

38
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

“DETERMINACION DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y SU CONTENIDO DE CARBON, PLOMO, COBRE Y CADMIO, COMO EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO”.



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
Q U I M I C O
P R E S E N T A :
MARIA DOLORES NAVA TIRADO



FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

	pág.
Contenido.	i
Lista de figuras.	v
Lista de tablas.	xiii
Resumen	xvi
I. Introducción	1
II. Antecedentes	4
II. 1. Localización del área de estudio.	4
II. 2. Meteorología del área de estudio.	4
II. 3. Importancia del estudio de las partículas suspendidas totales y su contenido de carbón y metales pesados.	9
II. 4. Fuentes de emisiones de partículas.	12
II. 5. Fuentes de emisión de cadmio, cobre, plomo y carbón.	14
II. 5. 1. Cadmio	15
II. 5. 2. Cobre	15
II. 5. 3. Plomo	16
II. 5. 4. Carbón	21
II. 6. Usos de las mediciones de partículas suspendidas totales.	26
II. 7. Utilización del contenido de cadmio, cobre, plomo y carbón en partículas suspendidas totales como indicadores de contaminación atmosférica.	32
II. 7. 0. Introducción	32
II. 7. 1. Cadmio	32
II. 7. 2. Cobre	32
II. 7. 3. Plomo	34
II. 7. 4. Carbón	34
II. 8. Efectos en la salud de las partículas suspendidas totales, carbón, plomo, cobre y cadmio.	35

II. 8. 1. Partículas suspendidas.	35
II. 8. 2. Carbón	36
II. 8. 3. Plomo	36
II. 8. 4. Cobre	38
II. 8. 5. Cadmio	39
III. Metodología.	42
III. 1. Introducción.	42
III. 2. Descripción del muestreador de grandes volúmenes (HI-Vol).	42
III. 3. Localización de los muestreadores (HI-Vol).	44
III. 4. Toma de las muestras.	47
III. 5. Métodos de análisis de masa de partículas y metales.	49
III. 5. 1 Antecedentes.	49
III. 5. 2 Determinación de partículas suspendidas totales (PST) método gravimétrico.	49
III. 5. 3 Determinación de metales.	51
III. 5. 4 Determinación de carbón.	52
III. 6. Métodos estadísticos de manejo de datos.	54
III. 6. 1 Introducción.	54
III. 6. 2 Técnicas estadísticas de aplicación en muestreo de PST.	54
a. Análisis gráfico de datos.	54
b. Distribución de frecuencia.	55
III. 6. 3 Mediciones de tendencia central.	55
a. Media o promedio aritmético.	55
b. Mediana.	56
c. Moda	58
d. Relación empírica entre media, mediana y moda.	58
e. Cuartiles, deciles y percentiles.	58
f. Representaciones estadísticas tipo "boxplots" y de intervalos del 95%	58

III. 6. 4. Medidas de dispersión	59
a. Rango	59
b. Desviación estándar	61
c. Desviación estándar geométrica.	61
III. 6. 5. Regresión, tendencias y predicción.	62
Introducción.	62
a. Predicción	62
b. Regresión	63
c. Series de tiempo	66
d. Pronóstico	67
IV. Discusión de resultados.	69
IV. 1. Análisis gráfico de datos.	69
IV. 1. 1. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB).	69
IV. 1. 2. Ciudad Universitaria (CU).	86
IV. 1. 3. Tacubaya.	98
IV. 2. Análisis estadístico por histogramas de frecuencia.	110
IV. 2. 1. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB).	110
IV. 2. 2. Ciudad Universitaria (CU).	117
IV. 2. 3. Tacubaya.	123
IV. 3. Análisis estadístico aritmético.	129
IV. 4. Análisis de percentiles de los datos.	130
Boxplots.	130
IV. 4. 1. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB).	130
IV. 4. 2. Ciudad Universitaria (CU).	137
IV. 4. 3. Tacubaya.	144
IV. 5. Intervalos de confianza del 95%.	151
IV. 5. 1. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB).	151
IV. 5. 2. Ciudad Universitaria (CU).	158

IV. 5. 3.	Tacubaya.	165
IV. 6.	Análisis de medidas de dispersión	172
IV. 6.1.	Rango.	172
IV. 6. 2.	Desviación estándar geométrica.	172
IV. 7.	Análisis de estadísticos de regresión, tendencia y predicción.	174
IV. 7. 1.	Regresión	174
IV. 7. 2.	Series de tiempo y pronóstico.	209
IV. 7. 2. 1.	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB).	209
IV. 7. 2. 2.	Ciudad Universitaria (CU).	215
IV. 7. 2. 3.	Tacubaya.	221
V.	Conclusiones.	227
VI.	Bibliografía.	231
	Anexo A. Cálculos para determinar el contenido de partículas suspendidas totales y su contenido en carbono y metales, en el muestreador de grandes volúmenes (Hi-Vol).	236
	Anexo B. Matrices de correlación en regresión lineal.	238

LISTA DE FIGURAS	pág.
1. Cuenca del Valle de México y el patrón regular del flujo de viento dominante.	7
2. Variación mensual de la capa de mezclado vespertina y matutina en la ZMCM.	8
3. Variación de la capa de mezclado en la ZMCM (Teórica en función de la temperatura).	8
4. Distribución esquemática de aerosoles y partículas urbanas.	11
5. Localización de las principales industrias en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.	17
6. Distribución de la industria en la ZMCM, 1960-1980.	18
7. Zona de E N C B.	29
8. Zona de C U.	30
9. Zona de Tacubaya.	31
10. Muestreador HI-Vol.	43
11. Trayectoria del aire a muestrear a través del interior de la coraza del muestreador HI-Vol.	43
12. Diagrama esquemático del procedimiento para localizar las estaciones de muestreo de PST tipo vecinal.	45
13. Estaciones de muestreo de PST en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.	46
14. Hoja de registro diaria.	50
15. Esquema ilustrativo de una distribución asimétrica de datos estadísticos (mediana & media).	57
16. Descripción de la simbología de los gráficos "Boxplots".	60
17. Ejemplo ilustrativo del uso de intervalos de confianza para determinar cambios estadísticos significativos.	60
18. Curva de regresión lineal.	64
19. Concentraciones diarias de PST en la estación E N C B del año 1982-1987.	71

20. Concentraciones diarias de carbón en la estación E N C B del año 1982-1987.	pág. 74
21. Concentraciones diarias de plomo en la estación E N C B del año 1982-1987.	77
22. Concentraciones diarias de cobre en la estación E N C B del año 1982-1987.	80
23. Concentraciones diarias de cadmio en la estación E N C B del año 1982-1987.	84
24. Concentraciones diarias de PST en la estación C U del año 1982-1987.	88
25. Concentraciones diarias de carbón en la estación C U del año 1982-1987.	90
26. Concentraciones diarias de plomo en la estación C U del año 1982-1987.	92
27. Concentraciones diarias de cobre en la estación C U del año 1982-1987.	94
28. Concentraciones diarias de cadmio en la estación C U del año 1982-1987.	96
29. Concentraciones diarias de PST en la estación de Tacubaya del año 1984-1987.	100
30. Concentraciones diarias de carbón en la estación de Tacubaya del año 1984-1987.	102
31. Concentraciones diarias de plomo en la estación de Tacubaya del año 1984-1987.	104
32. Concentraciones diarias de cobre en la estación de Tacubaya del año 1984-1987.	106
33. Concentraciones diarias de cadmio en la estación de Tacubaya del año 1984-1987.	108
34. Histograma de frecuencia de concentración de PST para ENCB en el período enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.	112
35. Histograma de frecuencia de concentración de carbón para ENCB en el período enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.	113

	pág.
36. Histograma de frecuencia de concentración de plomo para ENCB en el período enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.	114
37. Histograma de frecuencia de concentración de cobre para ENCB en el período enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.	115
38. Histograma de frecuencia de concentración de cadmio para ENCB en el período enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.	116
39. Histograma de frecuencia de concentración de PST para CU en el período enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.	118
40. Histograma de frecuencia de concentración de carbón en PST para CU en el período enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.	119
41. Histograma de frecuencia de concentración de plomo en PST para CU en el período enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.	120
42. Histograma de frecuencia de concentración de cobre en PST para CU en el período enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.	121
43. Histograma de frecuencia de concentración de cadmio en PST para CU en el período enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.	122
44. Histograma de frecuencia de concentración de PST para Tacubaya en el período enero-febrero-marzo de 1984 a 1987.	124
45. Histograma de frecuencia de concentración de carbón en PST para Tacubaya en el período enero-febrero-marzo de 1984 a 1987.	125
46. Histograma de frecuencia de concentración de plomo en PST para Tacubaya en el período enero-febrero-marzo de 1984 a 1987.	126
47. Histograma de frecuencia de concentración de cobre en PST para Tacubaya en el período enero-febrero-marzo de 1984 a 1987.	127
48. Histograma de frecuencia de concentración de cadmio en PST para Tacubaya en el período enero-febrero-marzo de 1984 a 1987.	128
49. Percentiles de concentración trimestral de partículas suspendidas totales en ENCB para el período 1982 a 1987.	132
50. Percentiles de concentración trimestral de carbón en partículas suspendidas totales en ENCB para el período 1982 a 1987.	133
51. Percentiles de concentración trimestral de plomo en partículas suspendidas totales en ENCB para el período 1982 a 1987.	134

	pág.
52. Percentiles de la concentración trimestral de cobre en partículas suspendidas totales en ENCB para el período 1982 a 1987.	135
53. Percentiles de la concentración trimestral de cadmio en partículas suspendidas totales en ENCB para el período 1982 a 1987.	136
54. Percentiles de la concentración trimestral de partículas suspendidas totales en CU para el período 1982 a 1987.	139
55. Percentiles de la concentración trimestral de carbón en partículas suspendidas totales en CU para el período 1982 a 1987.	140
56. Percentiles de la concentración trimestral de plomo en partículas suspendidas totales en CU para el período 1982 a 1987.	141
57. Percentiles de la concentración trimestral de cobre en partículas suspendidas totales en CU para el período 1982 a 1987.	142
58. Percentiles de la concentración trimestral de cadmio en partículas suspendidas totales en CU para el período 1982 a 1987.	143
59. Percentiles de la concentración trimestral de partículas suspendidas totales en Tacubaya para el período 1984 a 1987.	146
60. Percentiles de la concentración trimestral de carbón en partículas suspendidas totales en Tacubaya para el período 1984 a 1987.	147
61. Percentiles de la concentración trimestral de plomo en partículas suspendidas totales en Tacubaya para el período 1984 a 1987.	148
62. Percentiles de la concentración trimestral de cobre en partículas suspendidas totales en Tacubaya para el período 1984 a 1987.	149
63. Percentiles de la concentración trimestral de cadmio en partículas suspendidas totales en Tacubaya para el período 1984 a 1987.	150
64. Tendencia de los promedios de PST en la estación E N C B , del año 1982-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	153
65. Tendencia de los promedios de carbón en la estación E N C B , del año 1982-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	154
66. Tendencia de los promedios de plomo en la estación E N C B , del año 1982-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	155
67. Tendencia de los promedios de cobre en la estación E N C B , del año 1982-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	156

	pág.
68. Tendencia de los promedios de cadmio en la estación E N C B , del año 1982-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	157
69. Tendencia de los promedios de PST en la estación CU, del año 1982-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	160
70. Tendencia de los promedios de carbón en la estación CU, del año 1982-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	161
71. Tendencia de los promedios de plomo en la estación CU, del año 1982-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	162
72. Tendencia de los promedios de cobre en la estación CU, del año 1982-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	163
73. Tendencia de los promedios de cadmio en la estación CU, del año 1982-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	164
74. Tendencia de los promedios de PST en la estación Tacubaya, del año 1984-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	167
75. Tendencia de los promedios de carbón en la estación Tacubaya, del año 1984-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	168
76. Tendencia de los promedios de plomo en la estación Tacubaya, del año 1984-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	169
77. Tendencia de los promedios de cobre en la estación Tacubaya, del año 1984-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	170
78. Tendencia de los promedios de cadmio en la estación Tacubaya, del año 1984-1987, utilizando intervalos de confianza del 95%.	171
79. Análisis de regresión de cadmio en la zona de CU y cadmio en la zona de *Tacubaya, contenidos en PST, en el año 1987.	175
80. Análisis de regresión de carbón y plomo, contenidos en PST, en la zona de Tacubaya en el año de 1986.	176
81. Análisis de regresión de cobre en la zona de CU y cobre en la zona de ENCB, contenidos en PST, en el año de 1986.	177
82. Análisis de regresión de carbón en la zona de CU y carbón en la zona de *Tacubaya contenidos en PST, en el año de 1987.	179
83. Análisis de regresión de PST y carbón contenido en PST, en la zona de Tacubaya, en el año de 1986.	180

	pág.
84. Análisis de regresión de carbón y plomo, contenidos en PST, en la zona de CU en el año de 1982.	181
85. Análisis de regresión de plomo en la zona de ENCB y plomo en la zona de *Tacubaya, contenidos en PST, en el año de 1987.	182
86. Análisis de regresión de PST en la zona de CU y PST en la zona de ENCB en el año de 1986.	183
87. Análisis de regresión de carbón y plomo, contenidos en PST, en la zona de ENCB en el año de 1986.	184
88. Análisis de regresión de PST y plomo contenido en PST, en la zona de Tacubaya en el año de 1986.	186
89. Análisis de regresión de PST en la zona de Tacubaya y PST en la zona de ENCB en el año de 1987.	187
90. Análisis de regresión de PST en la zona de CU y cobre en la zona de ENCB contenido en PST, en el año de 1986.	188
91. Análisis de regresión de cadmio en la zona de Tacubaya y cadmio en la zona de CU, contenidos en PST, en el año de 1986.	189
92. Análisis de regresión de carbón y cobre, contenidos en PST, en la zona de ENCB en el año de 1987.	190
93. Análisis de regresión de carbón y plomo, contenidos en PST, en la zona de CU en el año de 1986.	191
94. Análisis de regresión de carbón y plomo contenidos en PST, en la zona de ENCB en el año de 1987.	192
95. Análisis de regresión de PST en la zona de CU y cadmio en la zona de ENCB contenido en PST, en el año de 1986.	194
96. Análisis de regresión de carbón y cadmio, contenidos en PST, en la zona de ENCB en el año de 1986.	195
97. Análisis de regresión de carbón en la zona de Tacubaya y cadmio en la zona de CU, contenidos en PST, en el año de 1986.	196
98. Análisis de regresión de PST y cobre contenido en PST, en la zona de Tacubaya en el año de 1986.	197
99. Análisis de regresión de plomo en la zona de Tacubaya y plomo en la zona de CU, contenidos en PST, en el año de 1987.	198

	pág.
100. Análisis de regresión de carbón y cobre, contenidos en PST, en la zona de CU en el año de 1986.	200
101. Análisis de regresión de PST en la zona de CU y carbón en la zona de ENCB contenido en PST, en el año de 1986.	201
102. Análisis de regresión de PST en la zona de ENCB y cobre en la zona de CU contenido en PST, en el año de 1986.	202
103. Análisis de regresión de PST y cadmio contenido en PST, en la zona de ENCB en el año de 1986.	203
104. Análisis de regresión de carbón en la zona de CU y cobre en la zona de ENCB, contenidos en PST, en el año de 1986.	204
105. Análisis de regresión de cadmio en la zona de CU y cobre en la zona de ENCB, contenidos en PST, en el año de 1986.	205
106. Análisis de regresión de plomo y carbón, contenidos en PST, en la zona de CU en los años 1982 a 1987.	207
107. Análisis de regresión de carbón y cobre, contenidos en PST, en la zona de Tacubaya en el año de 1987.	208
108. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1982 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de la ENCB; contaminante PST.	209
109. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1982 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de la ENCB; contaminante carbón.	211
110. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1982 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de la ENCB; contaminante plomo.	212
111. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1982 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de la ENCB; contaminante cobre.	213
112. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1982 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de la ENCB; contaminante cadmio.	214
113. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1982 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de CU; contaminante PST.	216
114. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1982 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de CU; contaminante carbón.	217
115. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1982 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de CU; contaminante plomo.	218

	pág.
116. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1982 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de CU; contaminante cobre.	219
117. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1982 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de CU; contaminante cadmio.	220
118. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1984 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de Tacubaya; contaminante PST.	222
119. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1984 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de Tacubaya; contaminante carbón.	223
120. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1984 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de Tacubaya; contaminante plomo.	224
121. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1984 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de Tacubaya; contaminante cobre.	225
122. Serie de tiempo para datos originales y suavizados de 1984 a 1987 y pronóstico para 1988 en la zona de Tacubaya; contaminante cadmio.	226

