

**CONCENTRACION DEL AEROSOL MINERAL EN LA ZONA SUR
DE LA CIUDAD DE MEXICO**

J. L. BRAVO*

S. SALAZAR*

(Recibido: 1o. de Feb., 1982)

(Aceptado: 8 de Junio, 1982)

RESUMEN

Para conocer la concentración del aerosol natural de origen continental producido por efecto eólico, se recolectaron 179 muestras (entre julio del 79 y agosto del 80) en el Observatorio de Radiación Atmosférica, localizado al sur de la ciudad de México. Los resultados muestran una variación anual del aerosol mineral, dividida en dos épocas: una de concentraciones bajas (con media geométrica de $34.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y otra de concentraciones altas (con media geométrica de $70.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que coinciden con la época de lluvias y la época de secas, respectivamente. Las distribuciones de éstas pudieron ser representadas por funciones log-normales; para la época de secas se encontró una distribución bi-modal. Se aplicó el criterio de la "t" de Student para mostrar estadísticamente que el aerosol mineral no se acumula en la atmósfera a lo largo de la semana. Las mayores concentraciones del aerosol mineral provienen de la región E-ESE durante la época de secas y de la región W-WNW durante la época de lluvias. Regiones que corresponden a las áreas de Tláhuac, Tulyehualco y Xochimilco, y Santa Lucía, Cuajimalpa y Contadero, respectivamente.

* *Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.*

ABSTRACT

In order to determine the concentration of natural aerosol of continental origin produced by the aerial effects, one hundred and seventy nine samples were collected (July 79 - August 80) at the atmospheric radiation observatory in the south part of Mexico City. The results of the analysis show the annual variation of the mineral aerosol defined for two periods, one of low concentration (geometric mean $34.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and the other of high concentration (geometric mean $70.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$) which coincide with the rainy season and the dry season respectively. The concentration distributions were represented by log-normal functions. However for the dry period a bi-modal distribution was found. The "t" Student criterion was applied to statistically demonstrate the absence of accumulation of mineral aerosol along the week, the higher mineral aerosol concentrations come from E-ESE region during the dry season and from W-WNW during the rainy season. These areas correspond to Tláhuac, Tulyehualco and Xochimilco, and Santa Lucía, Cuajimalpa and Contadero, respectively.

INTRODUCCION

Para conocer la aportación del aerosol atmosférico producido por la actividad del hombre se debe partir del conocimiento de la aportación del aerosol atmosférico originado por la naturaleza misma. Por ello el presente trabajo estudia la concentración del aerosol mineral producido por efecto eólico, como un primer paso para definir lo que en la literatura se denomina "aerosol natural de fondo".

Existen varias fuentes de aerosol atmosférico natural, como son: erupciones volcánicas, incendios forestales, material cósmico, etcétera. Dentro de estas fuentes, la predominante sobre áreas continentales es la erosión del suelo por el viento, ya que éste actúa continuamente sobre la superficie de la Tierra (Tabla 1, Kondratyev, K. Ya. *et al.*, 1980), y juega un doble papel: de inyección y de transporte de las partículas (Chepil, 1957).

Respecto a la distribución de partículas en la atmósfera, investigaciones recientes de Lippmann (1980) y Knutson *et al.* (1979) han confirmado la clasificación del aerosol propuesta por Junge (1952), que divide el espectro de radios en 3 intervalos fundamentales: los núcleos de Aitken ($r < 0.1 \mu$), las partículas "grandes" ($0.1 < r < 1.0 \mu$) y las partículas "gigantes" ($r > 1.0 \mu$). Esta clasificación se basa en el hecho de que cada uno de estos intervalos participa independientemente de los otros en procesos atmosféricos definidos. Los núcleos de Aitken participan en fenómenos de electricidad; las partículas "grandes" en la óptica de la atmósfera y las partículas "gigantes" en procesos de precipitación.

Los avances en el estudio de las partículas han permitido llegar a un conocimiento más amplio sobre sus constituyentes elementales (Shaw y Stevens, 1980; Brosset,

1980); la fracción de las partículas finas, que abarcaría a los núcleos de Aitken y partículas "grandes", frecuentemente tiene características ácidas, mientras que la fracción de las partículas "gigantes" tiene características básicas. Esta interesante dicotomía es consecuente con el hecho de que la formación de partículas finas se relaciona con gases atmosféricos, entre los cuales se encuentran diversos compuestos de azufre y nitrógeno, mientras que la formación de partículas "gigantes" es debida principalmente al rompimiento de partículas muy grandes formadas por óxidos metálicos.

Otros investigadores (Gillette, 1980; Patterson y Gillette, 1977) han reportado que la distribución de volumen y concentración numérica de las partículas del aerosol de origen eólico tiene una forma bi-modal, encontrándose que las partículas grandes poseen una moda cerca de las 25 μ de radio. Estas partículas son básicamente granos de arena cuyas velocidades de sedimentación son del orden de la velo-

Radio de partícula		O c r e a	
ANTROPOGENICOS	Inyectadas directamente		133.2
	" IN-SITU "	Gases azufrosos	220
		Gases nitrosos	40
		Vapores orgánicos	15
		Subtotal	275
	Total antropogénicos		408
Inyectadas directamente	Superficie del mar	1000	
	Superficie erosionado	500	
	Erupciones volcánicas		
	Materiai cósmico	10	
	Incendios forestales	35	
	Subtotal	1545	
Formadas IN-SITU	Gases azufrosos	420	
	Gases nitrosos	75	
	Vapores orgánicos	75	
	Subtotal	570	
Total naturales		2115	
Gran total		2523	

Tabla 1. Cantidad global de Aerosol Atmosférico en millones de toneladas por año. (Konratyev, K. Ya. *et al.*, 1980)

cidad vertical turbulenta del aire. En cambio las partículas más finas tienen una moda entre $0.5 - 5.0 \mu$ de radio y son partículas producidas por la fragmentación de granos de arena cerca de la superficie de la Tierra.

