

CONTAMINACION POR PARTICULAS ATMOSFERICAS EN LA CIUDAD DE MEXICO

Y. I. FALCON*

C. R. RAMIREZ*

J. E. MEZA*

J. M. DAISEY**

P. J. LIOY**

(Recibido: 23 de octubre, 1984)

(Aceptado: 25 de marzo, 1987)

RESUMEN

Durante los meses de invierno de 1982 y 1983 se llevaron a cabo muestreos y análisis de partículas atmosféricas, colectadas diariamente en muestreos de 24 horas, utilizando dos equipos de altos volúmenes, localizados en las instalaciones de la Universidad Metropolitana, en el norte de la Ciudad de México.

En las muestras del invierno de 1982 se determinó la masa orgánica extractable y el contenido de agentes alquilantes en la fracción acetona. Estos análisis se llevaron a cabo en el Centro Médico del Instituto de Medicina Ambiental de la Universidad de Nueva York.

En las muestras del invierno de 1983 se analizó el contenido de partículas (PST), sulfatos y varios metales pesados, en los laboratorios de la Universidad Metropolitana-Azcapotzalco.

Los resultados del estudio muestran que las concentraciones obtenidas para los diversos componentes de las partículas atmosféricas exceden los valores de las normas internacionales en todos los casos.

* *División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, MEXICO.*

** *New York University Medical Center, U.S.A.*

ABSTRACT

Sampling and analysis of particulate matter were conducted during the winter months of 1982 and 1983. Samples were collected daily for 24 hours, using two high volume samplers, located at the sampling site at the Universidad Metropolitana facilities, north Mexico City. Particulate matter collected during the winter of 1982 were analyzed for total extractable organic mass, and alkylating agents in the acetone fraction, at the Institute of Environmental Medicine of the New York University Medical Center.

Samples from the winter of 1983 were analyzed for total suspended particulate matter (TSP), sulfates and several trace elements at the Universidad Metropolitana Laboratories. The results from the study show that the concentrations obtained from the analyses, exceed the ambient Air Quality Standards in all cases.

INTRODUCCION

Los análisis químicos de las partículas atmosféricas proporcionan información adecuada acerca de la naturaleza e importancia de las reacciones fotoquímicas en la atmósfera que dan lugar a la formación del aerosol.

En diversos estudios efectuados en los Estados Unidos, entre los que se pueden citar los de Junge (1956), y los de la National Air Surveillance Networks (1971), se ha demostrado que los sulfatos y nitratos solubles en agua, así como los compuestos orgánicos, forman parte considerable del aerosol atmosférico.

Se ha determinado que la producción de aerosoles en la atmósfera implica principalmente reacciones muy complejas del azufre, del nitrógeno y del carbono orgánico. La mayoría de los nitratos parece ser de origen inorgánico, con una pequeña contribución de organonitratos relacionados evidentemente con procesos fotoquímicos. La fracción orgánica se caracteriza por un alto porcentaje de material oxigenado con un gran contenido de componentes carboxílicos.

Compuestos orgánicos

A pesar de las aplicaciones de técnicas analíticas más sofisticadas que han ampliado el conocimiento de la naturaleza de la fracción orgánica contenida en las partículas atmosféricas, aún quedan muchas preguntas por responder acerca de los efectos biológicos de tales compuestos, de cuántos de ellos se forman o se degradan en la atmósfera y de cuáles son las fuentes que los producen.

La razón más importante para el estudio de la materia orgánica contenida en las

partículas atmosféricas, ha sido la posibilidad que existe de que tales compuestos sean nocivos para la salud, a largo plazo. Los estudios que se han realizado en animales acerca del potencial carcinogénico de varias fracciones orgánicas son la base para esta preocupación.

Hoffman y Wynder (1977), han revisado varios estudios en los cuales se ha demostrado que las fracciones orgánicas de las partículas atmosféricas son carcinógenas en ratones. Estos investigadores concluyeron que las fracciones que contienen hidrocarburos aromáticos policíclicos son las causantes de esos efectos. Tales fracciones pueden favorecer la formación de tumores.

Estudios más recientes acerca de las propiedades de la materia orgánica presente en las partículas atmosféricas, determinadas por medio del bioensayo de Ames (1975), indican la presencia de compuestos biológicamente activos en las fracciones polares, así como en las no-polares.