LISTA DE TABLAS.	pag.
I. Partículas emitidas por fuentes fijas estimadas para la ZMCH en 1984.	12
II. Intervalo de metales en material suspendido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	33
III. Relación de valores de \bar{X} geométrica Plomo/Metal pesado.	33
IV. Promedios estacionales trimestrales para PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	69
V. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación E N C B , P S T $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	72
VI. Promedios estacionales trimestrales de carbón en PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	73
VII. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación E N C B , carbón $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	75
VIII. Promedios estacionales trimestrales de plomo en PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	76
IX. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación E N C B , plomo $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	78
X. Promedios estacionales trimestrales de cobre en PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	79
XI. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación E N C B , cobre $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	81
XII. Promedios estacionales trimestrales de cadmio en PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	82
XIII. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación E N C B , cadmio $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	85
XIV. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación C U , P S T $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	89
XV. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación C U , carbón $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	91
XVI. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación C U , plomo $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	93
XVII. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación C U , cobre $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	95
XVIII. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación C U , cadmio $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	97
XIX. Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación Tacubaya, P S T $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	101

XX.	Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación Tacubaya, carbón $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	103
XXI.	Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación Tacubaya, plomo $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	105
XXII.	Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación Tacubaya, cobre $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	107
XXIII.	Análisis estadístico trimestral (enero-febrero-marzo) de la estación Tacubaya, cadmio $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	109
XXIV.	Promedios aritméticos resultantes en el periodo efm de 1982-1987.	129
XXV.	Desviación estandar trimestral en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Enero-Febrero-Marzo) para cada estación.	173
XXVI.	Relación de concentraciones Pb/Cu como indicadores de origen por tipo de actividad.	229
B-1	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1982. ENCB y CU	238
B-2	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1982. CU y ENCB	238
B-3	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1983. ENCB y CU	239
B-4	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1983. CU y ENCB	239
B-5	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1984. ENCB, CU y TACUBAYA	240
B-6	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1984. CU, ENCB y TACUBAYA	240
B-7	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1984. TACUBAYA, ENCB y CU	241
B-8	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1985. ENCB, CU y TACUBAYA	241
B-9	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1985. CU, ENCB y TACUBAYA	242
B-10	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1985. TACUBAYA, ENCB y CU	242

B-11	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1986. ENCB, CU y TACUBAYA	243
B-12	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1986. CU, ENCB y TACUBAYA	243
B-13	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1986. TACUBAYA, ENCB y CU	244
B-14	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1987. ENCB, CU y TACUBAYA	244
B-15	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1987. CU, ENCB y TACUBAYA	245
B-16	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1987. TACUBAYA, ENCB y CU	245
B-17	Matriz de correlación en regresión lineal para los datos trimestrales efm de 1982 a 1987 en las estaciones ENCB, CU y TACUBAYA	246

RESUMEN

Se evalúa la calidad del aire en Partículas Suspendidas Totales y su contenido en plomo, cadmio, cobre y carbón total en muestras colectadas en tres estaciones de muestreo: E N C B (Tacuba), Observatorio (Tacubaya) y Ciudad Universitaria (Coyoacan) en la Ciudad de México para el periodo enero-febrero-marzo (invernal) de 1982 a 1987 en E N C B y C U, de 1984 a 1987 en Tacubaya, siguiendo el mismo calendario de muestreo y el mismo horario de arranque del muestreador de altos volúmenes (método Hi-Vol).

Los procedimientos de muestreo son los recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los E.U. y SEDUE, los métodos gravimétricos y analíticos son ampliamente reconocidos a nivel mundial. Los procedimientos estadísticos son los utilizados en el campo de la contaminación ambiental y su interpretación se realiza respecto a normas de calidad del aire para el caso de partículas suspendidas totales y plomo, y de criterios científicos internacionales para los otros parámetros.

Los resultados indican que las partículas suspendidas totales (PST) han presentado una disminución respecto al tiempo, sin embargo, es un problema aún a resolver. La zona de Tacuba aún presenta niveles por arriba de las normas de calidad del aire, lo mismo que Tacubaya. C U es una zona limpia respecto a este contaminante, durante estos periodos invernales. El contenido de carbón total en las PST está muy por arriba de los niveles internacionales reportados indicando que las fuentes que lo originan (los procesos de combustión deficientes) se encuentran fuera de control. El efecto inmediato de los altos niveles de carbón es su participación principal en la reducción de la visibilidad y en la suciedad atmosférica observada en la Ciudad de México. Es posible que gran parte de este carbón contenga compuestos policíclicos como los benzopirenos (emitidos por motores diesel) con gran potencial cancerígeno.

El contenido de plomo en las PST se ha reducido significativamente y esto coincide con la implementación de la estrategia de reducción de plomo en las gasolinas por parte de PEMEX. La norma de calidad para este contaminante no se rebasa en los últimos años del estudio y tiende a mantenerse por abajo de ese nivel. El plomo está regularmente correlacionado con el carbón, lo que sugiere que otra fuente de carbón son los vehículos automotores de gasolina.

La presencia de cobre en las PST y sus patrones de variación sugieren que hay dos fuentes probables de procedencia: industrial que es la más importante y natural. Los niveles son relativamente bajos a los reportados internacionalmente y no presentan tendencia definida.

El cadmio en las PST ha disminuido considerablemente sugiriendo que las fuentes de emisión industriales probables están cambiando sus actividades o bien han instalado controles, pero no es posible confirmar estos aspectos.

Se presenta la importancia de llevar a cabo estudios de evaluación de la calidad del aire siguiendo metodologías equivalentes a métodos de referencia aceptados. Los resultados básicos estadísticos son presentados en forma original con el fin de que interesados en este campo hagan uso de los mismos en la forma de mejor conveniencia hacia otros estudios.

I. INTRODUCCION.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México presenta las condiciones fisiográficas y meteorológicas ideales para favorecer la acumulación de contaminantes atmosféricos de origen natural y antropogénico emitidos por la intensa actividad industrial y urbana presente a lo largo de esta área. Aproximadamente los 18 millones de habitantes de esta zona sufren los efectos en mayor o menor medida, dependiendo de su exposición en la zona urbana. Esta situación es especialmente más importante en el periodo invernal, como consecuencia de que el fenómeno natural de la formación y tiempo de permanencia de inversiones térmicas es más frecuente e intensa, ocasionando que las condiciones atmosféricas de estabilidad y poca dispersión en la vertical favorezcan niveles altos de contaminantes atmosféricos.

Las partículas suspendidas totales (PST), son un parámetro indicador de calidad del aire y se cuenta con Normas de Calidad de Aire dada su importancia, lo mismo que el plomo contenido en estas partículas. Las normas de los E.U.A. para las PST son de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas y $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio geométrico anual, mientras que para plomo (contenido en PST) es de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio aritmético trimestral. Todas las normas están referidas a condiciones estándar de presión y temperatura (STP 1 atm y 25°C). La norma mexicana de calidad del aire para PST en 24 horas es de $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para plomo no se ha promulgado a la fecha. Cuando estos niveles son rebasados se habla de mala calidad del aire y sus efectos están considerados en los criterios de calidad del aire publicados por la U.S. EPA. Estas normas están diseñadas para protección de la salud, por lo que el estudio de los niveles de PST y su contenido de plomo son de gran importancia en estudios de calidad del aire y efectos en el hombre. Otros parámetros de interés en estudios de contaminación atmosférica son el cadmio en PST (por su efecto negativo potencial

en la salud), el carbón total en PST (por su efecto en la reducción de la visibilidad y posible indicador de compuestos policíclicos con efecto en la salud) y el cobre en PST (como trazador de emisiones industriales). No existen normas de calidad para estos compuestos, pero existen criterios científicos que permiten evaluar su importancia ambiental.

Si se conjuga el hecho de que se cuenta en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) con más de 2 millones de vehículos automotores, con más del 25% de la industria nacional concentrada en esta conurbación y las consecuencias de la poca dispersión en la cuenca del Valle de México específicamente en invierno, se comprende la magnitud del problema y la importancia para su estudio.

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo evaluar la calidad del aire en tres zonas características de la actividad urbana de la Ciudad de México: la zona de Tacuba (ENCB); la zona de Tacubaya (Observatorio) y la zona de Coyoacan (Ciudad Universitaria). Se realizaron para este planteamiento muestreos de PST (método Hi-Vol) en los sitios señalados para el período trimestral enero-febrero-marzo de 1982 a 1987 en la ENCB y CU, y de 1984 a 1987 en Tacubaya de acuerdo a procedimientos recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Posteriormente se analizaron por métodos gravimétricos y analíticos de química húmeda los parámetros Partículas Suspensas Totales, plomo, carbón total, cobre y cadmio para todas las muestras colectadas.

Una vez ordenados los resultados se aplicaron métodos estadísticos apropiados para estudios de calidad del aire, variación, tendencia a lo largo del período de estudio y efecto directo en parámetros de calidad ambiental. De especial interés fue la evaluación del contenido de plomo en PST, ya que su tendencia refleja los resultados ambientales del efecto de la aplicación de una

estrategia de control de PEMEX que es la de reducir el tetraetilo de plomo en las gasolinas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

La continuidad y número de muestreos en algunos períodos fue afectada por factores aparentemente externos, como la disponibilidad de recursos económicos y permisos oficiales de importación de algunos repuestos de los equipos de muestreo, filtros de muestreo y reactivos analíticos, no obstante se buscó al máximo el aprovechamiento de todos los recursos disponibles.

Los resultados básicos de este estudio permiten concluir aspectos únicos relacionados con la importancia del aspecto de control de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México. Así mismo, este trabajo ofrece distintos análisis estadísticos de datos en su estructura original, de tal forma que el lector interesado en la interpretación y/o aplicaciones de los resultados a otros campos de estudio relacionados pueda disponer fácilmente de estos.

Finalmente cabe mencionar que este estudio, a lo largo de sus distintas fases formó parte del proyecto CONACYT-UNAM "Calidad del Aire en tres Ciudades Mexicanas" y su desarrollo se llevó a cabo con apoyo del Laboratorio de Suelos y Plantas de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas; del Observatorio Central de Tacubaya y de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera titular del convenio con CONACYT.

II. ANTECEDENTES

II. 1. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.

La Ciudad de México conurbada en su parte norte con el estado de México, constituye la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), localizada en la parte suroeste de una cuenca cerrada a $19^{\circ}35'$ de latitud norte y $99^{\circ}40'$ longitud oeste y a una altitud de 2240 m sobre el nivel del mar. (Bravo et al 1987 a).

La ZMCM se encuentra rodeada de montañas con una circulación general diaria de vientos provenientes del noroeste-noreste (figura 1). La Cuenca del Valle de México presenta una alta incidencia de calmas y de inversiones térmicas durante todo el año (Dfaz 1986). El número de días despejados por año se encuentra entre los 100 y 200, se cuenta con una radiación solar de 450 a 475 $\text{cal/cm}^2/\text{dfa}$ (SAHOP 1981). Conjuntamente a las condiciones geográficas se presentan emisiones de contaminantes atmosféricos producto tanto de actividad urbana como industrial. La población de la ZMCM es de aproximadamente 18 millones de habitantes, con un número de vehículos de más de 2 millones y con un 25% de la actividad del país concentrada en esta área.

II. 2. METEOROLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO.

La cuenca del Valle de México es afectada por diversos sistemas meteorológicos que van acordes a la época del año. El efecto es más notable en invierno, durante el cual las masas de aire frío continental polar se desplazan del norte hacia el territorio Nacional, lo que provoca el descenso de la temperatura, heladas o nevadas, si es que existiera suficiente humedad en el aire.

A fines de septiembre la atmósfera se estabiliza y a mediados de octubre se detectan los primeros eventos de temperatura fría, que es la transición a la época invernal.

Por la latitud a que se encuentra la Ciudad de México ($19^{\circ}30'$), su clima

es esencialmente tropical, aunque el calor característico de los trópicos está afectado por la altitud (2240 m) de la cuenca del Valle de México. El área donde se localiza la ZMCM se encuentra al oeste del anticiclón semipermanente del Atlántico norte (Bermudas-Azores) cuyos desplazamientos estacionales determinan el clima de la ZMCM y en general de casi todo el país (Jauregui 1974).

La subsidencia del aire asociada a la circulación anticiclónica, originan en la ZMCM gran frecuencia de cielos despejados y de inversiones de temperatura superficiales y de altura. Por medio de los datos de radiosondeo disponibles se han determinado: a) la frecuencia de condiciones de aire estable en la capa superficial (inversiones) y b) la profundidad máxima de la llamada "capa de mezclado" donde se diluyen los contaminantes urbanos. Esta capa de mezclado tiene diversos espesores que dependen en profundidad de la época del año. (Jauregui 1979).

Al anochecer el suelo pierde calor por radiación y éste a su vez, enfría el aire superficial lo que da por resultado una atmósfera estable. Esta situación se acentúa por la confluencia de aire frío que escurre por gravedad al fondo de los valles. Esta estratificación del aire en que el más frío y pesado se encuentra más cerca del suelo siendo muy estable y no favorece los movimientos verticales.

Al amanecer y con el calentamiento del suelo por el sol se generan corrientes convectivas que transportan el calor hacia los niveles altos de la capa de mezclado. En el transcurso de unas horas desaparece la capa estable (o inversión) nocturna a medida que el calentamiento solar va generalizando los movimientos turbulentos. La altura máxima a la que lleguen estos torbellinos se alcanza poco después del medio día una vez que se establece en esta capa turbulenta el gradiente adiabático. Puede calcularse su profundidad por medio de radiosondeos y la temperatura máxima.

Una vez que cae la tarde vuelve a establecerse un equilibrio negativo de radiación y la profundidad de la capa de mezclado decrece gradualmente hasta alcanzar un valor mínimo al amanecer (Bravo et al 1987 b).

En la figura 2 puede apreciarse que la profundidad de la capa de mezclado por la mañana en los meses fríos en los valles interiores del Altiplano Central alcanza sólo 250 a 500 m. Por otro lado la teoría meteorológica describe el comportamiento de la altura de la capa de mezclado con respecto al tiempo como dependiente de factores como temperatura ambiental, fuerza de inversión, estabilidad atmosférica, intensidad de viento y otros (Benkley et al 1979, Tennekes 1973).

La figura 3 representa el resultado de un modelo de este tipo para el caso típico invernal de la ZMCM (CFE 1987). En la figura anterior se puede indicar dos fases: capa diurna y capa nocturna (o vespertina), la primera se puede dividir en tres periodos; periodo (A) transición matutina (5 a 9 horas) periodo (B) convección matutina (9 a 13 horas) y periodo (C) convección vespertina (13 a 19 horas).