La presencia de una elevada cantidad de partículas en el aire altera el equilibrio radiativo, ocasionando enfriamientos o calentamientos de la atmósfera y el suelo, según las propiedades ópticas de las partículas que forman el aerosol. Además es sabido que algunos aerosoles atmosféricos son higroscópicos y por tanto, capaces de actuar como núcleos de condensación y alterar el régimen de nubosidad y de lluvias.

También debe considerarse el posible efecto que este tipo de partículas puede tener sobre la salud humana, ya que las más pequeñas son capaces de inhalarse por el aparato respiratorio.

En la Ciudad de México frecuentemente ocurren tolvaneras que levantan y transportan las partículas de polvo superficial de las regiones norte, oriente y sur de la ciudad hacia el área urbana y suburbana; Jáuregui (1960, 1971) describe la forma en que se generan.

Las concentraciones de aerosol mineral reportadas en el presente trabajo fueron obtenidas en una zona con menos fuentes contaminantes que el resto de la ciudad, por lo que se supone que los datos obtenidos son una aproximación al "aerosol natural de fondo" de origen eólico.

MUESTREO Y DETERMINACION DEL AEROSOL MINERAL

Las muestras fueron recolectadas en el Observatorio de Radiación Atmosférica de Ciudad Universitaria, ubicado en la parte sur de la Ciudad de México.

Para la recolección se utilizó un muestreador de grandes volúmenes, colocado en la azotea del Instituto de Geofísica, aproximadamente a 7 m de altura. Cada una de las muestras fue recolectada en papel filtro Whatman No. 41 de $8'' \times 10''$, utilizando un flujo aproximado de $1.2 \text{ m}^3/\text{min}$. La duración de las muestras fue de 24 horas. Se procesaron 179 muestras, tomadas de lunes a jueves durante 14 meses (julio 79 - agosto 80) y 39 filtros blancos (filtros no expuestos).

Un cuarto de filtro cortado en pequeños trozos es colocado en un tubo especial de centrifuga que contiene un filtro Gelman o Millipore (tamaño de poro $0.45 \mu\text{m}$ y 25 mm de diámetro) previamente lavado con ácido acético de 0.05 M. Igual tratamiento se da a las muestras y filtros blancos. Las muestras son lavadas con tres

alícuotas de agua destilada y desionizada. Cada lavado es seguido de un reposo de 30 minutos y centrifugado durante 5 minutos a 1500 RPM (Savoie, 1978).

El cuarto de filtro lavado, junto con el filtro Gelman o Millipore es colocado en un crisol y desecado. Después de que la humedad es eliminada, el crisol es colocado en una mufla para calcinar la muestra a 600°C. Este residuo, menos la ceniza del filtro blanco, es reportado como aerosol mineral.

Para determinar químicamente la composición del aerosol mineral reportado se analizaron algunas muestras por difracción de Rayos X, detectándose los siguientes minerales: mica, caolinita, clorita, cuarzo, talco, yeso, calcita, dolomita y feldespatos (plagioclasas) grupo de minerales que constituyen casi la mitad de los compuestos que forman la corteza terrestre. Esto indica su origen continental y más precisamente su procedencia de zonas erosionadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Apéndice A se presentan las concentraciones del aerosol mineral y en la figura 1 se muestra su variación anual. En esta variación se observan dos épocas: una de concentraciones bajas (25.VII - 12.X del 79 y 8.IV - 28.VIII del 80) y otra de concentraciones altas (24.X.79 - 10.IV.80), que coinciden con la época de lluvias y de secas, respectivamente. Como es de esperarse, estas épocas tienen características estadísticas diferentes. Para la primera, que es de concentraciones bajas de aerosol mineral (número de muestras $n = 97$), su distribución se ajustó muy bien a una curva log-normal (figura 2), con los siguientes parámetros: media geométrica $Mg = 34.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y desviación estándar geométrica $\sigma g = 1.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Debe considerarse que la σg no es aditiva al promedio, sino es multiplicativa o sea que el 68.3% de las muestras está entre $Mg/\sigma g$ y $Mg*\sigma g$.

En la figura 3 se presenta el histograma de la concentración del aerosol mineral en la época de mayor abundancia (época de secas, $n = 82$) y se observa que existen dos modas en la distribución: una de concentración baja ($n_1 = 5$ con $Mg = 24.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\sigma g = 1.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y otra de concentración alta ($n_2 = 77$) con $Mg = 70.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\sigma g = 1.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La aparición de dos modas indica la presencia de dos grupos de fenómenos físicos responsables de la existencia de este tipo de compuestos en la atmósfera durante la época de secas. Los días en los cuales se registraron concentraciones menores de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($n_1 = 5$) se tuvieron vientos predominantes del sur, con velocidades relativamente altas (aproximadamente 13 m/seg). El viento fue el único fenómeno físico identificado como responsable de la moda de baja concentración.