Es muy importante el estudio del contenido de materia orgánica en las partículas atmosféricas, en vista de la posible influencia que estos compuestos pueden tener sobre la salud.

Agentes alquilantes

Los agentes alquilantes son compuestos electrofílicos como los epóxidos y los sulfatos de alquilo, que pueden ser detectados por reacción con 4-(p-nitrobencil) piridina. Se ha comprobado que muchos de estos compuestos son potentes mutágenos y carcinógenos cuando han sido utilizados en bioensayos y por lo tanto son potencialmente peligrosos para la salud.

METODO EXPERIMENTAL

Muestreo

La estación de muestreo está localizada en la azotea de uno de los edificios de la UAM-Azcapotzalco, a una altura aproximada de 6 m sobre el nivel del piso. Los muestreos de partículas atmosféricas se llevaron a cabo empleando el método de grandes volúmenes para 24 h, de acuerdo con los procedimientos establecidos en "Guidelines for Development of Quality Assurance Program E.P.A. 14-73-028B".

Para el estudio del invierno de 1982, las muestras se colectaron diariamente del 4 al 17 de febrero, y se emplearon filtros de fibra de vidrio tipo A/E, a los cuales se les dio un tratamiento previo en una mufla, a 400°C durante 48 h, para reducir el contenido de materia orgánica en ellos.

El muestreo del invierno de 1983 se realizó del 24 de enero al 6 de febrero, diariamente, durante 24 h, empleando filtros de fibra de vidrio de grado espectro. Estas muestras fueron analizadas para determinar el contenido de metales pesados (Pb, Cu, Fe, Cd, Cr, Zn, As y Mn).

ANALISIS

Determinación de materia orgánica

Los filtros de muestreo del invierno de 1982 fueron extraídos secuencialmente en un aparato Soxhlet con solventes de polaridad creciente: ciclohexano, diclorometano y acetona, en este orden, para separar el contenido de materia orgánica presente en las partículas colectadas. Las extracciones se llevaron a cabo durante 8 h con cada solvente; los extractos de los filtros y el blanco fueron evaporados hasta reducir el volumen a 10 ml y filtrados para eliminar partículas remanentes. La concentración del material orgánico en cada una de las fracciones extraídas se determinó pesando 50 μ l del extracto en una electrobalanza, evaporando a sequedad y calculando por diferencia de peso la concentración de materia orgánica presente.

La fracción soluble en ciclohexano contiene los hidrocarburos alifáticos no polares y los hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Las fracciones solubles en diclorometano y acetona están compuestas de hidrocarburos moderadamente polares e hidrocarburos polares oxidados, respectivamente.

Agentes alquilantes

En este experimento la fracción soluble en acetona fue analizada para determinar el contenido de agentes alquilantes, utilizando un microensayo desarrollado en los laboratorios del Instituto de Medicina Ambiental de la Universidad de Nueva York.

Los agentes alquilantes se detectaron con 4-(p-nitrobencil) piridina (PNBP). El

anillo de piridina reacciona primeramente con el agente alquilante para formar la sal de piridinium. Uno de los protones bencílicos es eliminado por adición de una base como la trietanolamina. Como resultado de esta reacción se produce un reacomodo de los dobles enlaces para formar la 1, 4-dihidropiridina, la cual presenta una coloración violeta debido al efecto de conjugación.

Las concentraciones de agentes alquilantes se reportan en términos de μg equivalentes de epóxido de estireno, que se utiliza como control.

Tabla I

Concentración de partículas suspendidas totales. Invierno 1982 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

FILTRO No.	FECHA	P. S. T.
1	13-14/Ene/82	280.59
2	14-15/Ene/82	299.81
3	15-16/Ene/82	331.26
4	16-17/Ene/82	274.54
5	17-18/Ene/82	328.98
6	19-20/Ene/82	344.33
7	20-21/Ene/82	435.19
8	22-23/Ene/82	359.57
9	23-24/Ene/82	302.41
10	24-25/Ene/82	274.26
11	25-26/Ene/82	257.97
12	26-27/Ene/82	318.23
13	27-28/Ene/82	303.80
14	28-29/Ene/82	367.48
15	29-30/Ene/82	361.53
16	1 -2/Feb/82	328.40
17	2 -3/Feb/82	251.37

$$\bar{X} = 318.80$$

Metales pesados

Para la determinación de metales pesados de las muestras del invierno de 1983, se extrajo la mitad del filtro con la muestra, utilizando una mezcla de ácidos nítrico y perclórico; se filtraron los extractos para eliminar residuos del filtro y se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica. Se determinaron ocho metales: Pb, Cu, Fe, Cd, Cr, Zn, As y Mn.