Todos estos elementos, situación fisiográfica, meteorología y emisiones de contaminantes atmosféricos, conjugan los elementos necesarios para ser un gran contenedor natural en el que se presentan complejas reacciones fotoquímicas.

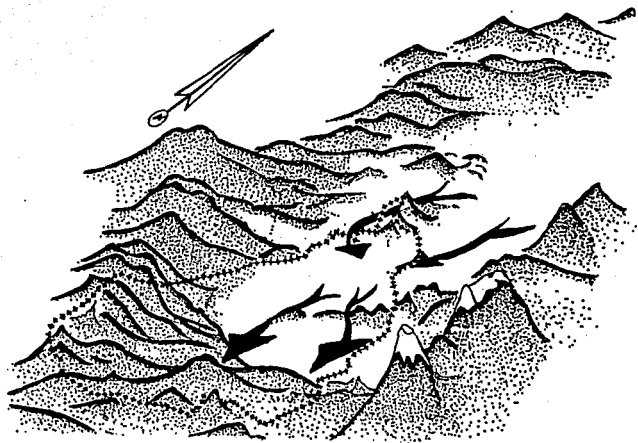


FIGURA 1 CUENCA DEL VALLE DE MEXICO Y EL PATRON REGULAR DEL FLUJO DE VIENTO DOMINANTE.

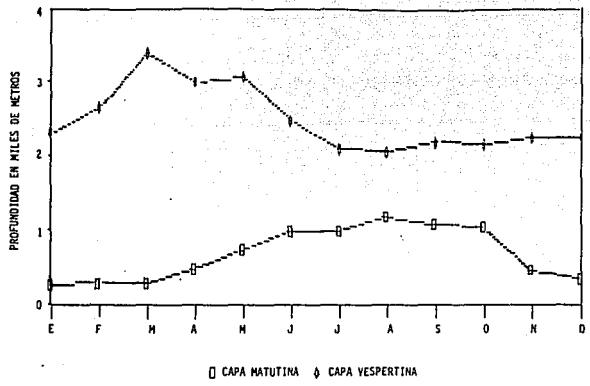


FIGURA 2 VARIACION MENSUAL DE LA CAPA DE MEZCLADO VESPERTINA Y MATUTINA EN LA ZMCH

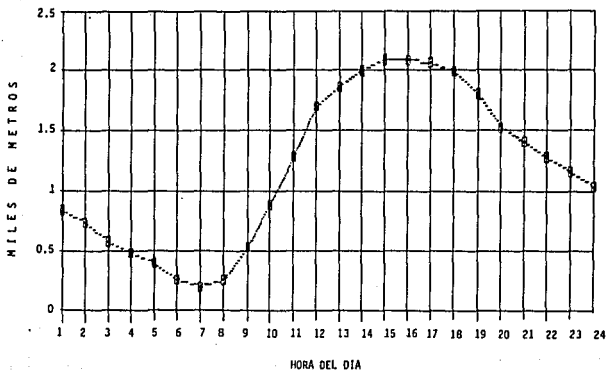


FIGURA 3 VARIACION DE LA CAPA DE MEZCLA EN LA ZMCH (TEORICA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA)

II. 3. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LAS PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y SU CONTENIDO DE CARBON Y METALES PESADOS.

Las partículas suspendidas en la atmósfera están compuestas por polvos, humos y/o aerosoles, los cuales pueden tener efectos en la salud o en el ambiente. Estos efectos van desde irritación de ojos o reducción a la resistencia a infecciones, las cuales causan enfermedades crónicas respiratorias.

Las partículas suspendidas pueden definirse como materia dispersa en la atmósfera que existe en fase condensada (líquido y sólido), que varía en tamaño desde conglomerados moleculares con $0.005 \mu\text{m}$ hasta gruesas del orden de $100 \mu\text{m}$. Las partículas suspendidas totales (PST), representan un gran conjunto de diversas clases de sustancias con características físicas y químicas diferentes. Estas características varían con respecto al tiempo, la región, la meteorología y el tipo de fuente de emisión. Es de esperar que los efectos de las partículas en la salud y bienestar varíen también.

Por lo anterior, la información histórica y actual de la concentración de las partículas suspendidas totales y su contenido en carbón y metales pesados es de gran valor en relación a estudios de efectos en la salud y en posibles efectos en la visibilidad. En algunos casos, la combinación de partículas y gases absorbidos en ellas producen un efecto sinérgico más poderoso que el que ocasionaría cada uno de los compuestos por separado (Fenelly 1975).

Algunas partículas, como las emitidas por los motores diesel, presentan alta probabilidad de ser responsables de la producción de cáncer. Otras, como los polvos acarreados por tolvaneras, pueden ser portadores de sustancias tóxicas como pesticidas o portadores de organismos microbiológicos como E. coli y otros. Las partículas además, pueden ocasionar corrosión de materiales, daño a la vegetación y reducir sensiblemente la visibilidad (EPA 1984).

Las partículas por lo general son caracterizadas como primarias y secundarias; las primeras son producidas y emitidas como resultado directo de un pro

ceso físico o químico específico de cualquier fuente de emisión. Ejemplos de estas son: hollín, óxidos metálicos, polen, polvos industriales y cenizas. El intervalo de tamaño de estas partículas varía entre 10 y 100 μm . Las partículas secundarias son producidas como resultado de reacciones químicas atmosféricas, ejemplos sulfatos y nitratos. El intervalo de tamaño de estas partículas oscila entre 0.01 y 1.0 μm . Sin embargo, en la atmósfera se encuentran presentes partículas primarias y secundarias, representadas por un comportamiento bimodal de tamaño; así diversos aerosoles líquidos conjuntado al grueso total de las PST (figura 4).

Organismos mundiales y nacionales como la Organización Mundial de la Salud la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, y recientemente la Secretaría de Ecología (SEDUE) en México han promulgado leyes y normas de emisión por fuentes fijas con objeto de reducir las emisiones de partículas a niveles aceptables.

Así mismo, se han promulgado normas de calidad del aire con el objeto de prevenir a la población sobre posibles riesgos a la salud como consecuencia del estado de la calidad del aire. Estas normas son la base para la toma de decisiones respecto a las medidas de control para el abatimiento del problema.

En los Estados Unidos la norma primaria nacional para PST es de 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio en 24 horas, de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual. En México, la norma de calidad del aire para PST es de 275 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas.

La contaminación del aire por PST es uno de los problemas ambientales más importantes de México, y es el resultado directo de un desordenado crecimiento de las diversas actividades del país. En general, la contaminación atmosférica se limita a las zonas de alta densidad demográfica o industrial (Bravo 1987, SEDUE 1986).

Por lo anterior, el monitoreo de las PST puede señalar que tan aceptable son o cuanto se han excedido los niveles de las partículas, por lo que la a-

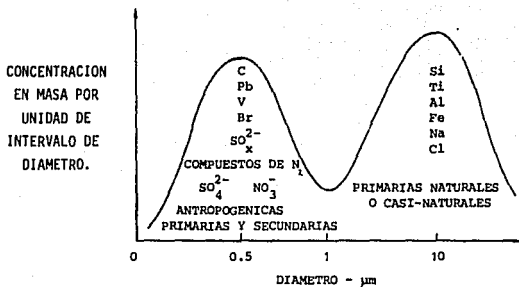


FIGURA 4 DISTRIBUCION ESQUEMATICA DE AEROSOL Y PARTICULAS URBANAS.

deuada representatividad de los datos obtenidos es de suma importancia para la evaluación de la calidad del aire.

II. 4. FUENTES DE EMISIONES DE PARTICULAS.

La tabla I resume la magnitud de las numerosas fuentes antropogénicas de partículas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

TABLA I

Partículas emitidas por fuentes fijas estimadas para la ZMCM en 1984. (Tecnconsult 1987)

Clasificación	ton/año	%
1. COMBUSTION		
Termoeléctricas	3734	0.780
Industria	4057	0.847
Servicios	958	0.200
Doméstico	206	0.043
2. PROCESOS		
Minerales no metálicos	370089	77.285
Siderurgia	16462	3.437
Metalurgia no ferrosa	4696	0.980
Refinación del petróleo	5366	1.120
Celulosa y papel	40	0.008
Industria química	41739	8.716
Industria petroquímica	31511	6.580
TOTAL	478858	100.000 %

Las emisiones vehiculares se estiman en 24 328 ton/año; las emisiones por fuentes no convencionales (fuentes naturales) son estimadas en 89 600 ton/año. La localización de las principales fuentes fijas en la ZMCM se presentan en la figura 5.

Sin embargo, como ya se mencionó, el tamaño de las partículas varía de acuerdo a su origen. Las partículas de origen natural (polvos por tolvaneras y otros como fuentes no convencionales) constituyen el 50% de la masa total

partículas incorporadas a la atmósfera cuando el viento las levanta del suelo; no obstante, al cesar el viento rápidamente son sedimentadas y no pueden considerarse como "partículas suspendidas". Estas partículas tienen en realidad poco o mínimo impacto en la calidad del aire ya que, las partículas tienen tamaños mayores a $10 \mu\text{m}$ y consecuentemente, estas partículas tienden a sedimentarse rápidamente cerca del área donde fueron "emitidas".

Las partículas primarias en el intervalo de 1 a $10 \mu\text{m}$ tienden a presentar características comunes con las condiciones locales o con los afluentes gaseosos emitidos por industrias locales.

Algunos procesos industriales de combustión son fuentes importantes de partículas primarias en tamaños de 0.01 a $1.0 \mu\text{m}$, pero cuando hay problemas de una mala combustión de energéticos fósiles, podrían dar como resultado la formación de partículas de 0.1 a $10 \mu\text{m}$ y podrían ser incluidas como partículas primarias.

Por otro lado, los contaminantes gaseosos presentan altos gradientes de concentración en la vecindad de las fuentes, pero no tan grande como el gradiente asociado con las partículas, ya que cuando las partículas son relativamente mayores en tamaño, los procesos de sedimentación y otros mecanismos de remoción enfatizan más estos gradientes.

Las emisiones vehiculares por combustión de gasolina contribuyen alrededor del 4% del total de las PST, el porcentaje restante (1%) es más atribuido al desgaste de llantas y otras partes automotrices. De las partículas emitidas por combustión, del 60 al 80% tienen diámetros aerodinámicos de menos de $2.0 \mu\text{m}$. Estas partículas pequeñas son controladas por la turbulencia atmosférica y las condiciones de viento y pueden ser transportadas a grandes distancias. Las que presentan un tamaño menor de $2.0 \mu\text{m}$, son las de mayor riesgo para la salud, ya que pueden ingresar al sistema pulmonar.

Con respecto a las partículas secundarias, existen dos subdivisiones más,

aquellas con diámetros menores de 0.05 μm y las de diámetros entre 0.05 y 1 μm . Las primeras son resultado directo de reacciones fotoquímicas, las segundas son producidas a partir de la coagulación o condensación de partículas formadas fotoquímicamente. Ambos grupos varían respecto al sitio, concentración de ozono y otros factores. Los mecanismos de remoción de estas especies son el arrastre por lluvia o coagulación con otras partículas mayores (Clark and Whitley 1967).

En consecuencia, la composición de las PST colectadas por el método estándar (muestreador de altos volúmenes) son de gran importancia para su adecuada interpretación en los posibles efectos en la salud y el medio ambiente.

II. 5. FUENTES DE EMISIONES DE CADMIO, COBRE, PLOMO Y CARBON.

Los metales pesados, también llamados metales traza o tóxicos, se han identificado como una nueva clase de contaminantes.

Estos metales son más importantes que aquellos que abundan más debido a su potencial tóxico sobre los organismos vivos (Stoker and Seager 1981).

Las fuentes más importantes de emisiones de metales en la atmósfera son las operaciones metalúrgicas relacionadas con la producción de acero, hierro, cobre, plomo, zinc y aluminio, además de la combustión de carburantes fósiles, incluyendo a la gasolina con aditivos (Stoker and Seager 1981).

Las razones de preocupación por la contaminación de compuestos de metales se debe a que persisten en el medio ambiente ya que no pueden degradarse, ni biológica ni químicamente en la naturaleza. Los compuestos que contienen metales pueden degradarse, pero los metales persisten, inclusive algunos de estos reaccionan transformándose a formas más tóxicas.

La estabilidad de los metales permiten que sean transportados desde sus fuentes de origen a distancias considerables tanto por el aire como por el agua (Nava y Tirado 1978, Stoker and Seager 1981).

II. 5. 1. CADMIO

El cadmio se encuentra en la naturaleza en cantidades muy pequeñas y es el 67avo elemento en orden de abundancia (Lucas 1975).

El cadmio normalmente se encuentra asociado con el zinc y algunas veces con el plomo. La principal fuente mineral del cadmio es el sulfuro de cadmio. El cadmio se obtiene también como subproducto de la refinación del zinc (Lucas 1975, Nava y Tirado 1978).

Los principales compuestos del cadmio que más frecuentemente son utilizados son los óxidos, hidróxidos, cloruros, bromuros, yoduros, cianuros, sulfatos, nitratos y carbonatos (Villalón y Monclus 1974).

El cadmio posee numerosas aplicaciones en la industria entre las que tenemos el revestimiento electrofítico de metales. La preparación de aleaciones para soldaduras y amalgamas dentales, en celdas fotoeléctricas, resistencias eléctricas, fabricación de acumuladores al níquel-cadmio, en la fabricación de pigmentos para pinturas, esmaltes y materias plásticas, lámparas de vapor de cadmio, moderador de neutrones en la industria atómica (Nava y Tirado 1978, Villalón y Monclus 1974).

Las fuentes de contaminación ambiental son la minería y la metalurgia, industria química, la transformación de chatarra metálica, galvanoplastia, superfosfatos y plaguicidas que contienen cadmio. (EPA 1984). Existen instalaciones de estas industrias en la parte norte y noreste de la ZMCM (figura 5 y 6).

II. 5. 2. COBRE

El cobre se encuentra libre en la naturaleza en cantidades relativamente pequeñas. Los compuestos de cobre son muy abundantes, más de 150 minerales.

El cobre es el mejor conductor del calor y la electricidad, después de la

II. 5. 1. CADMIO

El cadmio se encuentra en la naturaleza en cantidades muy pequeñas y es el 67avo elemento en orden de abundancia (Lucas 1975).

El cadmio normalmente se encuentra asociado con el zinc y algunas veces con el plomo. La principal fuente mineral del cadmio es el sulfuro de cadmio. El cadmio se obtiene también como subproducto de la refinación del zinc (Lucas 1975, Nava y Tirado 1978).

Los principales compuestos del cadmio que más frecuentemente son utilizados son los óxidos, hidróxidos, cloruros, bromuros, yoduros, cianuros, sulfatos, nitratos y carbonatos (Villalón y Monclus 1974).

El cadmio posee numerosas aplicaciones en la industria entre las que tenemos el revestimiento electrolítico de metales. La preparación de aleaciones para soldaduras y amalgamas dentales, en celdas fotoeléctricas, resistencias eléctricas, fabricación de acumuladores al níquel-cadmio, en la fabricación de pigmentos para pinturas, esmaltes y materias plásticas, lámparas de vapor de cadmio, moderador de neutrones en la industria atómica (Nava y Tirado 1978, Villalón y Monclus 1974).

Las fuentes de contaminación ambiental son la minería y la metalurgia, industria química, la transformación de chatarra metálica, galvanoplastia, superfosfatos y plaguicidas que contienen cadmio. (EPA 1984). Existen instalaciones de estas industrias en la parte norte y noreste de la ZMCM (figura 5 y 6).

II. 5. 2. COBRE

El cobre se encuentra libre en la naturaleza en cantidades relativamente pequeñas. Los compuestos de cobre son muy abundantes, más de 150 minerales.

El cobre es el mejor conductor del calor y la electricidad, después de la

plata. Dada sus características de conductividad, el cobre es muy usado en conductores eléctricos, tubos de alta conductividad, tuberías, láminas, varillas, utensilios de cocina, equipo químico y farmacéutico; también se utiliza para fabricar importantes aleaciones, tales como la plata alemana, bronce alu^minio, bronce silicón, bronce manganeso y otros (López 1985).

Los compuestos de cobre se usan en gran variedad de materiales que incluyen insecticidas, algicidas, fungicidas, pigmentos y disolventes como el que se emplea para la fabricación del rayón celulosa (Giral 1953). Los acetatos de cobre son utilizados en la industria para obtener el verde de Scheinfurth y otros pigmentos e insecticidas. En medicina se usa como escariótico, especialmente en veterinaria.

El óxido cuproso se emplea en la industria para colorear el vidrio de rojo y fabricar rubies artificiales. Los sulfatos de cobre se utilizan en estado sólido en forma de lápices y como cáustico para combatir úlceras y verrugas, en soluciones diluidas se emplea contra el tracoma (Giral 1953).

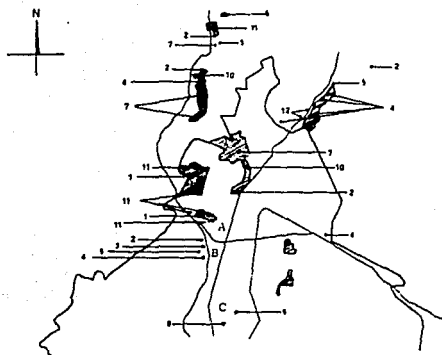
Debido a su gran aplicación, las fuentes de contaminación ambiental son metalurgia, minería, industria química, plaguicidas, pinturas y la industria vidriera (EPA 1984). Existen algunas de estas industrias al norte y noreste de la ZMCM (figuras 5 y 6).

II. 5. 3. PLOMO

Forma aleaciones con diferentes metales y al combinarse con ciertos hidrocarburos se originan compuestos estables como el tetrametilo y el tetraetilo de plomo que son utilizados como aditivos de combustibles.

Los compuestos de plomo más usados en la industria son óxidos, como el masicot, litargirio, cloruros, sulfuros, carbonatos, cromatos y arseniatos (Nava y Tirado 1978).

El plomo se encuentra en alimentos y agua en concentraciones muy variadas.



- | | | | |
|---|----------------------------|----|---------------------------------------------------|
| 1 | REFINERÍA DE PETRÓLEO. | 7 | INDUSTRIA DE FERTILIZANTES. |
| 2 | PLANTAS TERMOELÉCTRICAS. | 8 | INDUSTRIA DE CELULOSA Y PAPEL. (Cerrada en 1986). |
| 3 | PLANTAS DE CEMENTO. | 9 | PRODUCCIÓN DE ASFALTO. |
| 4 | FUNDIDORAS. | 10 | INDUSTRIA DEL ACERO. |
| 5 | INDUSTRIA QUÍMICA. | 11 | INDUSTRIA DEL HULE. |
| 6 | PLANTAS DE ÁCIDO SULFÚRICO | 12 | INDUSTRIA DE PESTICIDA. |

A Estación E N C B
 B Estación Tacubaya
 C Estación C U

FIGURA 5 LOCALIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES INDUSTRIAS EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO.

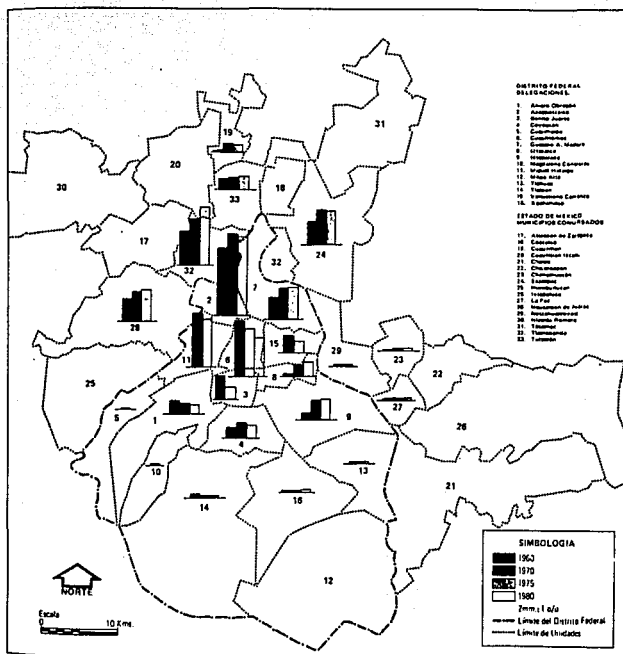


FIGURA 6 DISTRIBUCION DE LA INDUSTRIA EN LA ZMVM, 1960 - 1980.

En forma natural, en suelos y plantas en concentraciones de 8-20 ppm para suelos vírgenes y hasta 200 ppm en terrenos cultivados (Nava y Tirado 1978, Villalón y Monclus 1974).

La cantidad de plomo en el agua depende de la profundidad del yacimiento, del tipo de suelo y minerales que lo constituyen, se han llegado a encontrar concentraciones de 1 a 60 $\mu\text{g/l}$ (Grana 1983). El contenido de plomo permitido para agua potable debe ser inferior a 0.1 mg/l y para aguas residuales de 5 mg/l o concentraciones inferiores a las condiciones particulares de descarga. Sin embargo, se puede presentar el problema de aguas ácidas que llegan a disolver el plomo de las tuberías del abastecimiento público.

Para los alimentos el promedio de plomo permitido es de aproximadamente 0.2 mg/Kg en general. Se ha calculado que la ingestión media diaria es de 300 mg, el promedio diario que se ingiere en el agua es de 20 mg.

Las fuentes principales de plomo atmosférico son las aplicaciones industriales y tecnológicas. Entre las fuentes tenemos la fundición y refinación del plomo, la producción de acumuladores, la manufactura del plomo alquílico y pinturas con plomo, aplicaciones en la agricultura de arseniato de plomo, combustión de superficies pintadas con productos a base de plomo e incineraciones de plásticos y otros materiales con plomo. Otra fuente de contaminación por plomo son los recipientes de cerámica que son barnizados a base de plomo.

La fuente más importante es la combustión de gasolinas con tetraetilo de plomo usado como antidetonante, cuya función principal es el incrementar el índice de octano en los combustibles y evitar las detonaciones del motor, que trae consigo daños, además de pérdidas de su potencia e ineficiencia en la combustión, con lo que se incrementa la emisión de hidrocarburos no quemados, así como el mayor consumo de combustibles. El plomo emitido sale de los escapes en forma de compuestos de oxicarbonatos, óxidos, carbonatos y haluros de plomo (PbCO_3 , PbCl_2 , PbBr_2 , PbI_2 , PbO , PbO_2 , etc.). Petróleos Mexicanos ha es

tablecido programas de reducción del contenido de tetraetilo de plomo en sus combustibles (Velazquez 1986).

El hábito de fumar también contribuye a la ingestión diaria de plomo, se calcula que una cajetilla contiene aproximadamente 40 μg de plomo por lo que fumando una cajetilla diaria se estima que se absorben únicamente 10 de los 40 μg que contiene la cajetilla (Jiménez 1983).

La absorción de plomo a través de la piel, puede ocurrir como consecuencia de una prolongada aplicación de cosméticos o preparaciones dérmicas que contengan plomo. Se ha encontrado que estos productos llegan a tener hasta un 67% del metal.

La ingestión diaria de plomo por vía oral en alimentos y bebidas, se calcula en aproximadamente 100 μg y la cantidad de plomo que hay en el organismo varía entre 200 y 400 mg (OPS 1979). Aproximadamente el 10% del plomo ingerido en los alimentos y bebidas, es absorbido por el organismo, el resto es eliminado por la orina, sudor, tracto gastrointestinal, exfoliación cutánea y pérdida del cabello (OMS 1978, Villalón y Monclus 1974).

El aporte de plomo atmosférico a la absorción diaria es difícil de calcular, ya que la concentración atmosférica no es el único parámetro significativo que debe tomarse en cuenta, pero si la concentración atmosférica es de 2 a 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo se calcula que hay un promedio diario inhalado de 20 a 30 μg (OPS 1979).

La máxima exposición al plomo ocurre en los trabajadores que entran en contacto con el plomo durante las operaciones de minería, fundición y en los diversos procesos de fabricación en que se llega a utilizar. En el aire existente en estas zonas de trabajo se han llegado a detectar hasta 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo (OMS 1978).

Las máximas concentraciones de plomo en el aire se encuentran en centros urbanos densamente poblados, dependiendo del tráfico vehicular que use como

combustible gasolinas con plomo. Las concentraciones de plomo en el aire oscilan entre 2 a 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en zonas urbanas, menos de 0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la mayoría de las zonas suburbanas y aún menos en las zonas rurales (Grana 1983, OPS 1979).

La distribución por tamaño de partículas de plomo en el aire ambiente se ha estudiado por distintos investigadores y se han encontrado que el depósito y absorción en los pulmones es de gran ayuda el diámetro medio de masa determinado con el equipo Andersen (Ayles 1983), se han observado diámetros medios de masa de 0.42 a 0.69 μm en 6 ciudades de los Estados Unidos de América, señalándose que el 50% de las partículas tienen diámetros medios de masa menor a 0.4 μm y un 20% de masa superior a 0.5 μm .

La atmósfera es la vía principal de transporte de plomo desde sus fuentes fijas o móviles al medio ambiente. No se conoce a fondo los mecanismos de eliminación de plomo en el aire, aunque se cree que se eliminan por sedimentación y por efecto de lavado de las lluvias, ya que en aguas de lluvia en los E.U.A. se registro un promedio de 34 $\mu\text{g}/\text{l}$ de agua en zonas de alta densidad demográfica.

II. 5. 4. CARBON

Las fuentes emisoras de carbón ambiental son las móviles como aviones, barcos, locomotoras y vehículos que usan gasolina o diesel, y las fijas que usan como energético gas natural, carbón y madera.

Virtualmente cada proceso de combustión emite partículas finas de carbón elemental.

En un estudio realizado en la Ciudad de los Angeles (Wolff 1981) se estimó que el transporte aporta el 75% del total de emisiones de carbón elemental y el generado por los vehículos en las autopistas es de un 38% del cual el 5% corresponde a los que usan diesel.

Estudios exhaustivos sobre el diesel (Wolff 1981) indican que las particu

las consisten de agrupamientos de pequeñas esferas individuales las cuales se unen para formar partículas mayores de aproximadamente 30 μm de diámetro.

Las partículas carbonáceas tienen larga vida en la atmósfera, se encuentran en la fracción de tamaño respirable e interactúan con la luz visible disminuyendo la visibilidad (Wolff 1981).

En todos los procesos de combustión incompleta, como el de los hidrocarburos del petróleo, el carbón mineral y de madera dan como resultado una serie de emisiones contaminantes como azufre (SO_2) si el combustible contiene azufre, monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (López 1982), entre los que se encuentran con mayor frecuencia el benceno (C_6H_6) y el antraceno ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}$) que son cancerígenos y están contenidos en las partículas de humo y hollín (Johnson et al 1973).

En términos simples las partículas aerosoles que contienen carbón pueden ser divididas en dos fracciones: la fracción orgánica y la fracción elemental (Wolff 1981). La orgánica proviene de la combustión incompleta del petróleo, hulla y sus derivados así como maderas y desperdicios; la elemental se origina en mayores cantidades por fuentes tales como: operaciones mineras y metalúrgicas, de la industria química y del transporte.

En estudios realizados (Wolff 1981) se sabe que el carbón elemental puede tener un impacto significativo sobre la visibilidad y juega un papel importante en la química atmosférica, debido a sus propiedades catalíticas. Los efectos del carbón elemental son debido a que absorbe energía radiante, afecta el balance calórico de la atmósfera, esto se ha visto en algunos lugares como el Ártico.

La estructura de las partículas del carbón elemental es amorfa en escala macroestructural, pero similar al grafito en la escala microcristalina.

En el grafito, láminas paralelas de anillos de seis carbonos se mantienen unidos por fuerzas de Van der Waals, en ordenamientos de paquetes estructura-

hexagonales compactos.

En contraste en partículas de carbón elemental no se encuentra un agrupamiento de cadenas de átomos de carbón, en su lugar las cadenas pueden ser distorsionadas, contener hidrógeno y oxígeno como impurezas. Estos defectos son también responsables en la actividad catalítica de las partículas de carbón elemental. Puesto que cada átomo de carbón vecino o colindante en enlaces con electrones extra del enlace π los cuales tienen resonancia entre tres estructuras equivalentes.

Sin embargo, la movilidad de estos electrones π , es responsable de las propiedades de absorción de la luz de las partículas de carbón elemental.

El carbón elemental es la adopción de una terminología usual, los demás nombres incluyen: carbón no volátil, carbón negro, carbón de grafito, tizne, carbón no extractable, carbón de absorción, carbón residual, etc. (Wolff 1981).

La fracción orgánica y la fracción elemental indudablemente existen en mezclas internas y externas. Esto es, algunas partículas de carbón elemental sirve como centro sólido rodeado por una partícula de compuestos orgánicos (mezcla interna) y algunos de los carbonos orgánicos del mismo núcleo forman partículas individuales (mezcla externa) (Wolff 1982).

La importancia del carbón elemental en la atmósfera fue reconocido en el simposio "Particulate Carbon: Atmospheric Life Cycle" en 1980 en los E.U.A. (Wolff y Klimisch 1982).

La importancia del carbón elemental en la atmósfera depende de tres propiedades:

- 1) Tamaño de las partículas (Lomas 1985).
- 2) Absorción de la luz.
- 3) Propiedades químicas de la superficie catalítica.

1) Tamaño de las partículas: Las emisiones primarias del carbón elemental ocurren principalmente en dos lapsos de tamaño: la moda acumulativa (de 0.1 a 1.0 μm de diámetro) y la moda de nucleación (menor de 0.1 μm de diámetro). Pa

una mezcla externa la fracción orgánica de la combustión del aerosol puede esperarse que esté en la moda de nucleación y ambas formen una mezcla interna. En algunos eventos la moda de nucleación sufre una coagulación rápida y las partículas crecen y entran dentro de la moda de acumulación. Las partículas en la acumulación son estimadas en un tiempo de vida de varios días en la atmósfera en ausencia de precipitación pluvial.

El tamaño de las partículas de acuerdo a las mediciones hechas en varias localidades, confirman que gran parte del carbón elemental se presenta en la moda acumulativa. La distribución de tamaño, presentada por Coutes y colaboradores (1981) en Denver, indican que el 75% de la masa está entre 0.1 y 1.0 μm de diámetro, el carbón elemental es de 0.28 μm y para el carbón orgánico es de 0.32 μm .

Las partículas en la moda acumulativa tienen además la habilidad de ser unos dispersores eficientes de la luz. El carbón orgánico tiene una eficiencia de dispersión de 1.5 a 5.6 m^2/g y para el carbón elemental de 2.8 m^2/g .

2) Propiedades de la absorción de la luz: El carbón elemental, es el más importante de las especies reductoras de la visibilidad en la atmósfera. Parece ser que las propiedades de absorción de la luz es el resultado de la estructura cristalina del carbón elemental. Cada átomo de carbón en el plano de la estructura tiene cuatro electrones de valencia, pero solo tres átomos de carbón cercanos, el electrón extra forma enlaces π haciendo resonancia entre las tres estructuras equivalentes. Esta movilidad de los electrones π es producido por la absorción de la luz del carbón elemental.

Las consecuencias de la obscuridad o propiedades de absorción de la luz son varias:

A. El 20% de la masa de carbón elemental esta en la distribución modal de partículas grandes (mayores de 2.5 μm) tienen un tiempo de vida atmosférico del orden de horas o minutos.

B. Bajo ciertas condiciones la absorción y dispersión de la luz, tiene un efecto aditivo sobre la reducción de la visibilidad. Lo anterior ya ha sido estudiado en México (Bravo et al 1988).

La eficiencia de la absorción de la luz por el carbón elemental es estimado entre 4.9 a 17 m^2/g sumando este valor a la eficiencia de dispersión del carbón de 3.2 m^2/g , produce una eficiencia de extinción de luz total de 8.1 a 17 m^2/g .

C. Las propiedades de absorción de la luz por el carbón involucran efectos potenciales sobre el clima. Estos efectos potenciales son aún especulativos, pero incluyen tres posibilidades:

- Primero; que el carbón elemental a grandes altitudes puede absorber la radiación y reducir la influencia del sol en el calentamiento de la superficie de la tierra; por lo tanto resulta un enfriamiento en la superficie.

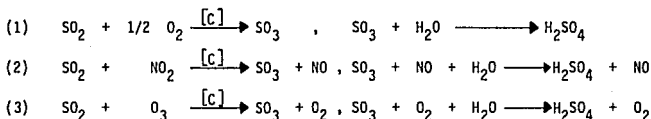
- Segundo; el aire cercano a la superficie absorbe más radiación solar debido a las altas concentraciones de carbón elemental, resultando el calentamiento de la capa límite.

- Tercero; la absorción por partículas en la cima de una capa de inversión puede producir una intensificación de inversiones con base en la superficie.

3) Propiedades químicas de la superficie catalítica del carbon elemental [C] (Wolff y Klimisch 1982): Debido a los defectos, dislocaciones y discontinuidad en la estructura cristalina del carbón existe una gran cantidad de electrones no apareados lo cual da como resultado sitios de superficies activas. Consecuentemente, las partículas de carbón elemental pueden fácilmente absorber gases y servir como catalizadores en ciertas reacciones químicas. Se han recopilado recientemente una lista de 10 reacciones potencialmente importantes,

las cuales pueden ser catalizadas por el carbón elemental en la atmósfera. De las diez solo tres pueden ser estudiadas bajo condiciones simuladas atmosféricas y todas involucran la oxidación de gases como el dióxido de azufre (SO_2) a trióxido (SO_3) el cual rápidamente se hidroliza para formar ácido sulfúrico en forma de aerosol, principal causa de la precipitación ácida y de sulfatos; estos últimos se les considera también responsables de la reducción de la visibilidad.

Las tres reacciones son:



La reacción (1) es estudiada tanto en fase acuosa como en aire seco bajo 100% de humedad relativa, las reacciones (2) y (3) son estudiadas exclusivamente en el aire seco.

II. 6. USOS DE LAS MEDICIONES DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES.

INTRODUCCION.

Los usos de las mediciones de partículas suspendidas totales se agrupan en varias categorías generales:

1. Evaluar las tendencias de la calidad del aire.
 - . Determinar el cumplimiento de normas de calidad del aire.
2. Desarrollo y evaluación de estrategias de control.
 - . Evaluar los resultados de las mediciones de control:
 - Áreas peligrosas.
 - Condiciones urbanas generales.
 - Condiciones estatales, regionales o nacionales.

- . Determinar tendencias a largo plazo en las concentraciones de PST:
 - En un área urbana.
 - Proporcionar información para planeación urbana y regional y para "toma" de decisiones.
- 3. Salud pública.
 - . Evaluar los efectos en la salud por exposición a los aerosoles urbanos.
 - . Determinar la correlación entre niveles de PST en ambientes exteriores e interiores.
 - . Evaluar los efectos de PST en animales y plantas.
- 4. Investigación.
 - . Determinar los efectos en el ambiente, por ejemplo:
 - Visibilidad.
 - Procesos de condensación.
 - Atenuación de la radiación solar.
 - . Suministrar información para un mejor conocimiento y entendimiento de los procesos que afectan las concentraciones de PST.
 - Mecanismos de remoción.
 - Procesos de transporte atmosférico.
 - Objetivos específicos de modelamiento atmosférico: desarrollo, evaluación y refinamiento.
 - . Proporcionar información para la evaluación de fuentes fugitivas de polvo.
- 5. Diversas.
 - . Evaluar y probar métodos y equipos de monitoreo.
 - . Evaluar la representatividad de sitios de monitoreo ya existentes o propuestos.

Cualquier uso que se le dé a las mediciones de PST supone que estas representan un volumen y un período de tiempo. Las mediciones siempre están vinculadas con tiempo promedio debido a que la muestra es colectada sobre un tiem-

po finito; a la vez se supone que en este tiempo de muestreo existió una concentración promedio, ya que se filtró un volumen finito de aire contaminado.

Las estaciones de monitoreo de partículas de clasificación "vecinal", como las empleadas por la red de SEDUE y las empleadas en este estudio, se suponen que cubren y representan las condiciones ambientales en un patrón relativamente homogéneo con dimensiones de un radio de unos 2.5 Km (Ver figuras 7, 8, 9). Las estaciones de este tipo proporcionan la mejor información enfocada a correlacionar las concentraciones medidas con posibles efectos en la salud, desarrollo de estrategias de control, cumplimiento con normas de calidad del aire y algunos aspectos de investigación como modelación, visibilidad y otros, cuando se logra monitorear un segmento, sección o porción de áreas urbanas importantes (EPA 1977a).

La metodología para el correspondiente uso de la información generada no es tratada profundamente en el presente trabajo. Una discusión más amplia al respecto se incluye en las siguientes referencias:

- SELECTION SITES FOR MONITORING TOTAL SUSPENDED PARTICULATES U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park., N.C. 1977.

- AIR MONITORING STRATEGY FOR STATE IMPLEMENTATION PLANS U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park., N.C. 1976.

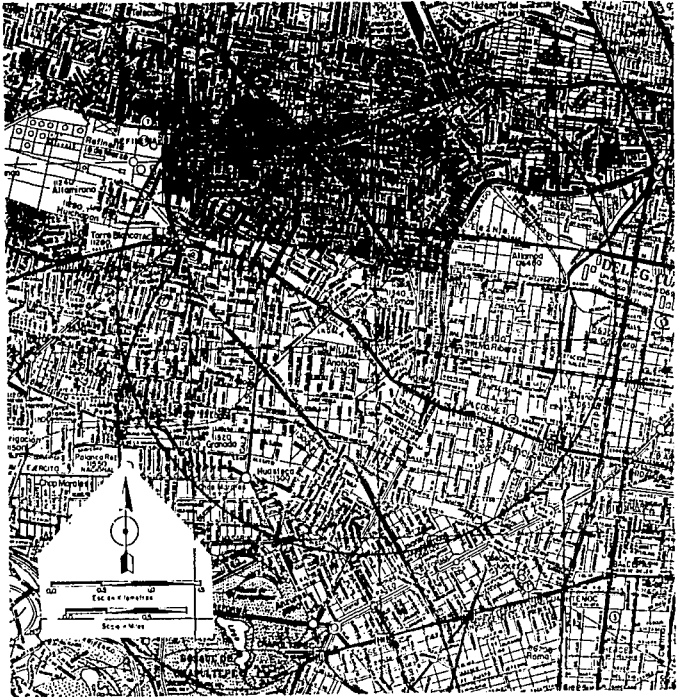


FIGURA 7 ZONA DE ENCB

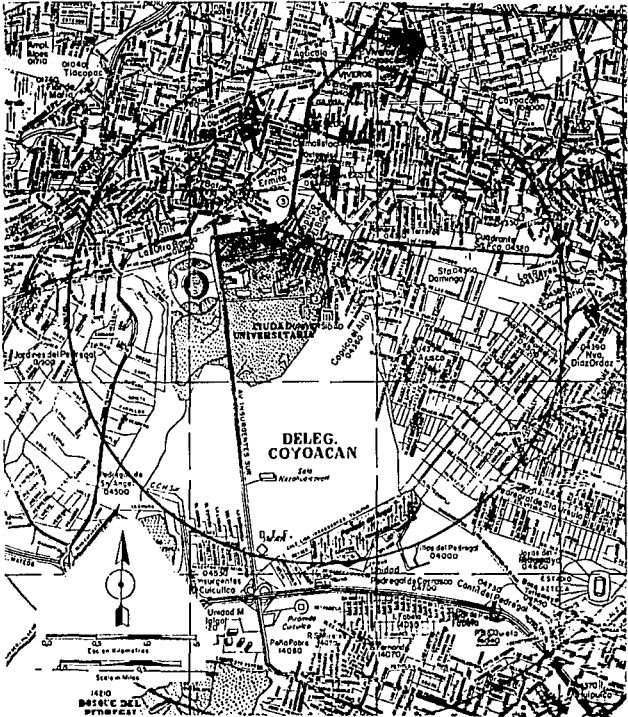


FIGURA 8 ZONA DE C U



FIGURA 9 ZONA DE TACUBAYA

II. 7. UTILIZACION DEL CONTENIDO DE CADMIO, COBRE, PLOMO Y CARBON EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES COMO INDICADORES DE CONTAMINACION ATMOSFERICA. (Bravo y Torres 1989).

INTRODUCCION.

El muestreo y análisis químico de partículas aerosoles permite profundizar en el conocimiento de factores importantes de la contaminación atmosférica, como lo son determinar la composición química del material particulado, identificar las especies reductoras más importantes y estimar las contribuciones de las fuentes emisoras a la contaminación atmosférica.

Algunas especies como el cadmio, carbón, cobre y plomo en las PST pueden ser utilizadas como indicadores preliminares de la fuente de emisión específica. A continuación se incluyen algunas recomendaciones para la utilización de estas especies químicas como identificadores de fuentes emisoras y trazadoras de tendencias de contaminación atmosférica.

II. 7. 1. CADMIO

El cadmio (Cd) es uno de los metales más escasos en la corteza terrestre y aparece geológicamente asociado con el plomo y el zinc. Por ese motivo la presencia del cadmio como contaminante está relacionado con la utilización de los dos metales la fundición, refinado y utilización, así como en la combustión de carbón y manufactura de baterías de Ni-Cd.

II. 7. 2. COBRE

El cobre se encuentra asociado en el hierro y níquel y son productos metálicos de refinado, molienda y formación de aleaciones. Sin embargo, puede ser un trazador de suelos, dado que el cobre es un nutriente vegetal.

Los niveles atmosféricos de Fe y Cu se ha encontrado que se deben a fuen-

tes industriales. Algunas relaciones tipo son:

TABLA II

Intervalo de metales en material suspendido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Bravo y Torres 1989)

METAL	AREA INDUSTRIAL	AREA URBANA
Pb	0.52 - 4.52	1.05 - 5.12
Fe	0.25 - 1.27	0.11 - 0.78
Cu	0.25 - 1.45	0.11 - 2.68
Ni	0.05 - 0.24	0.02 - 1.69
Cr	0.06 - 0.19	0.05 - 0.52
Mn	0.09 - 0.43	0.07 - 0.62

TABLA III

Relación de valores de \bar{X} geométrica Plomo/ Metal pesado (Bravo y Torres 1989)

RELACION	AREA INDUSTRIAL	AREA URBANA
Pb/Fe	3.31	8.33
Pb/Cu	4.19	11.95
Pb/Ni	20.18	16.17
Pb/Cr	18.50	22.90
Pb/Mn	9.55	13.75

También el Cu y el Zn pueden ser utilizados como trazadores de incinerados.
res.

II. 7. 3. PLOMO

El plomo atmosférico en muestras de PST frecuentemente es utilizado como trazador de emisiones vehiculares. El grado hasta el cual las muestras de PST son enriquecidas en carbón en referencia a las emisiones vehiculares, puede ser evaluado si el carbón y el plomo son conocidos.

En forma indirecta, el plomo en las PST puede ser indicativo de cambios en la formulación de gasolinas, debido a un posible cambio o reducción del te traetilo de plomo usado como antidetonante.

II. 7. 4. CARBON

Casi todos los procesos de combustión emiten carbón en forma de partículas finas, las fuentes más importantes son los vehículos y fuentes fijas de combustión. Las concentraciones en las áreas urbanas son las más altas, ejemplos representativos son New York, 4.2 - 13.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Portland, 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Washington, D.C. 6.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; área Los Angeles, 3.1 - 4.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La mayor parte del carbón elemental se presenta en las partículas finas (0 - 2.5 μm). Los porcentajes de carbón elemental reportados en la fracción fina son como ejemplos representativos: South Dakota, (sitio remoto), 74%; Blue Ridge Mountains, 78%; Denver, 82% y las Montañas Smoky, 92%.

Las partículas de carbón son especies eficientes de absorción de la luz, pero son los trazadores más efectivos de emisiones primarias.

La correlación entre el carbón y los contaminantes atmosféricos secundarios (fotoquímicos) no es posible hacerla cuando no se conoce la relación entre carbón negro (hollín) y el carbón total.

No hay correlación entre carbón y actividad fotoquímica.

Una relación entre Pb/metales puede ayudar a diseñar o identificar la fuente emisora, así como las correlaciones entre carbón en función de metales, co

mo lo son las relaciones C/Pb. Relaciones como éstas son el carbón total/plomo = 14.7/1 (Los Angeles); o bien 18.0/1 (Pasadena).

II. 8. EFECTOS EN LA SALUD DE LAS PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES, CARBON, PLMO, COBRE Y CADMIO.

Las partículas suspendidas totales son importantes en relación con la salud, no solo porque permanecen en la atmósfera durante más tiempo que las partículas más grandes, sino también porque algunas son lo suficientemente pequeñas para ser inhaladas y penetrar profundamente en las vías respiratorias (Bravo 1987).

Los metales pesados en los organismos tienen la propiedad de formar compuestos más estables con el azufre y el nitrógeno por tener mayor afinidad que con el oxígeno.

Los seres humanos tienden a acumular metales como lo demuestra la prolongada vida media de algunos de ellos en el cuerpo (Stoker y Seager 1981).

Algunos metales pesados tienen una acción biológica al unirse con grupos sulfhidrilos, llegando también a combinarse con otros grupos especialmente en configuración de quelato.

II. 8. 1. PARTICULAS SUSPENDIDAS (Bravo 1987).

Cuando las partículas suspendidas en el aire son inhaladas pueden irritar el sistema respiratorio, o dañar los mecanismos de ventilación en los pulmones. De ese modo contribuyen a agudizar enfermedades respiratorias, de la misma manera como los contaminantes gaseosos lo hacen. La inhalación prolongada de ciertos componentes de las partículas suspendidas pueden incrementar el número de casos y la severidad de enfermedades respiratorias crónicas.

II. 8. 2. CARBON (Bravo 1987).

El carbón se deposita en varias regiones del aparato respiratorio, causando posibles consecuencias potenciales.

En la región pulmonar causa la muerte de macrófagos como resultado de la liberación de enzimas proteolíticas que dañan tejidos alveolares.

En la región estratoráxica causa efectos sintomáticos: sequedad en la nariz, boca y garganta (por inhalación de polvo polimerizado conteniendo carbón negro).

