

*PRINCIPALES CATIONES SOLUBLES EN AGUA Y
FRACCIONAMIENTO IONICO DEL AEROSOL
ATMOSFERICO MARINO*

S. SALAZAR*

J. L. BRAVO*

(Recibido: 3 de septiembre, 1982)

(Aceptado: 24 de mayo, 1983)

RESUMEN

De enero a marzo y de mayo a julio de 1979 se recolectaron muestras de aerosol atmosférico a bordo del B/O "Mariano Matamoros" en el Noreste del Océano Pacífico Ecuatorial (7° N, 84° W). Se determinaron los principales cationes solubles en agua, potasio, calcio y magnesio, con el fin de evaluar los enriquecimientos de estos elementos con respecto al sodio. Los resultados obtenidos muestran que las distribuciones de los cationes son representadas por curvas log-normales. Los factores de enriquecimiento promedio, obtenidos a partir de las razones de las concentraciones K:Na, Ca:Na, fueron mayores que el 100% y para el Mg:Na no fue significativamente distinto de cero, siendo su única fuente de aportación las sales del mar. Usando la regresión de variable múltiple, se obtuvo que para el K y Ca existe contribución del aerosol de origen continental y del aerosol de fondo. En caso de existir fraccionamiento iónico éste es de poca influencia en el factor de enriquecimiento aquí detectado.

ABSTRACT

Atmospheric aerosol samples were collected in 1979, during two periods: from January to March, and from May to July, on board the ship Mariano Matamoros, in the North East Equatorial Pacific Ocean (7° N, 84° W). The principal cations soluble in water, potassium, calcium and magnesium were determined, with the purpose of evaluating their enrichment factors with respect to sodium. The results show that the cation distributions are represented by log-normal curves. The mean enrichment factors, obtained from the concentration ratios: K:Na, Ca:Na, were larger than a 100% while for Mg:Na the factor was not significantly different from zero, its only source being the sea salts. Using a multiple variable regression, a contribution from aerosols of continental and background origin was found for K, and Ca.

In the case of ionic fractionation, its influence on the enrichment factor is negligible.

* *Instituto de Geofísica, UNAM, MEXICO.*

INTRODUCCION

En 1979 se iniciaron los Períodos Especiales de Observación del Experimento F.G.G.E. Primer Experimento Global del GARP (Programa de Investigación Atmosférica de la Organización Meteorológica Mundial). Las observaciones que aquí se reportan se realizaron de enero a marzo y de mayo a julio, a bordo de los buques oceanográficos "Mariano Matamoros" y "DM 20" en el Océano Pacífico (7° N, 84° W) y Océano Atlántico (7°30'N, 42°30'W), respectivamente.

Uno de los programas realizados durante este experimento fue el estudio de la presencia del aerosol atmosférico de origen continental (Bravo, Salazar y Muhlia, 1981). Dentro de este programa, en el Océano Pacífico, se recolectaron 80 muestras de aerosol atmosférico para determinar los principales cationes solubles en agua: sodio, potasio, calcio y magnesio, con el fin de evaluar los enriquecimientos de estos elementos con respecto al sodio. Cabe mencionar que los datos obtenidos a bordo del B/O "Mariano Matamoros" son los primeros resultados cuantitativos extensivos de aerosol atmosférico en esta región.

El enriquecimiento iónico ha sido estudiado por varios investigadores (Sugawara, Oana y Koyama, 1949; Wilson, 1959; Duce y Woodcock, 1971; Buat-Ménard, Morelli y Chesselet, 1975), quienes han señalado sus principales fuentes: fraccionamiento iónico producido por el rompimiento de la burbuja en la superficie del mar, sales de origen continental transportadas por las masas de aire a través de los océanos, material orgánico en la superficie del mar, alta productividad biológica en la zona y otras.