GEOFISICA INTERNACIONAL

A P E N D I C E A

<u>No.</u>	<u>FECHA</u>	<u>AEROSOL MINERAL*</u>	<u>No.</u>	<u>FECHA</u>	<u>AEROSOL MINERAL</u>
1	25-26/ VII/79	37.44	47	7- 8/XI /79	63.33
2	30-31/ VII/79	28.41	48	8- 9/XI /79	107.46
3	31-1°/ VII/79	21.39	49	12-13/XI /79	65.44
4	1- 2/VIII/79	39.60	50	13-14/XI /79	91.15
5	2- 3/VIII/79	46.27	51	14-15/XI /79	53.80
6	6- 7/VIII/79	17.56	52	15-16/XI /79	62.83
7	7- 8/VIII/79	37.05	53	21-22/XI /79	49.43
8	8- 9/VIII/79	31.55	54	22-23/XI /79	69.85
9	9-10/VIII/79	25.72	55	26-27/XI /79	85.63
10	13-14/VIII/79	15.31	56	27-28/XI /79	87.20
11	14-15/VIII/79	24.25	57	28-29/XI /79	21.29
12	15-16/VIII/79	31.59	58	29-30/XI /79	78.35
13	16-17/VIII/79	22.70	59	3- 4/XII/79	54.16
14	20-21/VIII/79	34.20	60	5- 6/XII/79	25.62
15	21-22/VIII/79	34.87	61	6- 7/XII/79	45.15
16	22-23/VIII/79	33.05	62	10-11/XII/79	51.13
17	23-24/VIII/79	32.47	63	13-14/XII/79	54.38
18	28-29/VIII/79	12.90	64	2- 3/I /80	59.53
19	3- 4/IX /79	20.01	65	3- 4/I /80	72.90
20	4- 5/IX /79	37.04	66	7- 8/I /80	77.69
21	5- 6/IX /79	31.74	67	8- 9/I /80	34.98
22	6- 7/IX /79	26.02	68	9-10/I /80	24.35
23	10-11/IX /79	13.32	69	10-11/I /80	83.31
24	11-12/IX /79	16.81	70	14-15/I /80	92.11
25	12-13/IX /79	18.70	71	15-16/I /80	93.95
26	24-25/IX /79	31.47	72	16-17/I /80	111.41
27	25-26/IX /79	27.99	73	17-18/I /80	118.64
28	26-27/IX /79	44.43	74	21-22/I /80	73.70
29	27-28/IX /79	39.38	75	22-23/I /80	74.92
30	1- 2/X /79	40.47	76	23-24/I /80	44.48
31	2- 3/X /79	40.69	77	24-25/I /80	19.41
32	3- 4/X /79	54.06	78	28-29/I /80	32.34
33	4- 5/X /79	45.50	79	29-30/I /80	62.55
34	8- 9/X /79	83.99	80	30-31/I /80	59.35
35	9-10/X /79	54.06	81	31-1°/I /80	67.75
36	10-11/X /79	55.83	82	6- 7/II /80	63.89
37	15-16/X /79	52.36	83	7- 8/II /80	102.49
38	16-17/X /79	49.02	84	11-12/II /80	65.57
39	22-23/X /79	83.66	85	12-13/II /80	79.13
40	23-24/X /79	57.86	86	13-14/II /80	66.07
41	24-25/X /79	56.20	87	14-15/II /80	62.43
42	25-26/X /79	75.77	88	18-19/II /80	90.09
43	29-30/X /79	65.96	89	21-22/II /80	103.98
44	30-31/X /79	80.08	90	25-26/II /80	73.34
45	5- 6/XI /79	48.30	91	26-27/II /80	95.22
46	6- 7/XI /79	47.74	92	27-28/II /80	46.23

* $\mu\text{g}/\text{m}^3$, microgramos por metro cúbico de aire

J. L. Bravo y S. Salazar

<u>No.</u>	<u>FECHA</u>	<u>AEROSOL MINERAL*</u>	<u>No.</u>	<u>FECHA</u>	<u>AEROSOL MINERAL</u>
93	28-29/II /80	32.91	135	13-14/VI /80	53.56
94	3- 4/III/80	93.91	136	16-17/VI /80	72.56
95	4- 5/III/80	67.32	137	17-18/VI /80	54.91
96	5- 6/III/80	85.63	138	18-19/VI /80	45.03
97	6- 7/III/80	103.57	139	19-20/VI /80	54.16
98	10-11/III/80	102.41	140	23-24/VI /80	21.31
99	11-12/III/80	100.30	141	24-25/VI /80	78.60
100	12-13/III/80	100.04	142	25-26/VI /80	22.30
101	13-14/III/80	128.32	143	26-27/VI /80	24.01
102	17-18/III/80	88.61	144	30-1°/VI /80	24.65
103	18-19/III/80	68.08	145	1- 2/VII /80	68.40
104	15-26/III/80	127.86	146	2- 3/VII /80	58.10
105	26-27/III/80	155.48	147	3- 4/VII /80	43.56
106	27-28/III/80	73.8	148	7- 8/VII /80	22.39
107	1- 2/IV /80	86.8	149	8- 9/VII /80	23.36
108	8- 9/IV /80	27.68	150	9-10/VII /80	28.93
109	9-10/IV /80	34.58	151	10-11/VII /80	63.05
110	10-11/IV /80	36.61	152	14-15/VII /80	38.45
111	14-15/IV /80	64.01	153	15-16/VII /80	39.12
112	15-16/IV /80	55.84	154	16-17/VII /80	41.07
113	16-17/IV /80	62.87	155	17-18/VII /80	42.81
114	17-18/IV /80	58.86	156	21-22/VII /80	22.39
115	21-22/IV /80	27.45	157	22-23/VII /80	28.99
116	22-23/IV /80	47.68	158	23-24/VII /80	36.34
117	23-24/IV /80	53.12	159	24-25/VII /80	34.39
118	24-25/IV /80	47.78	160	28-29/VII /80	25.56
119	28-29/IV /80	83.45	161	29-30/VII /80	25.29
120	29-30/IV /80	67.73	162	30-31/VII /80	26.13
121	6- 7/V /80	25.82	163	31-1°/VII /80	29.69
122	7- 8/V /80	41.27	164	4- 5/VIII/80	34.25
123	8- 9/V /80	56.25	165	5- 6/VIII/80	24.99
124	12-13/V /80	50.75	166	6- 7/VIII/80	25.27
125	13-14/V /80	38.17	167	7- 8/VIII/80	43.21
126	2- 3/VI /80	78.86	168	11-12/VIII/80	31.58
127	3- 4/VI /80	49.14	169	12-13/VIII/80	28.02
128	4- 5/VI /80	54.21	170	13-14/VIII/80	29.08
129	5- 6/VI /80	27.86	171	14-15/VIII/80	24.33
130	6- 7/VI /80	36.09	172	18-19/VIII/80	33.76
131	9-10/VI /80	44.08	173	19-20/VIII/80	40.65
132	10-11/VI /80	47.68	174	20-21/VIII/80	37.32
133	11-12/VI /80	44.14	175	21-22/VIII/80	35.75
134	12-13/VI /80	68.51	176	25-26/VIII/80	20.93
			177	26-27/VIII/80	26.19
			178	27-28/VIII/80	27.49
			179	28-29/VIII/80	31.73