En la región traqueobroncal, reducción de la función respiratoria, dificultad en respirar y otros agravamientos en padecimientos cardiacos y pulmonares como asma, bronquitis, enfisema, influenza. Esto debido a la irritación química y mecánica dando como resultado la broncoconstricción por polvos "inertes" (carbón, carbonato de calcio, hidróxido de hierro).

También afecta la velocidad de eliminación, producción incrementada de mucosidad por el material depositado (humo de cigarras, polvos, ácido sulfúrico). Causando el incremento en la persistencia de bronquitis en trabajadores expuestos a polvos de carbón y otros polvos.

Producción de tumor intratraqueal por Benzopireno, producida por carbón, hierro y asbesto.

II. 8. 3. PLOMO

Al plomo no se le reconoce como un elemento esencial para la actividad de los sistemas biológicos, por lo que la exposición a este metal debe ser siempre la menor posible (Corey y Galvão 1989).

Se acumula en los huesos, dientes, cabellos y uñas, en órganos como el hígado, riñón, pulmón, músculos, cerebro, grasas, piel y tejidos glandulares, este proceso de acumulación no es permanente (OMS 1979).

El plomo es un catión divalente con algunas propiedades semejantes a las del calcio, ya que el transporte de plomo puede ser bidireccional similar al transporte del calcio. (Jiménez 1983).

La acumulación de plomo comienza en la vida fetal pues es transferido fácilmente a través de la placenta y la concentración en la sangre de los recién nacidos es similar a la de la madre (OPS 1979).

El plomo es inhibidor de numerosas enzimas y esto constituye el fundamento de los diversos efectos sobre el organismo (Corey y Galvão 1989).

El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel. En la inhalación del plomo ambiental, según un modelo sobre dinámica pulmonar, un 35% del total del plomo inhalado -sea éste inorgánico u orgánico- se deposita en las vías aéreas. Después de la deposición del plomo en la nasofaringe, la tráquea, los bronquios y los alvéolos, parte de las partículas inhaladas asciende por acción de los cilios, pasa al esófago y se absorbe parcialmente en el tracto gastrointestinal. Las partículas restantes que llegan hasta los alvéolos, son absorbidas y pasan a la sangre. El tránsito a través de las vías broncopulmonares dependen del tamaño de las partículas y de la solubilidad del compuesto inhalado. Las variaciones fisiológicas y anatómicas de los individuos también influye en este proceso. En cambio, la absorción del plomo depositado en las vías respiratorias terminales es rápida, extensiva y prácticamente total y es un proceso independiente de la forma química del compuesto de este metal. El daño en la mucosa y en los alvéolos producido por el hábito prolongado de fumar, facilita el paso del plomo hacia la sangre. Se estima que una concentración de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo en el aire inhalado determina una concentración de 1 a $2 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$ en la corriente sanguínea. Las partículas que no son absorbidas, digeridas ni eliminadas en las secreciones, van a constituir depósitos de plomo en el árbol respiratorio, que es eliminado posteriormente por la acción de los cilios y macrófagos. Solo entre 35 a 50% del plomo

que alcanza el tracto respiratorio inferior es absorbido y pasa al torrente sanguíneo (Corey y Galvão 1989).

El plomo presente en el sistema respiratorio daña los macrófagos alvéolares provocando parálisis rápida y una vacuolación lenta. Si se ha estado expuesto a vapores inhalantes de plomo por varios meses, hay reducción de macrófagos en un 60% (Jiménez 1983).

El mecanismo tóxico del plomo está dado por tres modalidades: una es compitiendo con los metales esenciales -especialmente el calcio y el zinc- en sus sitios de inserción; otra es mediante su afinidad por los grupos sulfhidrílo (-SH) de las protefnas, lo que significa alteración de la forma y función de ellas y dado que numerosas protefnas -entre ellas diversas enzimas- poseen grupos -SH, las alteraciones fisiológicas pueden ser muy generalizadas en los organismos; finalmente, también actúa alterando el transporte de iones esenciales (Corey y Galvão 1989).

La amplia distribución que recibe el plomo en el organismo hace que se le adjudiquen lesiones en el sistema hematopoyético, en el tejido óseo, en el sistema nervioso, en el sistema renal, en la piel y hasta transtornos en la conducta causados por concentraciones tan bajas de plomo en la sangre como 10 µg/100 ml (Corey y Galvão 1989, Goodman y Gilman 1978, Montoya 1988).

II. 8. 4. COBRE

El cobre es un elemento traza esencial para los organismos, los requerimientos de cobre para mamíferos en general son de una décima parte de los del hierro para humanos es de 1 a 2 mg diarios. En el hombre la carencia de este elemento produce anemia (Lucas 1975, Peralta 1983).

El cobre es un factor en la formación de la hemoglobina, aún cuando no forma parte de su molécula. Se considera un elemento esencial en la nutrición, aunque su papel principal no se conoce. Esta ampliamente distribuido en los a

limentos. Son buena fuente de cobre el hígado, las nueces, legumbres, frutas y los vegetales de hoja (Lomas 1985).

En los humanos se absorbe fácilmente por el duodeno, en estudios realizados se ha observado que la absorción de este metal es pobre y se muestra que la cantidad es de 32% de la dosis oral. Relativamente se conoce poco del mecanismo de la absorción de este metal en los organismos, una gran cantidad de cobre ingerido aparece en las heces.

Los síntomas en la toxicidad del cobre incluyendo baja de peso, anemia e ictericia asociada con hemólisis. La hemólisis está relacionada con una repentina liberación del depósito de cobre en el hígado (Lomas 1985).

Por vía cutánea las sales de cobre irritan fácilmente a la piel causando dermatitis, pueden causar también conjuntivitis cuando hay contacto con los ojos; el cobre metálico puede causar queratinización en las manos y plantas de los pies, también es irritante gastrointestinal, lastimando las terminaciones nerviosas, estomacales o intestinales; una sola dosis de 500 mg provoca vómito. Las partículas de cobre en el aire causan irritación del tracto respiratorio, fiebre, náuseas y en algunas personas hasta decoloración de la piel y cabello. Si se inhalan partículas de sales de cobre causan congestión fundamentalmente en la membrana mucosa de la faringe (López 1985).

II. 8. 5. CADMIO

El cadmio se encuentra en casi todos los organismos en pequeñas cantidades, aunque no se sabe si tiene importancia para la fisiología de los organismos vivos. La presencia natural del cadmio en el medio aparentemente no ha causado problemas significativos para la salud, pues se encuentra en bajas concentraciones. La amplia utilización del cadmio en la industria, en cambio, hace que sea uno de los más frecuentes contaminantes del ambiente (Galvão y Corey 1987).

El promedio de consumo en la dieta del cadmio es de 0.35 mg al día. Los que tienen el hábito de fumar acumulan mucho más cadmio que los no fumadores. Se ha calculado que cada cajetilla de cigarrillos contiene alrededor de 30 µg de cadmio, del cual el 70% puede pasar dentro del humo inhalado (OMS 1978, Waldbott 1978).

De la dosis diaria que se ingiere de cadmio en alimentos y bebidas se cree que se absorbe alrededor de 10% por tracto gastrointestinal, enseguida pasa al sistema circulatorio y de ahí pasa al hígado, riñones y otros órganos. El cadmio que no se absorbe es eliminado por heces, orina, sudor y cabello.

La carga total corporal de cadmio es de aproximadamente 30 mg, de los cuales un 33% se encuentra en los riñones, un 14% en el hígado, 2% en los pulmones y 0.3% en páncreas. Hay preferentemente una acumulación en el tejido renal y especialmente en la corteza renal. La acumulación en riñón está asociada con una proteína específica, la teonina, la cual es capaz de unir el cadmio a la corteza renal fuertemente. Una pequeña cantidad de cadmio se acumula en los huesos (Department of Labor Washington 1980, Lucas 1975).

Las intoxicaciones por cadmio y sus compuestos, se deben a la ingestión de alimentos contaminados. El cadmio compite con enzimas que son activadas por el zinc, siendo el cadmio un antimetabólico del zinc. La inhalación de vapores de cadmio en la industria puede provocar diversos trastornos de gravedad, la penetración a través de la piel tiene una acción más limitada (Lucas 1975, Villalon y Monclus 1974).

Los síntomas por inhalación de vapores de cadmio son irritación bronconeumática, irritación en el cuello, náuseas, vómito, agotamiento, dolor de cabeza y alta temperatura. Este estado dura de una a varias semanas, la recuperación es gradual y completa, sin embargo, puede ser fatal cuando se presenta edema pulmonar (Kipling y Waterhouse 1967).

Las manifestaciones patológicas de la intoxicación ocupacional se caracte

riza por trastornos respiratorios con ulceraciones nasales, laringitis, bronquitis y enfisema; trastornos hepáticos digestivos con náuseas, vómitos y diarreas, trastornos renales con albuminuria; trastornos sanguíneos caracterizados por una anemia con disminución de hemoglobina; trastornos óseos, habitualmente van precedidos de dolores violentos y se puede comprobar por observaciones radiológicas de fisuras óseas. Se presentan preferentemente en sujetos que han estado expuestos por lo menos 10 años y trastornos nerviosos con posibilidad de parálisis (Villalón y Monclus 1974).

La intoxicación crónica está precedida de un período de impregnación donde se llega a observar la aparición de una zona dental amarilla de cadmio. Esta pigmentación del esmalte empieza en la base y puede llegar a recubrir la parte media del diente, hay proteinuria, afectándose los túbulos proximales de los riñones y originándose la formación de cálculos (Villalón y Monclus 1974, OMS 1978).

Existen evidencias de que el cadmio puede ser un agente carcinógeno cuando éste se aplica en altas concentraciones a animales de investigación; también se implica el cadmio a los carcinomas prostáticos en el humano (Kipling y Waterhouse 1967).

En estudios realizados por Hickey en 1967 (Kipling y Waterhouse 1967) acerca de la contaminación del aire demuestra que concentraciones altas de cadmio están relacionadas con disturbios en el corazón, hipertensión y arteriosclerosis.

III. METODOLOGIA

III. 1 INTRODUCCION.

A fin de que los organismos e instituciones encargados del control e investigación de la contaminación atmosférica obtenga información tendiente a evaluar la naturaleza y magnitud de la contaminación atmosférica por partículas en sus comunidades, así como la efectividad de programas de control, se muestrean las partículas suspendidas por el método de filtración según lo recomiendan organismos como la OMS y la EPA (EPA 1977 b).

El muestreador conocido como "Hi-Vol" (High volume sampler) es el equipo aceptado para este objetivo. Aproximadamente 20 000 de estos muestreadores son empleados en los Estados Unidos y cerca de 50 son utilizados por instituciones como SEDUE y otras en México.

La EPA ha designado al método de grandes volúmenes (Hi-Vol) como el método de referencia para PST. Este mismo método es empleado en México por SEDUE e instituciones de investigación.

III. 2 DESCRIPCION DEL MUESTREADOR DE GRANDES VOLUMENES (HI-VOL).

El muestreador de grandes volúmenes consta de un portafiltro con un bastidor donde se coloca el filtro, que se fija por medio de un marco metálico; el filtro es protegido por medio de una coraza metálica móvil que se encuentra en la parte superior del equipo, la cual presenta unas ranuras laterales por donde entra el aire, figuras 10 y 11.

El flujo de aire es originado por medio de una bomba de succión accionada por un motor, el contador de flujo está conectado a la coraza del motor de succión por medio de una manguera. La intensidad de la succión genera una diferencia de presión (ΔP), la cual se traduce en una señal que es marcada en un disco registrador. La señal registrada es proporcional al volumen del aire desplazado por el motor a través del filtro colector.

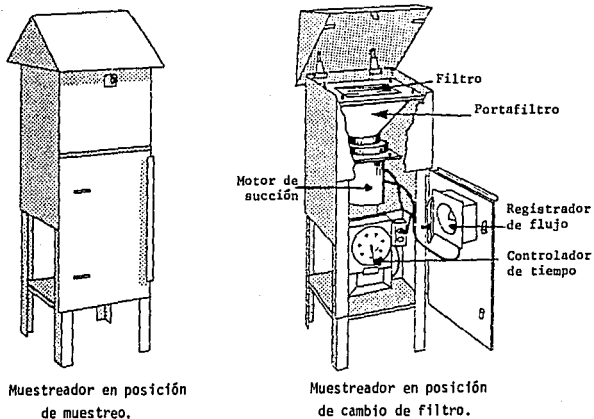


FIGURA 10 MUESTREADOR HI-VOL.

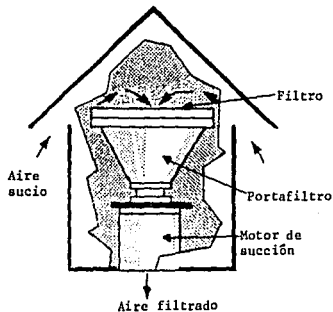


FIGURA 11 TRAYECTORIA DEL AIRE A MUESTREAR A TRAVÉS DEL INTERIOR DE LA CORAZA DEL MUESTREADOR HI-VOL.

El principio de operación del muestreador de grandes volúmenes es la retención de partículas en una membrana de fibra de vidrio que es expuesta a una corriente de aire generado por la bomba de succión durante 24 horas, el muestreo se realiza cada 4 días.

El aparato colector de grandes volúmenes antes de usarlo, se calibra con el equipo de placas de orificios para medir el flujo de aire exacto que pasa por el orificio de la coraza del motor, con ayuda de un manómetro y una curva primaria de calibración. Posteriormente se traza una curva de lecturas de registro en función del volumen muestreado, según las especificaciones de calibración, operación y método de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA 1977 b).

III. 3 LOCALIZACION DE LOS MUESTREADORES (HI-VOL).

Existen a la fecha criterios para el establecimiento y colocación de estaciones de muestreo o muestreadores de PST tipo Hi-Vol de tipo vecinal. Los procedimientos de selección deben ser representativos de la actividad urbana de los alrededores y seguir ciertas recomendaciones relacionadas con la altura del muestreador, distancia respecto a fuentes potenciales de emisiones de partículas potencialmente que afectan a la representatividad del muestreo (ejemplo árboles, construcciones, etc.). La figura 12 representa el diagrama esquemático del procedimiento seguido para la localización de las estaciones de muestreo (EPA 1977 b).

Los sitios seleccionados fueron también escogidos considerando dos factores adicionales decisivos adquiridos durante la experiencia de este tipo de estaciones en México: seguridad contra actos de vandalismo y robo, disponibilidad en sitios de muestreo de datos meteorológicos o que se encuentre lo más cercano posible de estos. La figura 13 representa en plano general de la zona

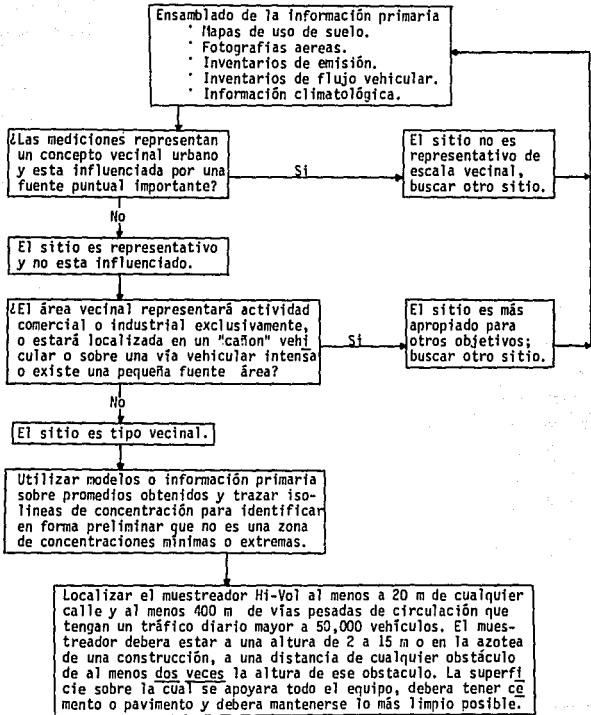


FIGURA 12 Diagrama esquemático del procedimiento para localizar las estaciones de muestreo de PST tipo vecinal.

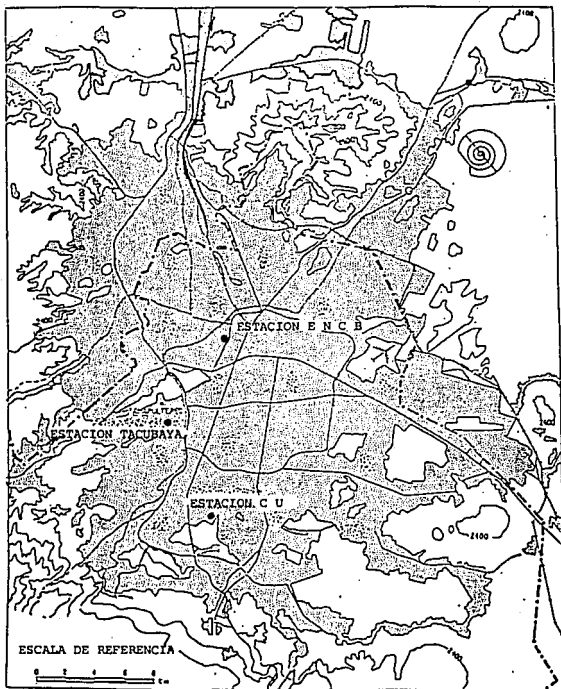


FIGURA 13 ESTACIONES DE MUESTREO DE PST EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO.

metropolitana de la Ciudad de México en donde se indica la localización de las tres estaciones de muestreo operadas:

- Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I P N
- Observatorio Central de Tacubaya, S A R H
- Centro de Ciencias de la Atmósfera, U N A M

El criterio operacional más importante para estas estaciones fue obtener datos de PST que permitan cubrir la mayoría de los posibles usos señalados en la sección II. 6, con énfasis a los trabajos de investigación realizados por la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

III. 4 TOMA DE LAS MUESTRAS

Se tomaron en las tres estaciones de muestreo un total de 218 muestras de partículas suspendidas totales (PST), por periodos de veinticuatro horas en los meses de enero, febrero y marzo de 1982 a 1987, de acuerdo a un calendario de muestreo y horario de arranque de los equipos. Se trató de cubrir al menos el mínimo de muestreos estadísticamente representativo de acuerdo a la EPA.

Las muestras representan la masa de partículas presentes en el aire ambiente que ha pasado a través del filtro o membrana de fibra de vidrio y en el cual se han depositado; este filtro posee un 99% de eficiencia en la colección de partículas en suspensión con diámetro de 0.1-100 μm (Dfaz 1986).

El filtro de membrana tiene un área de 406.5 cm^2 (63 pulg^2) de la cual queda expuesta una superficie de 20.2 X 25.45 cm (8 X 10 pulg), la porosidad corresponde a 0.01 μm la cual permite se atrapen partículas de un diámetro de 0.1 a 100 μm , que comprenden el mayor peso de las partículas en suspensión (Long y Suggs 1979).

El flujo real de aire que pasa por el filtro varía de 1.65 a 1.75 m^3 por minuto el cual se ve influenciado por parámetros como la concentración y la

naturaleza de los contaminantes, así como factores ambientales de temperatura y humedad de la atmósfera.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y la SEDUE en México recomiendan que, a fin de que sea factible la comparación de valores obtenidos en muestreos de Hi-Vol, y otros métodos que involucren desplazamiento de volúmenes de aire se lleve a cabo una corrección a condiciones estándar ya que las normas de Calidad de Aire están establecidas a estas condiciones. La recomendación involucra las siguientes condiciones:

Temperatura 25 °C ó 298 °K y Presión de 760 mm Hg

La ecuación para corregir los volúmenes muestreados a condiciones estándar es:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \times \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \quad \text{o bien}$$

$$V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{760 \text{ mm Hg}} \right) \times \left(\frac{298 \text{ °K}}{T_1} \right) = V_1 \times 0.39 \times \left(\frac{P_1}{T_1} \right)$$

donde V_2 = volumen del gas a las condiciones secundarias o bien a P_2 y T_2 ; lts.

V_1 = volumen del gas a las condiciones primarias de P_1 y T_1 ; lts.

T_1 = temperatura inicial del gas; °K.

T_2 = temperatura final del gas, en este caso 298 °K.

P_1 = presión inicial del gas; mm Hg.

P_2 = presión final del gas, en este caso 760 mm Hg.

III. 5 METODOS DE ANALISIS DE MASA DE PARTICULAS Y METALES.

III. 5. 1 ANTECEDENTES.

Los filtros empleados en los muestreadores Hi-Vol pueden ser analizados, además del contenido gravimétrico, para determinar diferentes especies químicas de interés.

Después de que el filtro de membrana ha sido pesado, puede ser cortado en varios pedazos para el análisis subsecuente. Diversas técnicas de extracción destructiva que pueden ser empleadas para preparar filtros son la extracción con disolventes orgánicos, extracción ácida y extracción acuosa. La primera se utiliza para determinar el contenido de aerosoles orgánicos presentes en el aire ambiente, los metales pesados pueden ser obtenidos por extracción ácida y los aerosoles inorgánicos por la acuosa. Después de la extracción la solución soluble resultante puede ser analizada por diversos métodos ampliamente reconocidos.

III. 5. 2 DETERMINACION DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) METODO GRAVIMETRICO (Code of Federal Regulations 1976).

El filtro se marca con un número de serie para su identificación y para tener una referencia de su peso. Este se somete a un acondicionamiento antes y después del muestreo, durante 24 horas a una temperatura entre 15 y 30 °C con una variación menor a ± 3 °C, a una humedad relativa menor al 50% con una variación menor al 5%, con el fin de obtener un peso constante y después guardarlo en un desecador apropiado para posteriormente usarlos en el colector de grandes volúmenes (EPA 1983 a).

Para coleccionar las partículas, se coloca la hoja en el bastidor del equipo, anotando la hora, la fecha y número de muestra para tener un registro en una hoja elaborada para tal fin (figura 14), después de 24 horas de exposición,

REGISTRO DE VOLUMENES EN EL DÍA.

Muestreador Hi-Vo1

Fecha 17-18-II-82

Filtro No. 185

No. 254122

Lugar E.N.C.B.

Hr. Inc. 10:10

Hr. Fin. 10:00

Hr	Vol.	Vol.
1		41.5
2		41.0
3		41.0
4		41.0
5		40.5
6		39.5
7		35.0
8		29.5
9		28.5
10	43.0	
11	43.0	
12	43.0	
13	43.0	
14	43.0	
15	42.5	
16	42.0	
17	42.0	
18	42.0	
19	42.0	
20	42.0	
21	42.5	
22	42.0	
23	42.0	
24	42.0	

1. Peso papel + partículas = 4.8114
 peso papel sin partículas = 4.0690
 peso de partículas ... 0.7424 g

2. Flujo teórico. \bar{V}_1

$$\bar{V} = \frac{1001.5 \text{ m}^3}{23.916 \text{ hr}} = 41.87 \text{ m}^3/\text{hr}$$

3. Flujo real. \bar{V}_2
 Interpolando = $1.64 \text{ m}^3/\text{min}$

4. Transformar a μg .

$$0.7424 \text{ g} \times \frac{1 \mu\text{g}}{10^{-6} \text{ g}} = 742400 \mu\text{g}$$

5. Volumen total muestreado.

$$1.64 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times 23.916 \text{ hrs} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}$$

$$= 2353.33 \text{ m}^3$$

6. Partículas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$$\frac{742400 \mu\text{g}}{2353.33 \text{ m}^3} = 315.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

FIGURA 14 Hoja de registro diario (24 hrs) de volúmenes de aire muestreado para el cálculo de partículas suspendidas totales (PST). (12)

se acondiciona nuevamente el filtro con las partículas a las condiciones antes referidas de temperatura y humedad relativa, para obtener de manera gravimétrica el peso correspondiente a partículas totales, expresado en microgramos (Dfiaz 1986).

Se anotan los datos del tiempo y volumen del disco registrador para relacionarlos con el peso de las partículas y calcular la cantidad de partículas en microgramos por metro cúbico.

III. 5. 3 DETERMINACION DE METALES.

Preparación del extracto ácido para determinar metales (Code of Federal Regulations 1976, Long et al 1979).

De la hoja de membrana expuesta, se recorta una octava parte, sin las orillas ya que estas no contienen partículas. Todo el material de vidrio que se use para las diferentes operaciones y el frasco de polietileno donde se guardan los extractos de las determinaciones, debe estar perfectamente limpio y lavado con ácido nítrico (1 + 4), enjuagado con agua destilada tres veces y otras con agua desionizada. En la preparación de todos los reactivos y en las diluciones que lo requieran, se usa agua desionizada.

Para la extracción de los metales, esta parte de la membrana se recorta en pedazos pequeños aproximadamente de un centímetro cuadrado sobre el vaso digestor de 600 ml, el cual contiene 25 ml de agua desionizada o agua bidestilada, íntegramente en alambiques de cristal, se agita la membrana y se agregan 50 ml de ácido nítrico (1 + 1). El vaso que contiene la muestra se instala en el equipo "Labcon" para seis unidades y se efectúa la digestión por calentamiento a reflujo en una parrilla a una temperatura regulada durante dos a tres horas, la digestión se da por terminada cuando la membrana tiene la apariencia de una papilla blanca o gris.

La muestra se deja enfriar toda la noche y después de ese tiempo, se agre

gan 20 ml de ácido nítrico (1 + 4) se filtra en un papel Whatman del No. 4, se enjuaga el vaso digestor con dos porciones de 10 ml de ácido nítrico (1 + 4) y se pasa por el mismo papel; enseguida se enjuaga el vaso con dos porciones de 20 ml de agua desionizada que pasa por el filtro que contiene la papilla; todo el filtrado obtenido junto con los lavados se concentra por evaporación lenta en la parrilla, hasta reducir el volumen aproximadamente a 25 ml, se enfría a temperatura del laboratorio, se afora a 50 ml con agua desionizada. El extracto se guarda en frascos de polietileno limpios y etiquetados para su posterior identificación y análisis.

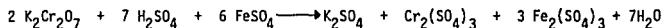
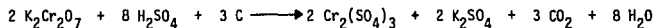
Se determinaron los metales cuantitativamente por el método de Absorción Atómica en un equipo: Espectrofotómetro de Absorción Atómica modelo AA-1475 Varian.

III. 5. 4 DETERMINACION DE CARBON (Lomas 1985, Walkley and Blank 1943).

Método de la combustión húmeda.

Fundamento: El contenido de carbón de procedencia orgánica es transformado a bióxido de carbono y agua por una digestión con solución valorada de dicromato de potasio en medio sulfúrico; el exceso de dicromato es valorado con solución de sulfato ferroso de normalidad conocida, usando ferrofna como indicador.

Reacciones:



Reactivos

a) Dicromato de potasio 1N: se pesan 49.04 g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ seco, se disuelve con agua destilada y se lleva a 100 ml en un matraz aforado.

b) Acido sulfúrico concentrado.

c) Agua destilada.

d) Acido fosfórico concentrado.

e) Indicador de ferrofina: se pesan 0.495 g de 1:10 fenantrolina y se di
suelven en 100 ml de una solución de sulfato ferroso 0.025 M.

f) Sulfato ferroso 1N: se pesan 278.0 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ disueltos en agua
más 15 ml de H_2SO_4 concentrado aforando a 1000 ml con agua destilada.

Procedimiento para las muestras:

Se toma 1/16 de la parte expuesta del filtro de fibra de vidrio y se colo
ca en un matraz erlenmeyer, se agregan 20 ml de dicromato de potasio 1 N y 40
ml de ácido sulfúrico concentrado, se homogenizan y se ponen a baño María du
rante 1 hora treinta minutos para completar la digestión, después se lleva to
do a un volumen de 100 ml con agua destilada y se agregan 10 ml de ácido fos
fórico concentrado y 2 ml del indicador de ferrofina. El dicromato excedente
se valora con sulfato ferroso 1 N hasta que el color verde intenso cambie a
café rojizo.

Se prepara para cada serie de muestras un testigo que contiene todos los
reactivos y 1/16 de filtro sin exponer y se trata de la misma manera que las
muestras anteriores.

Los cálculos para la determinación del contenido de partículas suspendidas
totales y su contenido en carbón y metales en el muestreador de grandes volú
menes (Hi-Vol) se presenta en el ANEXO A.

III. 6 METODOS ESTADISTICOS DE MANEJO DE DATOS.

III. 6. 1 INTRODUCCION.

El propósito de un programa de monitoreo es producir datos para su uso posterior. Los datos primarios deben ser agrupados en una forma tal que pueden ser interpretados cuando así sea requerido. Los valores deberan expresarse en unidades uniformes (MKS) y ser reducidos a periodos sistemáticos promedio.

No existe un sistema ideal de reducción de datos, sin embargo, cualquier metodología estadística que permita flexibilidad y que cubra necesidades como: comparación con normas de calidad del aire, diferentes periodos (24 horas, mensual, estacional o anual para el caso de PST), incluyendo máximos y mínimos, es bien aceptado, siempre y cuando cumpla requerimientos de estadística básica reconocida por sus aspectos de aplicación a datos de contaminación atmosférica (NATO/CCMS/EPA 1972).

III. 6. 2 TECNICAS ESTADISTICAS DE APLICACION EN MUESTREOS DE PST.

De acuerdo a lo señalado en el apartado anterior, el uso apropiado de diferentes técnicas estadísticas es necesario para la reducción de datos y evaluación de la calidad del aire. Estas técnicas pueden ir desde simple graficación de los datos, hasta procedimientos especiales gráficos de correlación de series de tiempo con agrupaciones de datos. En las secciones siguientes se describe brevemente las técnicas empleadas en el presente trabajo.

a. ANALISIS GRAFICO DE DATOS.

Generalmente los datos son no-manejables en la forma en que éstos son obtenidos. Los datos obtenidos en el muestreo de PST son de tipo variable discreta, dado que son valores integrados en un periodo de tiempo. No obstante, una gráfica sencilla de valores obtenidos individualmente permite distinguir fácilmente cuales datos rebasan alguna norma de calidad o valores preestable-

cidos (NATO/CCMS/EPA 1972). Un típico ejemplo es la gráfica tipo barras.

b. DISTRIBUCION DE FRECUENCIA.

Cuando se dispone de un gran número de datos, es útil el distribuirlos en clases o categorías y determinar el número de eventos pertenecientes a cada clase, que es la frecuencia de clase. Una ordenación tabular de los datos en clases, reunidas las clases y con las frecuencias correspondientes a cada una, se conoce como una distribución de frecuencias o tabla de frecuencias (Spiegel 1979). El tamaño de clase es arbitrario, dependiendo de los datos registrados, aunque como "regla de dedo" se sugiere de entre 8 y 15 intervalos (EPA 1983 b).

Los histogramas y polígonos de frecuencia son dos representaciones gráficas de las distribuciones de frecuencia. Un histograma de frecuencia consiste en una serie de rectángulos que tienen sus bases sobre un eje horizontal (eje X) con centros en las marcas de clase y longitud igual al tamaño de los intervalos de clase. Un polígono de frecuencias es un gráfico de línea trazado sobre las marcas de clase. Se obtiene uniendo los puntos medios de los techos de los rectángulos en el histograma.

Los histogramas permiten apreciar cuales son las probabilidades de ocurrencia de un grupo de datos, especialmente aquellos que son de interés en la interpretación de la calidad del aire.

Este tipo de representaciones gráficas, permite conocer que tipo de tendencia en la distribución de datos existe, sin embargo, no señala valores de centralización como media, mediana, moda y otros.

III. 6. 3 MEDICIONES DE TENDENCIA CENTRAL.

a. MEDIA O PROMEDIO ARITMETICO.

La forma básica de resumir un grupo de datos es calculando un valor central. El valor estadístico más comunmente utilizado es el promedio aritmético

o media. Este estadístico es útil cuando se aplica a grupos de datos que tienen una distribución simétrica. La fórmula es:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{\sum x_i}{n}$$

donde: \bar{x} = media o promedio aritmético.

x_i = cualquier media individual.

n = número total de observaciones.

La media no siempre es una medición perfecta del valor central verdadero de un grupo de datos. En ocasiones, la media aritmética sobre-estima la importancia de uno o más datos extremos, cuando la distribución de frecuencia no es simétrica

b. MEDIANA.

Cuando los datos de distribución de datos se comporta asimétricamente como lo muestra la figura 15, es deseable calcular diferentes medidas de tendencia central. La mediana representa el valor medio de una distribución de datos, o bien la cantidad en la cual la mitad de los datos caen. Si "n" datos están acomodados en su orden de magnitud, la mediana es el valor $[(n + 1)/2]$ -ésimo.

La mediana es un valor de posición, esta menos influenciado por los valores extremos en comparación con la media, pero no es una buena medida de tendencia central. Este tipo de mediciones es representativo de comportamiento de grupos de datos de muestreo de PST.

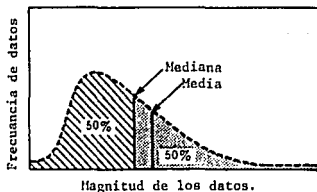


FIGURA 15 ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UNA DISTRIBUCION ASIMETRICA DE DATOS ESTADISTICOS (MEDIANA VS. MEDIA).

MEDIA GEOMETRICA

Otra medición de tendencia central utilizada en aplicaciones más específicas es la media geométrica (\bar{x}_g), que puede ser calculada con:

$$\bar{x}_g = \sqrt[n]{(x_1)(x_2) \dots (x_n)}$$

donde:

\bar{x}_g = media geométrica.

n = número de observaciones.

otra forma es:

$$\log_{10} \bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum \log_{10} x_i$$

La media geométrica es requerida cuando se desea comparar el valor anual de PST respecto a la norma de calidad de aire.

c. MODA

La moda de una serie de números es aquel valor que se presenta con la mayor frecuencia, es decir, es el valor más común. La moda puede no existir, incluso si existe puede no ser única. En la evaluación de datos de PST, la moda representa a la clase de un grupo de datos específicos.

d. RELACION EMPIRICA ENTRE MEDIA, MEDIANA Y MODA.

Para curvas de referencia unimodales que sean moderadamente sesgadas (asimétricas), se tiene la relación empírica:

$$\text{MEDIA} - \text{MODA} = 3 (\text{MEDIA} - \text{MEDIANA})$$

e. CUARTILES, DECILES Y PERCENTILES.

Si una serie de datos se coloca en orden de magnitud, el valor medio (o la media aritmética de los dos valores medios) que divide al grupo en dos partes iguales es la mediana. Por extensión, de esta idea se piensa en aquellos valores que dividen a los datos en cuatro partes iguales se llaman "cuartiles". Estos valores representados por Q_1 , Q_2 y Q_3 se llaman primero, segundo y tercer "cuartil", respectivamente; el valor de Q_2 es igual al de la media.

Análogamente, los valores que dividen en diez partes iguales se llaman "deciles" y se representan por ejemplo D_1 , D_2 , ..., D_9 , mientras que los valores que dividen los datos en cien partes iguales se llaman "percentiles" y se representan por P_1 , P_2 , ..., P_{99} . El quinto decil y el quincuagésimo percentil se corresponden con la media. Los percentiles P_{25} y P_{75} se corresponden con el primer y tercer cuartil respectivamente.

En conjunto cuartiles, deciles, percentiles y otros valores obtenidos por subdivisiones análogas de los datos se llaman "cuantiles".

f. REPRESENTACIONES ESTADISTICAS TIPO "BOXPLOTS" Y DE INTERVALOS DEL 95%.

La EPA (Agencia de Protección Ambiental de los E.U.) recomienda que para

el manejo de datos de monitoreo y muestreo de calidad del aire se utilicen variaciones del sistema de representación estadística conocida como "boxplots". Esta representación gráfica permite ilustrar gráficamente diferentes percentiles, la media, la mediana y los máximos y mínimos observados en un grupo de datos. La figura 16 ilustra un tipo de gráfico "bloxplot".

El uso de estos gráficos permite comparar simultáneamente la tendencia entre grupos de datos que hayan sido obtenidos para un mismo período de tiempo y lugar.

Otro ejemplo de representaciones es el gráfico de intervalos de confianza. Los intervalos de confianza se fijan alrededor de los promedios aritméticos; el intervalo de confianza usado por la EPA es el del 95%. Los gráficos de intervalos de confianza se utilizan para hacer comparaciones entre años o períodos; si el intervalo de confianza para cualquiera de dos períodos no se sobrepone, entonces se dice que estadísticamente los promedios entre estos dos períodos son significativamente diferentes, figura 17 (Tukey 1977, EPA 1986).

III. 6. 4 MEDIDAS DE DISPERSION.

Al grado en que los datos numéricos tienden a extenderse alrededor de un valor medio se llama "variación o dispersión" de los datos. Las medidas más empleadas son el rango, la desviación estándar y la desviación geométrica.

a. RANGO

La diferencia entre los valores máximos y mínimos de un conjunto de datos se conoce como rango. Obviamente el rango no hace uso completo de la información contenida en ese grupo de valores, ya que considera dos datos. Sin embargo, es una medida razonablemente eficiente en relación a la desviación estándar cuando el número de datos es menor a 10, por lo que se utiliza como medida de la variabilidad en muestras pequeñas.

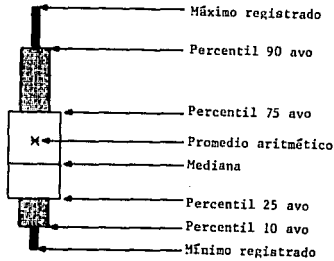


FIGURA 16 DESCRIPCION DE LA SIMBOLOGIA DE LOS GRAFICOS "BOXPLOTS".

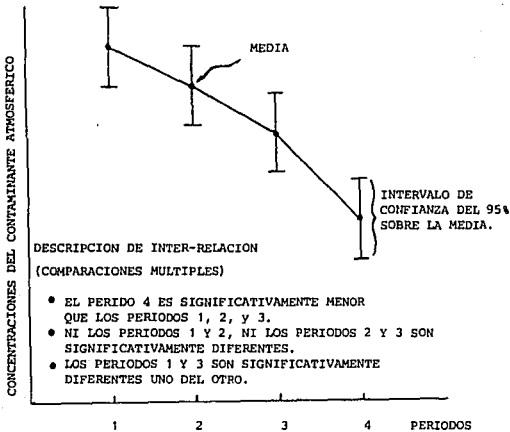


FIGURA 17 EJEMPLO ILUSTRATIVO DEL USO DE INTERVALOS DE CONFIANZA PARA DETERMINAR CAMBIOS ESTADISTICOS SIGNIFICATIVOS.

b. DESVIACION ESTANDAR.

La desviación estándar es la medida típica de dispersión.

La siguiente expresión define a la desviación estándar:

$$S = + \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

donde: S = desviación estándar (siempre positiva).

x_i = un dato cualquiera.

\bar{x} = media de un grupo de datos.

n = número de observaciones.

La expresión $(x - \bar{x})$ muestra que la desviación estándar de cada dato de la media se considera para el cómputo de la desviación estándar. Otra forma de escribirla es:

$$S = + \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n - 1}}$$

la cual facilita la manipulación de los datos.

c. DESVIACION ESTANDAR GEOMETRICA.

La desviación estándar geométrica es muy similar a la desviación estándar, solo que, la dispersión en el logaritmo de las mediciones es medida por la desviación geométrica, en lugar de la dispersión de dichas mediciones. Los cálculos con logaritmos normalizan los datos aproximadamente a una mejor curva de distribución normal (simétrica por ambos lados). La fórmula para el cálculo de la desviación estándar geométrica es:

$$S_g = \text{antilog} \left[\frac{\sum (\log x - \log \bar{x})^2}{n - 1} \right]^{1/2}$$

III. 6. 5 REGRESION, TENDENCIA Y PREDICION.

INTRODUCCION

En los estudios de calidad del aire por PST se profundiza respecto a la naturaleza y magnitud de la contaminación por partículas suspendidas, como es el caso de los metales en las PST. El análisis químico cuantitativo de los filtros de colección de muestras provee esa información, sin embargo, la mayoría de las veces se desea conocer o bien estimar el valor de una variable Y (por ejemplo plomo) correspondiente a un valor dado de una variable X (por ejemplo PST).

Esto puede conseguirse estimando el valor de Y de la curva de mínimos cuadrados que ajusta los datos muestreados, la curva resultante se llama curva de regresión Y sobre X, puesto que Y se estima a partir de X.

Esta técnica estadística permite estimar si existe una relación entre dos (o más) variables. Por ejemplo, que el contenido de plomo en PST dependa del contenido total de PST, o que el contenido de carbón en PST está relacionada directamente con el contenido de plomo en PST. Si todos los puntos parecen estar cerca de alguna curva, la correlación se dice lineal. Si no hay relación entre las variables se dice que no hay correlación entre ellas, es decir, no están correlacionadas.

No es el objetivo de este trabajo discutir las técnicas estadísticas de este tipo, por lo que solo se menciona el principio y las bases de estimación.

a. Los datos obtenidos de PST durante períodos uniformes y por varios años en sitios fijos de muestreo pueden ser empleados para predecir la calidad del aire sobre un segmento de la población. La detección de las tendencias en el tiempo, examinando los datos simples es muy difícil por el intervalo de concentraciones tan amplio que existe; sin embargo, la aplicación de técnicas estadísticas sofisticadas de "suavización" puede usarse para este objeto. Un buen

ejemplo es el "suavizamiento estacional" que consiste en agrupar los datos en periodos estacionales como primavera, verano, otoño o invierno. Otro tipo de análisis de series de tiempo son igualmente aplicables. Una vez obtenida la tendencia en una serie de tiempo es posible realizar el pronóstico o la predicción.

b. REGRESION.

Para evitar el juicio individual en la construcción de rectas, parábolas u otras curvas de aproximación, en su ajuste a colección de datos es necesario obtener una definición de la "mejor recta de ajuste", "mejor parábola de ajuste".

Si la relación entre dos variables es significativamente, puede trazarse una línea de regresión lineal o una línea del "mejor ajuste" que represente al comportamiento de los datos. Algebraicamente, una línea recta tiene la forma:

$$y = mx + b$$

donde:

- y = variable graficada sobre la ordenada.
- x = variable graficada sobre la abscisa.
- b = intersección en y.
- m = pendiente = cambio en y/cambio en x.

La regresión lineal minimiza la distancia vertical entre los puntos (x, y) y la línea recta (figura 18).

Una curva que presenta esta propiedad se dice ajustada a los datos "por mínimos cuadrados" y se le llama "curva de mínimos cuadrados".

Se acostumbra emplear la definición anterior cuando X es la variable independiente e Y es la variable dependiente.

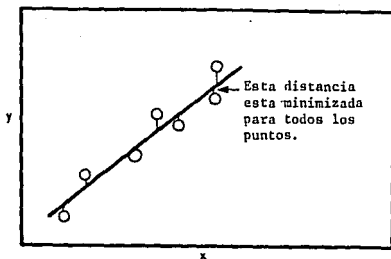


FIGURA 18 CURVA DE REGRESION LINEAL.

El método de mejor ajuste sigue las siguientes ecuaciones:

$$m = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$b = \bar{Y} - m\bar{X}$$

donde: n = número de observaciones.

$$\bar{Y} = y/n \quad ; \quad \bar{X} = x/n$$

Ahora bien, si todos los valores de las variables satisfacen exactamente una ecuación, se dice que las variables están correlacionadas perfectamente o que hay una correlación perfecta entre ellas.

Para conocer si dos variables están correlacionadas se utiliza el coeficiente de correlación.

La variación total de Y se define como $\sum (Y - \bar{Y})^2$, es decir la suma de los cuadrados de las desviaciones de los valores Y de su media \bar{Y} . Esto es:

$$\sum (Y - \bar{Y})^2 = \sum (Y - Y_{\text{estimada}})^2 + \sum (Y_{\text{estimada}} - \bar{Y})^2$$

El primer término del segundo miembro se llama "variación no explicada", mientras que el segundo término se llama "variación explicada", y esto es así, por que las desviaciones $(Y_{\text{estimada}} - \bar{Y})$ tienen un patrón definido, mientras que las desviaciones $(Y - Y_{\text{estimada}})$ se comportan de una forma aleatoria o no previsible.

Si la variación explicada es cero, es decir, la variación total no está en su totalidad explicada, la razón $\left[\frac{\sum (Y_{\text{est.}} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} \right]$ es cero.

Si la variación no explicada es cero, es decir, la variación total está totalmente explicada, la razón es uno. En los demás casos la razón se encuentra entre cero y uno. Puesto que la razón es siempre positiva, se denota por r^2 . La cantidad "r" se llama coeficiente de correlación y está dado por:

$$r = \pm \sqrt{\frac{\text{variación explicada}}{\text{variación total}}} = \pm \sqrt{\frac{\sum (Y_{\text{est.}} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}}$$

y varía entre -1 y +1. Otra forma de "r" es:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad \text{donde:} \quad \begin{aligned} x &= X - \bar{X} \\ y &= Y - \bar{Y} \end{aligned}$$

Las curvas de regresión pueden ser aplicadas a series de tiempo. Si la variable independiente X es el tiempo, los datos muestran los valores de Y en diferentes tiempos. Los datos ordenados en relación al tiempo se denominan "series de tiempo". La recta o curva de regresión de Y sobre X en este caso se llama frecuentemente recta de tendencia o curva de tendencia y se utiliza a menudo para fines de estimación, predicción o pronóstico.

c. SERIES DE TIEMPO.

Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones hechas en momentos de terminados, normalmente a intervalos iguales. Matemáticamente, una serie de tiempo se define por los valores Y_1, Y_2, \dots de una variable Y en los momentos t_1, t_2, \dots . Así, Y es una función de t , simbolizada por $Y = f(t)$. La experiencia reportada en libros especializados revela ciertos movimientos o variaciones características. El análisis de tales movimientos es de gran importancia en muchos casos, uno de los cuales es el problema de previsión o pronóstico de movimientos futuros.

Los movimientos estacionales o variaciones estacionales se refieren a las idénticas o casi idénticas normas que una serie de tiempo parece seguir durante los correspondientes meses de los sucesivos años. Tales movimientos se deben a sucesos recurrentes que se repiten anualmente, por ejemplo la presencia de las inversiones térmicas en invierno.

El análisis de las series de tiempo consiste en una descripción matemática de los movimientos que la componen. