Σ Peso Neto (g) del filtro anual |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Paso 5 (7.2 mm a 11 mm). | 0,3785 |
| Paso 4 (3.0 mm a 7.2 mm). | 0,2428 |
| Paso 3 (1.5 mm a 3.0 mm). | 0,2228 |
| Paso 2 (0.95 mm a 1.5 mm). | 0,2573 |
| Paso 1(0.45 mm a 0.95 mm). | 0,2682 |

Tabla 6. Peso neto de las etapas.

| | Concentración | | µg/g | | AÑOS 1995-1996 | | Concentración | |
|-------------|--|--------------|-------------------|------------------|--------------------------|---------------|---------------|--|
| | DOS | TRES | CUATRO | CINCO | SEIS | µg/g | | |
| ETAPA 5 | 5895 | 7096 | 27369 | 9494 | 46 | 49900 | | |
| ETAPA 4 | 10451 | 8347 | 29859 | 11440 | 45 | 60141 | | |
| ETAPA 3 | 9275 | 9123 | 43252 | 10871 | 58 | 72579 | | |
| ETAPA 2 | 6317 | 3480 | 21966 | 12997 | 48 | 44807 | | |
| ETAPA 1 | 3470 | 5725 | 25203 | 7164 | 0 | 41562 | | |
| SUMA | 35408 | 33771 | 147649 | 51966 | 196 | 268990 | | |
| | BLOQUES ALEATORIOS (ANDEVA) DE 5 BLOQUES Y 5 TRATAMIENTOS | | | | | | | |
| | Factor de Variabilidad | Gr. Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F. Calculada 0.90 | | | |
| | Bloques | 4 | 127743850,9 | 31935962,72 | α = 0.1 | | | |
| | Tratamiento | 4 | 2484753900 | 621188475,1 | 46,9 | | | |
| | Residual | 16 | 211846882,4 | 13240430,15 | F. TABLAS | | | |
| | Total | 24 | 2824344634 | | 2,3 | | | |
| | | | | | SIG. | | | |
| | BLOQUES ALEATORIOS (ANDEVA) DE 5 BLOQUES Y 5 TRATAMIENTOS | | | | | | | |
| | Factor de Variabilidad | Gr. Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F. Calculada 0.90 | | | |
| | Bloques | 4 | 2484753900 | 621188475,1 | α = 0.1 | | | |
| | Tratamiento | 4 | 127743850,9 | 31935962,72 | 2,4 | | | |
| | Residual | 16 | 211846882,4 | 13240430,15 | F. TABLAS | | | |
| | Total | 24 | 2824344634 | | 2,3 | | | |
| | | | | | SIG. | | | |

Tabla 7. Concentraciones por etapa por año.