* $\mu\text{g}/\text{m}^3$, microgramos por metro cúbico de aire.

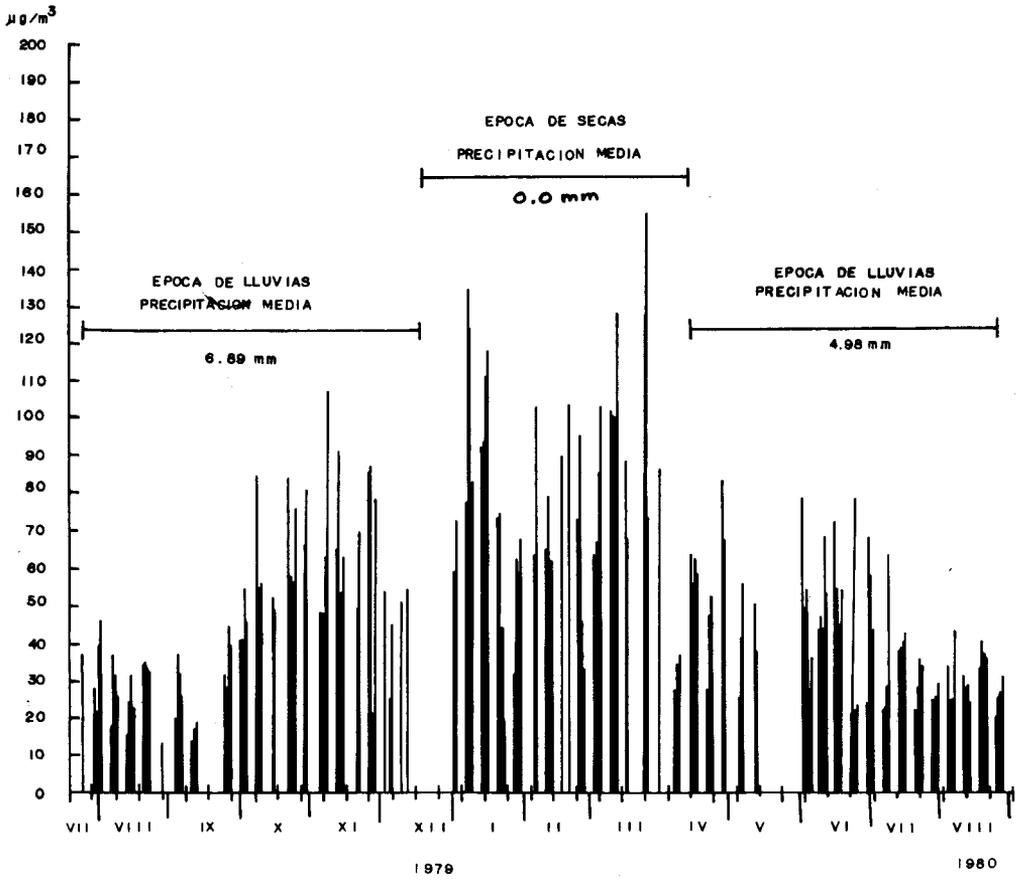


Fig. 1. Variación anual de la concentración de aerosol mineral (VII/79-VIII/80), Estación de C.U.

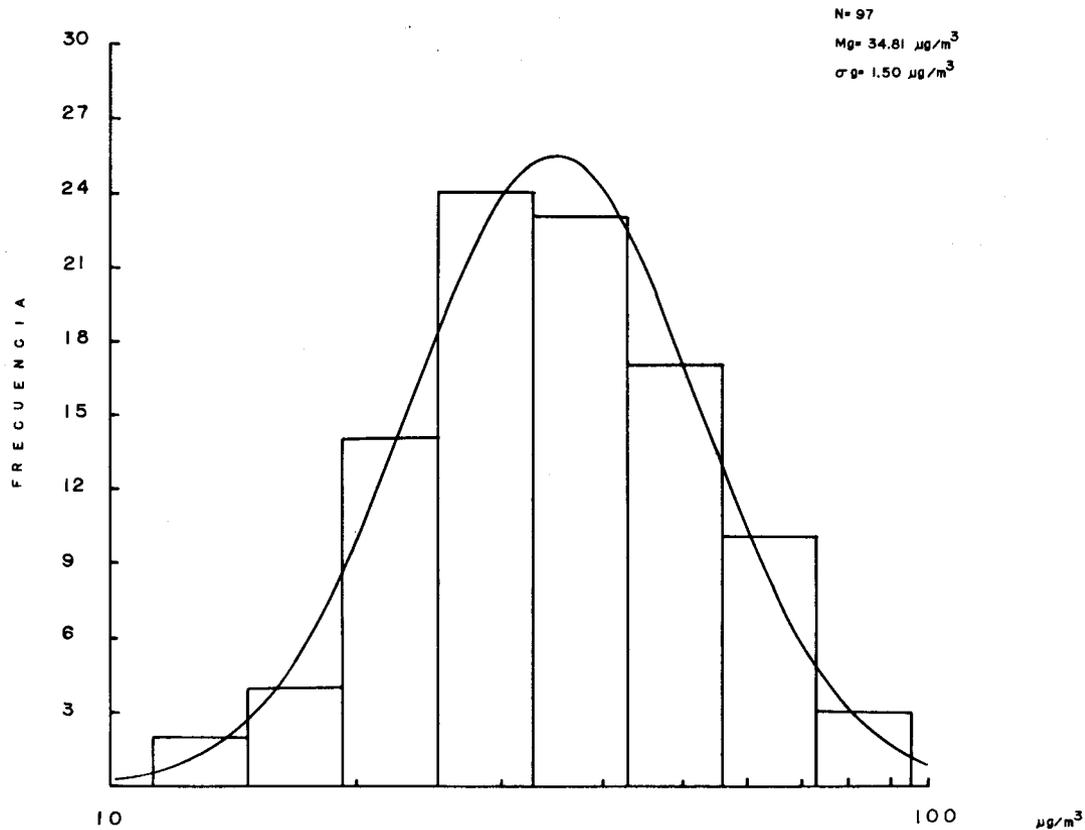


Fig. 2. Distribución de frecuencia de la concentración de aerosol mineral, época de concentraciones bajas, Estación de C. U.

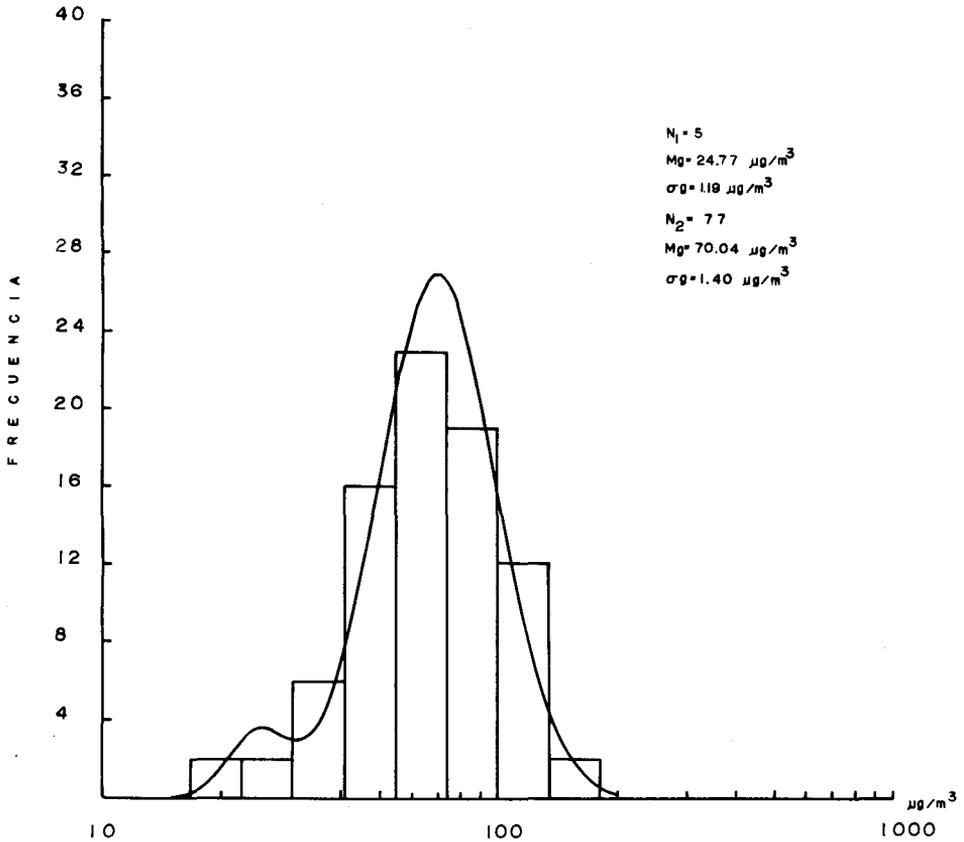


Fig. 3. Distribución de frecuencia de la concentración de aerosol mineral, época de concentraciones altas, Estación de C. U.

Por otro lado, analizando el conjunto de muestras de concentración alta en la época de secas, podemos observar que su $Mg = 70.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es el doble de la Mg de la época de lluvias, $34.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$; esto era de esperarse, si consideramos que en la época de lluvias la superficie del suelo se encuentra húmeda, lo cual hace que se formen partículas grandes, que no pueden ser levantadas fácilmente por el viento y cuya vida media como aerosol es menor por el efecto de lavado de la atmósfera. La media geométrica de la moda de baja concentración es 56 veces más grande que la reportada (Bravo, Salazar y Muhlia, 1982), para el océano Pacífico ($0.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$), que es una zona de baja concentración de aerosol mineral.

Respecto a la variabilidad de las concentraciones en las dos épocas debe hacerse notar que; aunque las desviaciones estándar geométricas tienen magnitudes muy semejantes (1.40 y $1.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), éstas, como ya se dijo, son multiplicativas; siendo la

Mg en época de secas el doble de la Mg en época de lluvias, la variabilidad será entonces el doble en época de secas.

En la figura 4 se presenta la distribución de las concentraciones del aerosol mineral con el total de muestras ($n = 179$). En esta figura se muestra la suma de las tres curvas gaussianas que describen el comportamiento de las concentraciones de las dos épocas en que puede dividirse el fenómeno. Así, considerando el total de muestras como un solo grupo, obtenemos: $Mg = 46.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\sigma g = 1.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De las figuras 2, 3 y 4 puede obtenerse la probabilidad de una determinada abundancia de aerosoles minerales representada por el área bajo las curvas teóricas (Spiegel, 1961), para cualquier época del año.

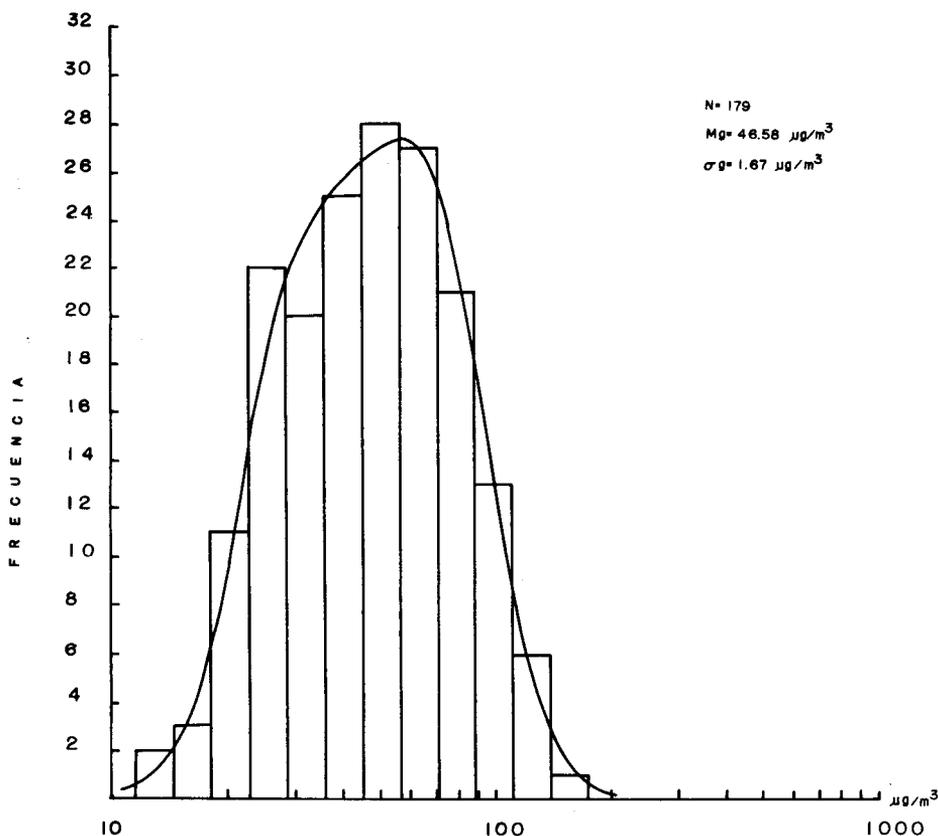


Fig. 4. Distribución de frecuencia de la concentración de aerosol mineral del número total de muestras, Estación de C. U.

Con el objeto de investigar si la actividad humana tiene una influencia en este tipo de aerosol atmosférico, se agruparon las concentraciones según los días de la semana y se obtuvieron sus medias geométricas y desviaciones estándar. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

EPOCA DE LLUVIAS				EPOCA DE SECAS		
Día	N	Mg	σg	N	Mg	σg
Lunes	22	30.48	1.68	21	65.44	1.41
Martes	26	34.89	1.54	21	65.21	1.73
Miércoles	24	35.08	1.56	20	56.21	1.75
Jueves	22	37.66	1.39	19	63.56	1.60

Tabla 2. Medias geométricas y desviaciones estándar para los días de la semana durante las dos épocas (en $\mu g/m^3$ de aerosol mineral).

Empleando el criterio de la "t" de Student, se determinó la confiabilidad con la cual pueden considerarse distintas entre sí las concentraciones medias de cada día de la semana; el resultado puede verse en la Tabla 3, donde se observa que en casi todos los casos la concentración del aerosol mineral de un día respecto a otro es significativamente distinta con un 60% de confiabilidad, excepto para los lunes y los jueves (en la época de lluvias) que pueden considerarse significativamente diferentes con un 80%; sin embargo, el criterio generalmente aceptado requiere de un 95% por

		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves		
EPOCA DE SECAS	Lunes	0	60	60	60	EPOCA DE LLUVIAS	
	Martes	10	0	10	40		
	Miércoles	60	50	0	40		
	Jueves	10	10	40	0		

Tabla 3. Porcentaje de confiabilidad para afirmar que las concentraciones promedio de aerosol mineral de un día a otro son estadísticamente distintas.

lo que podemos afirmar que no existe una diferencia significativa ni siquiera entre las concentraciones medias de los lunes y los jueves. Esto físicamente implica que no existe acumulación de aerosol mineral a lo largo de la semana y confirma la suposición de que los aerosoles muestreados tienen un origen natural y que su concentración no depende de la intensidad de la actividad humana.

Por otra parte, con objeto de investigar el origen del aerosol mineral detectado en el punto de muestreo, se recurrió a los datos de viento registrados en la estación de Tacubaya (Serv. Meteorol. Nal.).

En la figura 5 se muestran las direcciones del viento predominante en los días muestreados, así como su frecuencia de aparición. Puede decirse que, para la época de secas, los vientos soplan preferentemente del 4o. cuadrante (NW) mientras que, en la época de lluvias (época de bajas concentraciones), los vientos soplan preferentemente del 1er. cuadrante (NE).

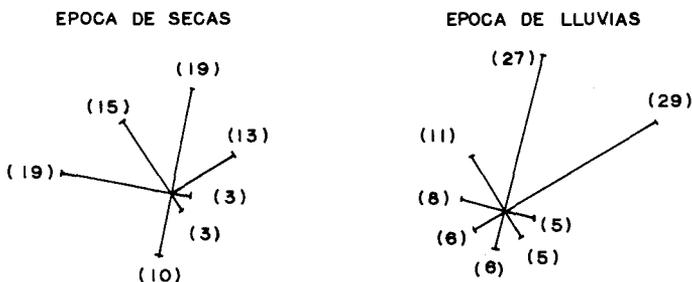


Fig. 5. Dirección del viento dominante (y su frecuencia) en los días muestreados, la longitud de los vectores es proporcional a la frecuencia de aparición, cuyo valor aparece en los paréntesis.

Analizando la figura 6 tenemos que, para la época de secas, la concentración media correspondiente a cada una de las direcciones registradas es aproximadamente igual, habiendo sólo un ligero aumento en la correspondiente a la dirección E-ESE, de donde proviene el 19% del total de aerosol mineral muestreado en esta época. Con respecto a la época de lluvias vemos, en la misma figura 6, que la distribución angular de las concentraciones medias es también bastante homogénea, observándose sólo un ligero aumento en la dirección W-WNW de donde proviene el 16% del aerosol mineral muestreado en esta época. Cabe hacer notar que en ambos casos, la dirección de las mayores concentraciones corresponde a direcciones de donde sopla el viento con relativa baja frecuencia.

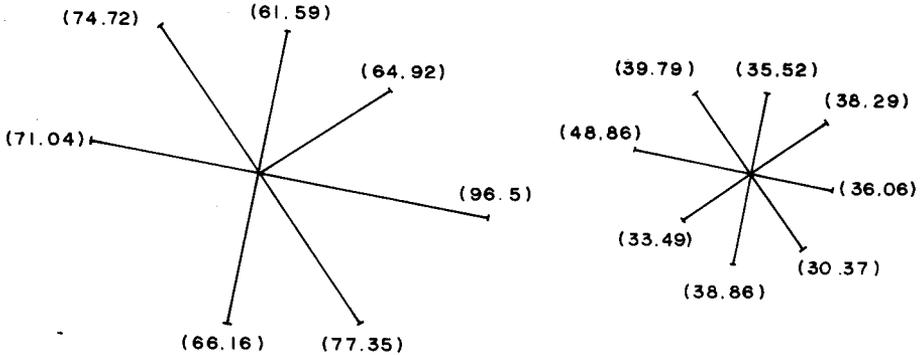


Fig. 6. Distribución direccional (angular) de las concentraciones promedio del aerosol mineral.

Si la distribución angular de las concentraciones la “pesamos” con la frecuencia relativa de los vientos dominantes, se tiene: (figura 7).

Este esquema puede interpretarse como la importancia relativa de la contribución de los vientos dominantes, tanto por la frecuencia de su aparición, como por la concentración del aerosol mineral que transportan. De aquí podría deducirse que, para una misma época, dada la homogeneidad de la distribución angular de las concentraciones, la presencia del aerosol mineral en el punto de observación está determinada por la dirección del viento. Por otro lado, de la época de secas a la de lluvias, hay una reducción significativa (cerca del 50%) en el contenido de aerosoles minerales en la atmósfera, como puede verse de la comparación de las medias geométricas respectivas.

Para estudiar el efecto óptico del aerosol mineral en la atmósfera, se recurrió a buscar una correlación entre el parámetro de turbiedad atmosférica de Ångström (Galindo y Muhlia, 1970) y la concentración de aerosol mineral de origen eólico; no se encontró correlación significativa. Galindo y colaboradores (1977) reportan que la turbiedad atmosférica en la Ciudad de México tiene sus máximos en la época de lluvias, siendo precisamente en esta época cuando se detectan bajas concentraciones de aerosol mineral, lo que nos sugiere que el aerosol de tipo mineral tiene una contribución menor sobre la transparencia atmosférica respecto a la contaminación de origen antropogénico y vapor de agua responsable de estos máximos en la época mencionada.

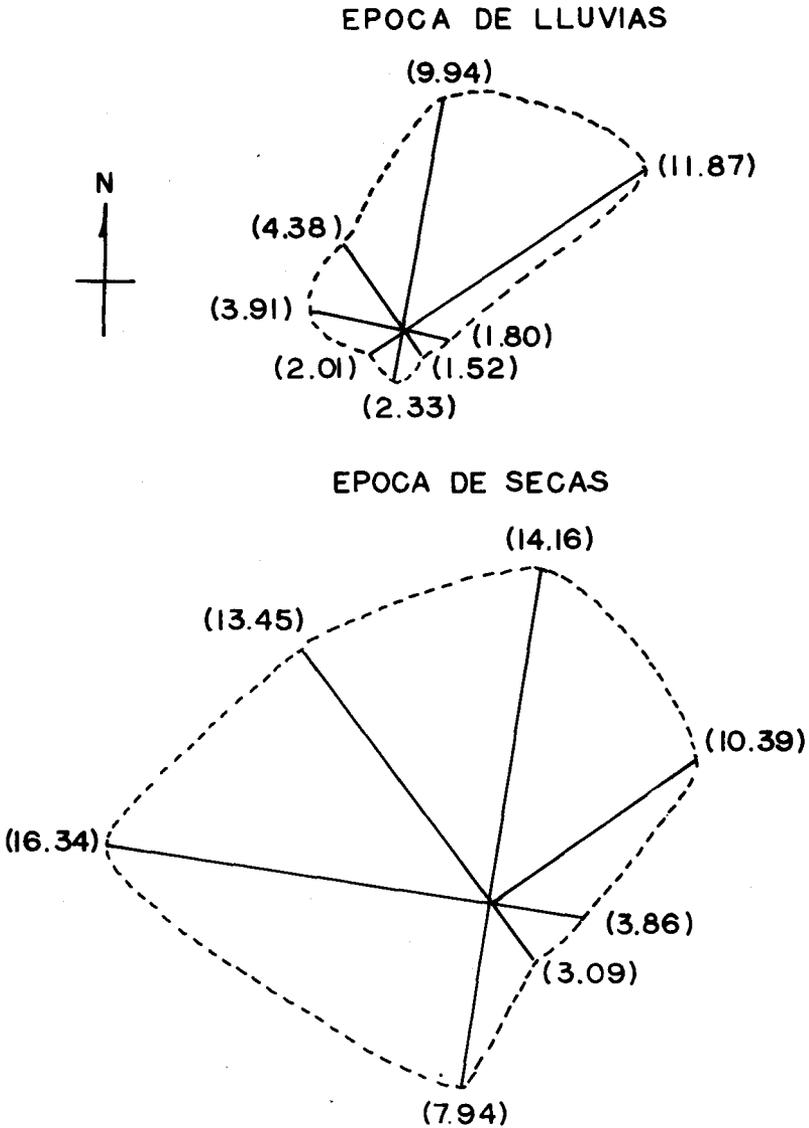


Fig. 7. Distribución angular de las concentraciones "pesadas" con la frecuencia relativa de los vientos dominantes.

CONCLUSIONES

En el estudio realizado se encontraron dos épocas bien definidas en cuanto a concentración de aerosol mineral: una de altas concentraciones (época de secas) y otra de bajas concentraciones (época de lluvias). Las distribuciones de éstas pudieron ser representadas por funciones log-normales. Encontrándose en la época de secas una distribución bimodal debida a vientos relativamente fuertes (moda de baja concentración, $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) provenientes del Sur. Durante la época de secas, la Mg se duplica respecto a la época de lluvias ($70.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $34.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente). La variabilidad de las concentraciones de aerosol mineral es mayor durante la época de secas que durante la época de lluvias. En la primera, las mayores aportaciones de aerosol mineral provienen de la región E-ESE que corresponde a las áreas de Tláhuac, Tulyehualco y Xochimilco, y durante la segunda época la principal aportación proviene de la dirección W-WNW, que corresponde a las áreas de Santa Lucía, Cuajimalpa y Contadero.

Se puede afirmar que el aerosol mineral (natural) en la zona sur de la Ciudad de México en época de secas es de $70.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en época de lluvias de $34.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos hacer patente nuestro agradecimiento al personal técnico del grupo de Radiación Solar del Instituto de Geofísica, compañera: Carmen Ayala, quien realizó la extracción y determinación del aerosol mineral y a los compañeros: Manuel Muñoz, Luis Galindo, Vidal Valderrama y Alfonso Mercado, quienes efectuaron la recolección de muestras.

Agradecemos al Dr. Amando Leyva la cuidadosa lectura, discusión y útiles sugerencias sobre el presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- BRAVO, J. L., S. SALAZAR, A. MUHLIA, 1982. Mineral and Sea Salt Aerosol Concentrations over Low Latitude Tropical Atlantic and Pacific Oceans during FGGE. (To be published) *Geofísica Internacional*.
- BROSSET, C., 1980. Types of Transport Episodes in Northern Europe, Ann. N. Y. Acad. Sci., 338-389.
- CHEPIL, W. S., 1957. Erosion of Soil by Wind. Yearbook of Agriculture, U. S. Dept. of Agriculture, Washington.

- GALINDO, I. G., and A. MUHLIA, 1970. Contribution to the Turbidity Problem in Mexico City. *Arch. Met. Geoph. Bioge., Ser. B*, 18, 169-186.
- GALINDO, I., J. L. BRAVO and S. SALAZAR, 1977. Atmospheric Ozone, Haze Extinction and Anthropogenic Surface Ozone. Proc. Joint Symp. on Atmospheric Ozone, Vol. III, Berlin, National Komitee für Geodäsik und Geophysik bei der Akad. der Wissens der DDR.
- GILLETTE, D., 1980. Major Contributions of Natural Primary Continental Aerosols: Source Mechanisms. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 338:348.
- JAUREGUI, O. E., 1960. Las Tolvaneras de la Ciudad de México. *Ing. Hidr. en México*, 14 (2).
- JAUREGUI, O. E., 1971. Mesomicroclima de la Ciudad de México. Inst. de Geografía, UNAM.
- JUNGE, C., 1952. Gesetzmässigkeiten in der Grössenverteilung Atmosphärischer Aerosole über dem Kontinent. *Ber. Deut. Wetterd. US-Zone*, 35, 261-277.
- KNUTSON, E. D., D. SINCLAIR and B. LEADERER, 1979. New York Aerosol Study: Number Concentration and Size Distribution of Atmospheric Particles. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 322:11.
- KONDRATYEV, K. Ya., V. I. BINENKO, V. F. JVALEV, V. A. IVANOV, M. A. PROKOFIEV, D. V. POZDNIakov, N. E. TEV-MARKARIANA, 1980. El Aerosol y el Clima. Serie de resúmenes sobre problemas científicos, previstos en los planes quinquenales de desarrollo de la economía. Centro de Información del Centro Mundial de Datos. OBNINSK (en ruso).
- LIPPMANN, M., 1980. Size Distribution in Urban Aerosols *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 338:1.
- PATTERSON, E. M. and D. A. GILLETTE, 1977. Commonalities in Measured Size Distribution for Aerosol Having a Soil Derived Component, *J. Geophys. Res.*, 82, 2074.
- SHAW, R. W. and R. K. STEVENS, 1980. Trace Element Abundances and Chemistry of Atmospheric Aerosols: Current Techniques and Future Possibilities. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 338:13.
- SAVOIE, D. L., 1978. Physical and Chemical Characteristics of the Saharan Aerosol over the Tropical Northern Atlantic. Scientific Report. Rosentiel School, University of Miami.
- SPIEGEL, M. R., 1961. Statistics, Schaum's Outline Series, McGraw-Hill Inc.

Servicio Meteorológico Nacional.