Para separar las aportaciones al enriquecimiento iónico de las posibles fuentes se aplican diversos métodos químicos y estadísticos (Hoffman y Duce, 1972). En el presente trabajo, para el cálculo de los factores de enriquecimiento (FE) del aerosol atmosférico, se empleó la siguiente fórmula (Duce, Stumm y Prospero, 1972):

$$FE = \frac{(X/Na) \text{ aerosol atmosférico}}{(X/Na) \text{ agua de mar}} - 1 \quad (1)$$

donde X es la concentración del elemento en cuestión; los valores de FE pueden ser positivos, negativos o cero, indicando con ello: aportación, disminución o no enriquecimiento relativo al sodio, respectivamente. Esta relación tiene su fundamento en la virtual constancia de la concentración relativa de los principales constituyentes de la sal en el Océano Mundial y su independencia respecto a la salinidad del agua.

MUESTREO

El aerosol atmosférico marino fue recolectado con un muestreador de grandes volúmenes, localizado a una altura de 10 m sobre el nivel del mar. Los filtros usados fueron Whatman No.41 de 8" x 10", utilizando un flujo aproximado de 1.2 m³/min, el tiempo de muestreo fue de 24 horas, iniciándolo a las 08:00 (± 15 minutos). Cada siete días un filtro blanco (filtro no expuesto) era colocado en el porta-filtro y almacenado para posterior análisis. La posible contaminación de los filtros durante su manejo y colocación fue detectada con el análisis de los filtros blancos.

EXTRACCION Y ANALISIS

Un cuarto de filtro cortado en pequeñas porciones es centrifugado en un tubo especial, el cual contiene en su base un filtro Gelman o Millipore (de 25 mm de diámetro y tamaño de poro 0.45 μ) lavado previamente con ácido acético 0.05 M. El mismo tratamiento es usado para muestras (N = 80) y filtros blancos (N = 12); todos fueron lavados con tres alícuotas de agua destilada y desionizada (Savoie, 1978). Cada lavado es seguido de un reposo de 30 minutos, después del cual el material es centrifugado a 1500 RPM durante 5 minutos. La solución fue almacenada a 7°C para posterior análisis por absorción atómica; para estos análisis se utilizó un espectrómetro marca Perkin-Elmer Modelo 403 de doble haz. Para la determinación de Na, K, y Mg se empleó flama de aire-acetileno y para el Ca flama de acetileno-óxido nítrico.

El cuarto de filtro lavado, junto con el filtro Gelman o Millipore es colocado en un crisol para su desecación. Después 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.

RESULTADOS Y DISCUSION

Con las concentraciones de los elementos Na, K, Ca y Mg (ver Apéndice A), se construyeron histogramas para investigar los tipos de distribución, comprobándose que se comportan como log-normales (Larsen, 1969; Singpurwalla, 1972; Bengala y Seinfeld, 1976). Los histogramas y sus parámetros estadísticos se presentan en la figura 1.

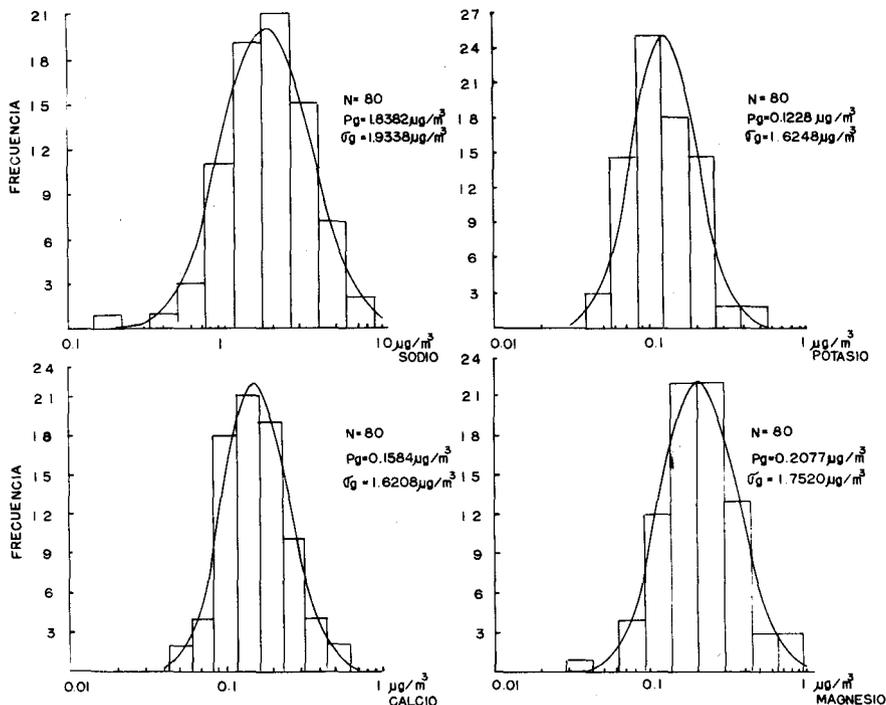


Fig. 1. Distribución de frecuencias de la concentración de los cationes Na, K, Ca y Mg en el Noreste del Océano Pacífico Ecuatorial durante el F. G. G. E.

Los resultados de las razones promedio de las concentraciones de los elementos relativos al sodio y sus factores de enriquecimiento (FE), se presentan en la Tabla 1.

Como puede observarse, las incertidumbres de los factores de enriquecimiento: $\pm 13.0\%$, $\pm 15.7\%$ y $\pm 6.7\%$ (para el potasio, calcio y magnesio, respectivamente) han sido calculadas a partir de las incertidumbres del promedio de la población y representan el 68% de confiabilidad.

También puede observarse que los FE para K y Ca son significativamente diferentes de cero; esto implica que ha habido contribución de otras fuentes para el K y Ca y no para el Mg.

Las fuentes que han sido mencionadas como posibles contribuyentes a estos enriquecimientos pueden clasificarse en tres grupos.

Tabla 1
Resumen de las razones K:Na, Ca:Na, Mg:Na y sus respectivos factores de enriquecimientos (FE)

Parámetro	K:Na	Ca:Na	Mg:Na
Promedio Aritmético	0.0762	0.0970	0.1236
σ_a	0.0470	0.0592	0.0750
σ_x	0.0050	0.0060	0.0080
Agua de mar*	0.0371	0.0383	0.1193
FE%	105.4 ± 13.0	153.2 ± 15.7	3.6 ± 6.7

σ_a : representa la desviación estándar de la muestra

σ_x : representa la desviación estándar del promedio de la población

* Culkin y Cox, 1966; Carpenter y Manella, 1973.

En el primero podemos colocar todas las aportaciones de aerosol atmosférico de origen continental transportado por las masas de aire; estos están correlacionados con el contenido de aerosol mineral (aerosol no soluble en agua) de la muestra.

En el segundo se incluyen las aportaciones de material orgánico en la superficie del mar, productividad biológica de la zona, etcétera, o sea, aquella cuya contribución no está correlacionada con el contenido de sodio (sal de mar), ni con el contenido de minerales de la muestra.

En el tercero se incluye el fraccionamiento iónico o sea la aportación de alguno de los elementos en cuestión, por rompimiento de las burbujas en la interfase agua-aire, en una proporción diferente a la de la sal de mar.

Para separar la proporción en que las diferentes fuentes contribuyen, se recurrió al método estadístico de regresión de variable múltiple (RVM), en el cual se ajusta por mínimos cuadrados una ecuación lineal del tipo:

$$C_x = AC_{Na} + BC_{Min} + C_o$$

Donde:

C_x = Abundancia del elemento en cuestión.

A = Coeficiente de regresión del Na, que representa la razón entre el elemento en cuestión y el Na.

B = Coeficiente de regresión de los minerales, que representa la razón entre el elemento en cuestión y los minerales.

C_o = Representa la contribución del aerosol de fondo.

Los resultados de la RVM se presentan en las ecuaciones (1-a) y (1-b) correspondientes al K y Ca. El Mg fue excluido puesto que su factor de enriquecimiento no es significativamente diferente de cero.

$$K = (0.0383)Na + (0.00778)Min + (0.0447); 3.2 \pm 19.9\% \quad (1 - a)$$

$\pm 0.0074 \quad \pm 0.00678 \quad \pm 0.010$

$$Ca = (0.0460)Na + (0.02194)Min + (0.0523); 20.1 \pm 21.6\% \quad (1 - b)$$

$\pm 0.0083 \quad \pm 0.00767 \quad \pm 0.0121$

Los términos que se encuentran debajo de los coeficientes de regresión representan el intervalo correspondiente al 95% de confiabilidad; como puede observarse, ninguno de los coeficientes de regresión puede considerarse despreciable.

Las aportaciones calculadas a partir de los coeficientes de regresión del Na fueron, para K: $3.2 \pm 19.9\%$, para Ca: $20.1 \pm 21.6\%$; nótese que disminuyeron considerablemente con respecto a los FE calculados anteriormente (K:Na $105.4 \pm 13.0\%$, Ca:Na $153.2 \pm 15.7\%$) siendo los valores de esas aportaciones menores que su incertidumbre. Esto sugiere que para el K no existe fraccionamiento iónico significativo y que en el caso del Ca, considerando que su aportación es ligeramente alta (20.1%) y que este valor se encuentra 1.5% por debajo del intervalo del 95% de confiabilidad ($\pm 21.6\%$), implica que pudiera existir un ligero fraccionamiento iónico. Para decidir, con mayor confiabilidad, si existe o no fraccionamiento iónico, se necesitaría contar con un mayor número de muestras.

En el caso del Mg, como ya se ha mencionado, no se requiere de la RVM para afirmar que no existe fraccionamiento iónico como se vio en la Tabla 1, puesto que su FE no fue significativamente diferente de cero.

El hecho de que los coeficientes de regresión para los minerales y el término independiente sean significativamente distintos de cero, implica que existe contribu-

ción de K y Ca por aerosoles de origen continental y aerosoles de fondo. Tomando en consideración que el promedio de la concentración de aerosol mineral en el punto de muestreo es de $0.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bravo, Salazar y Muhlia, 1981) se obtiene que de estas dos fuentes la predominante es el aerosol de fondo.

Algunos autores hacen notar la fuerte dependencia geográfica de los enriquecimientos de los elementos en aerosoles atmosféricos marinos (Buat-Ménard, Morelli y Chesselet, 1974; Prospero y Bonatti, 1969). En lo general se han encontrado enriquecimientos de potasio en zonas donde las aguas superficiales del mar son caracterizadas por alta productividad biológica, debida a la abundancia de material orgánico en su superficie (Garrett, 1967; Morelli, Buat-Ménard y Chesselet, 1974; MacIntyre, 1974). Los enriquecimientos de calcio se han encontrado con mayor frecuencia en las latitudes de las zonas desérticas (Hoffman *et al.*, 1977; Galindo, 1978, Prospero, 1979b) atribuyéndolo a los principales constituyentes minerales de polvo continental tales como arcillas y cuarzos (Delany *et al.*, 1967) ligeramente solubles en agua. La presencia de Mg en los aerosoles marinos se atribuye exclusivamente a las sales de mar, ya que el polvo contribuye mínimamente (Buat-Ménard, Morelli y Chesselet, 1974; Savoie y Prospero, 1980).

El punto de muestreo del presente trabajo se sitúa en la parte nor-oriental del Pacífico Ecuatorial, en donde se reporta que existe una gran acumulación de material orgánico, además de que la zona es considerada como de alta productividad biológica y altos valores de CaCO_3 asociados a sus costas (Garrels y MacKenzie, 1971). Esto nos ayuda a reafirmar que los enriquecimientos obtenidos tienen su origen en el aerosol de fondo y en el aerosol de origen continental.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de los elementos sodio, potasio, calcio y magnesio en el aerosol atmosférico recolectado tienen distribuciones log-normales. Los factores de enriquecimiento promedio, obtenidos a partir de las concentraciones para el K y Ca relativas al sodio fueron mayores que el 100% y para el Mg no fue significativamente distinto de cero, lo cual sugiere que para este último, su fuente es exclusivamente las sales de mar.

Se empleó el método estadístico de la regresión de variable múltiple para separar las fuentes correlacionadas con aportaciones de los principales cationes, obteniéndose que para el K y Ca existe contribución de aerosol de origen continental y aerosol de fondo. Con base en los coeficientes de regresión del sodio para el potasio y calcio, y en el valor del factor de enriquecimiento del magnesio se encontró que, en caso de existir fraccionamiento iónico, éste deberá ser de poca influencia en el FE.

Apéndice A.

Concentraciones de los cationes Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio y Aerosol Mineral ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el Océano Pacífico durante FGGE.

No.	Fecha	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Minerales
1	9-10 .I.79	0.761	0.047	0.052	0.080	0.48
2	10-11 .I.79	1.215	0.074	0.093	0.266	0.28
3	11-12 .I.79	4.724	0.064	0.088	0.134	0.39
4	12-13 .I.79	1.045	0.076	0.149	0.108	0.23
5	13-14 .I.79	1.897	0.108	0.159	0.206	0.52
6	14-15 .I.79	0.405	0.050	0.078	0.035	0.44
7	15-16 .I.79	0.179	0.059	0.087	0.124	0.16
8	16-17 .I.79	1.216	0.073	0.077	0.116	0.19
9	17-18 .I.79	1.649	0.080	0.122	0.179	0.40
10	18-19 .I.79	2.038	0.101	0.162	0.236	0.55
11	19-20 .I.79	1.578	0.094	0.121	0.527	0.52
12	20-21 .I.79	3.474	0.166	0.194	0.347	0.44
13	21-22 .I.79	1.217	0.086	0.185	0.172	1.79
14	22-23 .I.79	1.295	0.098	0.107	0.152	0.83
15	23-24 .I.79	1.165	0.060	0.074	0.097	0.39
16	25-26 .I.79	1.255	0.084	0.098	0.144	0.63
17	27-28 .I.79	0.715	0.111	0.092	0.097	0.95
18	28-29 .I.79	1.600	0.097	0.117	0.200	1.07
19	5- 6 .II.79	1.155	0.150	0.140	0.090	2.47
20	6- 7 .II.79	1.059	0.142	0.199	0.119	1.47
21	7- 8 .II.79	2.339	0.257	0.219	0.322	1.61
22	8- 9 .II.79	0.874	0.218	0.183	0.273	1.34
23	9-10 .II.79	5.632	0.306	0.316	0.562	1.58
24	10-11 .II.79	4.289	0.256	0.355	0.427	0.62
25	11-12 .II.79	1.209	0.130	0.098	0.143	0.47
26	12-13 .II.79	0.874	0.104	0.091	0.113	0.48
27	13-14 .II.79	1.939	0.123	0.197	0.210	0.92
28	14-15 .II.79	1.742	0.149	0.117	0.181	0.43
29	15-16 .II.79	1.329	0.101	0.083	0.143	0.74
30	16-17 .II.79	0.534	0.074	0.060	0.069	0.46
31	17-18 .II.79	1.753	0.159	0.156	0.195	2.50
32	18-19 .II.79	3.205	0.199	0.189	0.342	0.39
33	19-20 .II.79	1.754	0.100	0.139	0.214	0.98
34	20-21 .II.79	7.378	0.467	0.402	0.734	4.58
35	21-22 .II.79	2.497	0.205	0.192	0.268	1.54
36	22-23 .II.79	1.753	0.110	0.105	0.187	0.24
37	23-24 .II.79	2.950	0.181	0.199	0.325	1.30
38	24-25 .II.79	2.801	0.218	0.241	0.396	2.12
39	25-26 .II.79	2.593	0.181	0.213	0.264	1.88
40	26-27 .II.79	2.682	0.174	0.178	0.311	0.89
41	27-28 .II.79	3.752	0.204	0.230	0.399	0.89
42	28- 1 .III.79	1.412	0.100	0.114	0.174	0.14
43	1- 2 .III.79	1.393	0.158	0.140	0.158	2.01

Apéndice A (cont.)

No.	Fecha	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Minerales
44	2- 3.III.79	3.127	0.232	0.292	0.334	3.37
45	3- 4.III.79	1.748	0.112	0.260	0.197	3.92
46	4- 5.III.79	0.796	0.087	0.096	0.105	1.17
47	5- 6.III.79	1.759	0.096	0.146	0.201	0.71
48	13-14.V.79	1.846	0.082	0.109	0.205	0.11
49	15-16.V.79	1.565	0.086	0.090	0.149	0.13
50	16-17.V.79	3.461	0.156	0.244	0.364	0.07
51	19-20.V.79	0.783	0.067	0.140	0.086	0.45
52	20-21.V.79	2.737	0.109	0.166	0.270	1.40
53	22-23.V.79	0.619	0.110	0.137	0.119	0.71
54	23-24.V.79	1.052	0.195	0.168	0.145	1.39
55	4- 5.VI.79	7.303	0.384	0.444	0.796	0.32
56	5- 6.VI.79	2.732	0.123	0.183	0.321	0.27
57	6- 7.VI.79	3.840	0.199	0.443	0.560	0.44
58	7- 8.VI.79	2.516	0.155	0.203	0.223	1.41
59	8- 9.VI.79	1.638	0.075	0.108	0.189	0.21
60	9-10.VI.79	4.439	0.217	0.248	0.470	0.16
61	10-11.VI.79	2.118	0.155	0.142	0.229	0.34
62	13-14.VI.79	5.956	0.309	0.535	0.780	1.23
63	14-15.VI.79	3.789	0.060	0.093	0.145	0.14
64	16-17.VI.79	4.325	0.168	0.282	0.259	0.75
65	17-18.VI.79	2.464	0.101	0.202	0.277	0.44
66	18-19.VI.79	3.873	0.231	0.307	0.165	0.31
67	19-20.VI.79	1.626	0.079	0.195	0.185	2.25
68	20-21.VI.79	3.203	0.169	0.471	0.268	13.05
69	21-22.VI.79	0.877	0.050	0.110	0.106	1.06
70	22-23.VI.79	1.963	0.079	0.130	0.219	0.21
71	23-24.VI.79	4.695	0.117	0.178	0.267	0.19
72	24-25.VI.79	2.481	0.092	0.165	0.262	0.32
73	25-26.VI.79	1.599	0.082	0.123	0.178	0.50
74	26-27.VI.79	1.577	0.109	0.155	0.195	0.62
75	27-28.VI.79	1.816	0.159	0.263	0.404	1.16
76	28-29.VI.79	2.989	0.213	0.204	0.308	0.47
77	29-30.VI.79	1.814	0.135	0.139	0.265	0.44
78	30- 1.VII.79	2.478	0.149	0.242	0.257	0.82
79	1- 2.VII.79	1.149	0.096	0.161	0.262	0.55
80	2- 3.VII.79	0.851	0.080	0.127	0.104	0.94

AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen patente su agradecimiento al Dr. Joseph M. Prospero y a su grupo de colaboradores: R. T. Nees, D. L. Savoie, R. A. Glaccum en la Universidad de Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, por las facilidades de los muestreadores para realizar el experimento y la asesoría técnica.

Nuestro agradecimiento a la I. Q. Anabelle Ruiz C. y a la Quím. Delia Aguilar B., del Laboratorio Central de la Sub-Dirección de la Investigación y Entrenamiento de la S.A.R.H., por la ayuda prestada en el análisis de las muestras. También, al personal técnico del grupo de Radiación Solar del Instituto de Geofísica, compañeros: Carmen Ayala, Vidal Valderrama, Ernesto Jiménez de la Cuesta, José Manuel Muñoz y Mario de la Rosa, por la toma de muestras durante los períodos de observación y preparación de las mismas.

Agradecemos a los Dres. Carlos Gay y Amando Leyva la cuidadosa lectura y útiles sugerencias que nos hicieron llegar sobre el presente artículo.

BIBLIOGRAFIA

- BENCALA, K. E. and J. H. SEINFELD, 1976. On frequency distributions of air pollutant concentrations. *Atmos. Environ.*, 10, 941-950.
- BRAVO, J. L., S. SALAZAR and A. MUHLIA, 1981. Mineral and sea salt aerosol concentrations over low latitude tropical Atlantic and Pacific oceans during FGEE. *Geof. Intern.*, 20, 4, 303-317.
- BUAT-MENARD, P., J. MORELLI and R. CHESSELET, 1974. Water-soluble elements in atmospheric particulate matter over tropical and equatorial Atlantic. *J. Rech. Atmos.*, 8, (3-4), 661-673.
- CARPENTER, J. H. and M. E. MANELLA, 1973. Magnesium to Chlorinity Ratios in Seawater. *J. Geophys. Res.*, 78, 18, 3621-3626.
- CULKIN, R. and R. A. COX, 1966. Sodium, potassium, magnesium, calcium and strontium in sea-water. *Deep-Sea Res.*, 13, 789-804.
- DELANY, A. C., D. W. PARKIN, J. J. GRIFFIN and E. E. GOLDBERG, 1967. Airborne dust collected at Barbados. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31, 885-909.
- DUCE, R. A. and A. H. WOODCOCK, 1971. Differences in chemical composition of atmospheric sea salt particles produced in the surf zone and on the open sea in Hawaii, *Tellus*, 23, 427-435.
- DUCE, R. A., W. STUMM and J. M. PROSPERO, 1972. Working Symposium on Sea-Air Chemistry; Summary and recommendations, *J. Geophys. Res.*, 77, 5059-5061.

- GALINDO, I., 1978. On the presence of Saharian Aerosol at the western part of the Atlantic Ocean. *Zeitschrift für Meteorologie*, 28, 6, 351-360.
- GARRELS, R. M. and F. T. MacKENZIE, 1971. Evolution of Sedimentary Rocks, W. W. Norton, New York.
- GARRETT, W. D., 1967. Stabilization of air-bubbles at the air-sea interface by surface active material. *Deep-Sea Res.*, 14, 661-672.
- HOFFMAN, G. L. and R. A. DUCE, 1972. Consideration of the chemical fractionation of alkali and alkaline earth metals in the Hawaiian marine atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 77, 27, 5161-5169.
- HOFFMAN, E. J., G. L. HOFFMAN, I. S. FLETCHER and R. A. DUCE, 1977. Further consideration of alkali and alkaline earth geochemistry of marine aerosol: Results of a study of marine aerosols collected on Bermuda. *Atmos. Environ.*, 11, 373-377.
- LARSEN, R. I., 1969. A new mathematical model of air pollutant concentration averaging time and frequency. *J. Air Pollut. Cont. Ass.*, 19, 24-30.
- MacINTYRE, F., 1970. Geochemical fractionation during mass transfer from sea to air by breaking bubbles. *Tellus*, 22, 451-461.
- MORELLI, J., P. BUAT-MENARD and R. CHESSELET, 1974. Étude à bord d'un radeau laboratoire de la formation d'aérosols à la surface de la mer. *J. Rech. Atmos.*, 8 (3-4), 961-985.
- PROSPERO, J. M. and E. BONATTI, 1969. Continental dust in the atmosphere of the Eastern Equatorial Pacific. *J. Geophys. Res.*, 74, 13, 3362-3371.
- PROSPERO, J. M., 1979b. Eolian transport to the world ocean, in *The Oceanic Lithosphere, The Sea*, Vol. VII, edited by C. Emiliani, John Wiley, New York.
- SAVOIE, D. L., 1978. Physical and chemical characteristics of the Saharian aerosol over the tropical northern Atlantic. Scientific Report, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami.
- SAVOIE, D. L. and J. M. PROSPERO, 1980. Water-soluble Potassium, Calcium, and Magnesium in the Aerosol Over the Tropical North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 85, C1, 385-392.
- SINGPURWALLA, N. D., 1972. Extreme values from a log-normal law with application to air pollution problems. *Techonometrics*, 14 (3), 703-711.
- SUGAWARA, K., S. OANA and T. KOYAMA, 1949. Separation of the components of atmospheric salts and their distribution. *Bull. Chem. Soc. Jap.*, 22, 47-52.
- WILSON, A. T., 1959. Surface of the ocean as a source of airborne nitrogenous material and other plant nutrients. *Nature*, 184, 99-101.