RESULTADOS Y DISCUSION

Partículas suspendidas totales

En la Tabla I se muestran los resultados de los análisis de partículas suspendidas totales (PST) para el invierno de 1982 y se observa que el 85% de los casos excede el valor recomendado en la norma para 24 h del National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) de los Estados Unidos, que es de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En esta muestra el valor promedio de PST es de $318.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un valor mínimo de $251.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de $435.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones pico fueron observadas el 20 y 21 de enero.

En la Tabla III se observan los resultados para PST en el invierno de 1983; en este caso, el 70% de los valores, así como el promedio obtenido ($274.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), exceden la norma del NAAQS. La concentración más alta se detectó el 31 de enero y fue de $370.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Metales pesados

- Plomo

La Tabla III muestra que el 75% de los casos excede el valor recomendado por el Departamento de Salud y Bienestar (DSB) de los Estados Unidos ($0.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En el invierno de 1983 se observó un promedio de $1.293 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un máximo de $1.824 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un mínimo de $0.674 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Cobre

La Tabla III muestra que en el 100% de los casos los valores exceden la norma del

Tabla III
Resultados de concentración de metales pesados y partículas. Invierno 1983.

FECHA	CONCENTRACION DE PARTICULAS $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	CONCENTRACION DE METALES PESADOS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
		Pb	Cu	Fe	Cd	Zn	
24-I-83	259.40	1.376	0.243	3.172	0.0130	3.397	
25-I-83	288.86	1.385	0.110	3.364	0.0124	4.812	
26-I-83	277.28	1.336	0.276	3.652	0.0130	6.127	
27-I-83	273.76	1.645	0.232	3.250	0.0120	4.012	
28-I-83	374.69	1.824	0.232	4.953	0.0579	3.590	
29-I-83	274.15	0.817	0.121	2.967	0.0037	0.173	
30-I-83	352.63	0.766	0.113	5.910	0.0115	0.627	
31-I-83	370.29	1.306	0.157	9.110	0.0373	38.023	
01-II-83	263.05	1.726	0.238	3.291	0.0292	40.499	
03-II-83	261.57	1.626	0.206	3.461	0.0292	3.324	
04-II-83	219.05	1.647	0.174	3.112	0.0275	39.473	
05-II-83	177.73	0.674	0.103	1.994	0.0020	1.604	
06-II-83	176.60	0.748	0.102	1.325	0.0012	0.440	
	$\bar{X} = 274.54$	1.293	0.178	3.812	0.0192	11.254	

Depto. de Salud y Bienestar de los Estados Unidos ($0.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En el invierno de 1983, la concentración de cobre presenta un valor promedio de $0.178 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un mínimo de $0.102 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de $0.276 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Hierro

En la misma tabla se observa que en el 90% de los casos la concentración de hierro excede la norma del DSB ($1.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ya que presenta un promedio de $3.812 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un valor mínimo de $1.326 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de $9.110 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Cadmio

En cuanto a la concentración de cadmio, la Tabla III presenta un valor promedio de $0.0192 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un valor máximo de $0.0579 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor mínimo de $0.0012 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En este caso, la norma de $0.002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se excede en el 85 % de los casos.

- Zinc

En la Tabla III se observa que en el 75% de los casos el zinc excede el valor dado por la norma ($0.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Presenta un promedio de $11.254 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un valor máximo de $40.499 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor mínimo de $0.173 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En este caso, los valores más altos se detectaron los días lunes 31 de enero ($38.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y martes 10 de febrero ($40.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$); el primer valor coincide con el día en que se obtuvo la concentración más alta de PST.

Materia orgánica extractable

La Tabla II muestra los resultados del estudio durante el período de muestreo de 13 días en el invierno de 1982, que presentó un promedio de $44.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual es bastante más alto que lo obtenido en estudios previos para algunas ciudades de Estados Unidos. Cabe hacer notar que los períodos de muestreo no fueron equivalentes en todas las ciudades (Butler *et al.*, 1985).

La concentración más alta de materia orgánica extractable observada en este muestreo fue de $69.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los días 11 y 12 de febrero. En la Ciudad de Nueva York se encontró un máximo de $11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla II

Concentración de fracciones orgánicas y agentes alquilantes. Invierno 1982 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

FILTRO	FECHA	CX	DCM	ACE	CX, DCM, ACE	A. ALQ
1	3-4/Feb/82	13.32	3.73	32.77	49.82	0.237
2	5-6/Feb/82	10.23	3.11	29.83	43.17	0.160
3	6-7/Feb/82	12.98	4.77	27.57	45.32	0.176
4	7-8/Feb/82	16.21	2.11	14.11	32.43	0.081
5	8-9/Feb/82	17.43	3.66	26.41	47.50	0.215
6	9-10/Feb/82	15.71	4.12	25.15	44.98	0.236
7	10-11/Feb/82	15.12	3.21	22.43	40.76	0.231
8	11-12/Feb/82	20.65	4.44	44.00	69.09	0.128
9	12-13/Feb/82	9.02	2.57	17.97	29.56	0.105
10	13-14/Feb/82	9.52	2.42	26.59	38.53	0.147
11	14-15/Feb/82	13.92	3.62	27.53	45.07	0.072
12	15-16/Feb/82	16.12	---	12.09	28.21	0.244
13	16-17/Feb/82	21.83	4.84	38.40	65.07	0.140
	\bar{X} = 14.77	3.55	26.52	44.9		

Notas: CX - Fracción soluble en ciclohexano.
 ACE - Fracción soluble en acetona.
 DCM - Fracción soluble en diclorometano.
 A.ALQ. - Agentes alquilantes.

Estudios realizados en el Centro Médico de la Universidad de Nueva York han mostrado que la fracción soluble en acetona es la más abundante, seguida de la fracción en ciclohexano y diclorometano respectivamente, lo cual también es válido para este trabajo.

Desafortunadamente no existen suficientes datos disponibles acerca de la materia orgánica contenida en partículas atmosféricas con los cuales comparar estos resultados, ya que solo recientemente grupos de investigadores de los Estados Unidos han empezado a hacer experimentos de extracciones secuenciales de partículas atmosféricas para determinar el contenido de materia orgánica (P.O.M.: particulate organic matter).

CONCLUSIONES

La Ciudad de México, al igual que otras ciudades densamente pobladas y altamente industrializadas, tiene problemas de contaminación atmosférica que han venido aumentando conforme a su acelerado crecimiento poblacional e industrial.

Asimismo, durante las épocas de invierno, el Valle de México experimenta frecuentes períodos de acumulación excesiva de contaminantes en la atmósfera debido a condiciones meteorológicas desfavorables que crean gran estabilidad de las capas atmosféricas, impidiendo que los contaminantes se dispersen adecuadamente en la atmósfera y agravando considerablemente el problema de contaminación.

Las altas concentraciones de metales pesados detectadas al analizar las partículas colectadas en estos períodos de muestreo pueden atribuirse tanto a las condiciones meteorológicas como a que la estación de muestreo de la UAM Azcapotzalco se localiza en la zona norte de la ciudad, que es una área altamente industrializada y con gran densidad vehicular, encontrándose industrias metal-ferrosas y no ferrosas en las cercanías de dicha universidad.

Las concentraciones tan elevadas de materia orgánica extractable se deben tanto a fuentes móviles como a fuentes fijas, ya que las instalaciones de la UAM-Azcapotzalco se ubican en la confluencia de dos ejes viales importantes (Av. San Pablo y Montevideo); además, como ya se mencionó, la Delegación Azcapotzalco es una zona industrial importante.

De lo anteriormente expuesto podemos concluir que los valores de las concentraciones de contaminantes encontrados en esta investigación, los cuales sobrepasan las normas existentes de calidad del aire, se deben a la gran cantidad de fuentes de emisión, tanto fijas como móviles que se encuentran al norte de la Ciudad de México, así como a las condiciones meteorológicas prevalecientes durante las épocas de invierno en las cuales se colectaron las muestras.

La intención de este trabajo ha sido desarrollar un esfuerzo en colaboración con la Universidad de Nueva York, tendiente a promover futuras investigaciones que puedan contribuir en alguna forma a la solución del problema de contaminación atmosférica en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

BIBLIOGRAFIA

- AGARWALL, S. C., B. L. VAN DUUREN and T. J. KNEIP, 1979. Detection of epoxides with 4-(p-Nitrobenzyl) pyridine. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 23, 825-829.
- AGARWALL, S. C., B. L. VAN DUUREN, J. J. SOLOMON and S. A. KLINE, 1980. Reaction of epoxides with 4-nitrothiophenol. Its possible application for trapping and characterization of epoxides. *Environ. Sci. and Technol.*, 14, 1249-1253.
- AMES, B. N., J. McCANN and E. YAMASAKI, 1975. Methods for detecting carcinogens and mutagens with the salmonella/mammalian-microsome mutagenicity test. *Mutation Res.*, 31, 347-364.
- BUTLER, J. P., T. J. KNEIP and J. M. DAISEY, 1987. An investigation of inter-urban variations in the chemical composition and mutagenic activity of airborne particulate organic matter using an integrated chemical class/bioassay system. *Atm. Env.* (In press).
- DAISEY, J. M. and T. J. KNEIP, 1981. Atmospheric particulate organic matter: Multivariate models for identifying sources and estimating their contributions to the ambient aerosol. In: Atmospheric aerosol: Source/air quality relationships, E. Mascias and P. K. Hopke, Eds., *Am. Chem. Soc. Washington, D. C., Symp. Ser.*, 167, 197-221.
- DAISEY, J. M., M. A. LEYKO, M. T. KLEINMAN and E. HOFFMAN, 1979. The nature of organic fraction of the New York City summer aerosol. *Ann., N. Y. Acad. Sci.*, 322, 125-142.
- DAISEY, J. M., R. J. McCAFFREY and R. A. GALLAGHER, 1981. Polycyclic aromatic hydrocarbons and total extractable particulate organic matter in the Arctic aerosol. *Atm. Env.* 15, 1353-1363.
- ESPINOSA, M. E., Y. FALCON, S. SALAZAR and I. C. ESPEJEL, 1978. Lead and Cadmium concentration in suspended particles at two sampling stations in Mexico City. *71st. Air. Pollut. Cont. Ass. Ann. Meet.* 78-69, 4.
- HIDY, G. M., 1975. Summary of California Aerosol Characterization Experiment, *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 25, 1106.
- HOFFMANN, D. and E. L. WYNDER, 1977. Organic particulate pollutants. In: Air Pollution, A. C. Stern, Ed., Academic Press, New York, 2, 361-455.
- JUNGE, C. E., 1956. Recent investigations in air chemistry, *Tellus*, 8, 127.
- KNEIP, T. J., M. LIPPMANN, F. MUKAI and J. M. DAISEY, 1979. Trace organic compounds in the New York City atmosphere. Part I. Preliminary Studies. Report to the Electric Power Research Institute, Palo Alto, Ca. EPRI Report No. EA-1121.

- LIOY, P. J., J. M. DAISEY, A. GREENBERG, B. KEBBEKUS, J. BOZELLI, G. McGARRITY and I. ATHERHOLT, 1981. The New Jersey Project on Airborne Toxic Elemental and Organic Species (ATEOS), September, 1981. Progress report submitted to R. Harkov, Office of Cancer and Toxic Substances Research, The New Jersey Department of Environmental Protection, Trenton, N. J.
- National Technical Information Center. Air quality data for 1967 from the National Air Surveillance Networks (revised 1971), PB 203, 546.
- SALAZAR, S., J. L. BRAVO, y Y. FALCON, 1981. Sobre la presencia de algunos metales pesados en la atmósfera de la Ciudad de México. *Geofís. Int.*, 20, 1, 41-54.
- SAWICKI, E., 1962. Analysis for airborne particulate hydrocarbons: their relative proportions as affected by different types of pollution. *Nat. Cancer Inst. Monogr.* 9, 201-220.
- U. S. Dept. of Health, Education and Welfare, National Air Pollution Control Administration, 1969. Air Quality Criteria for Particulate Matter, Washington, D.C.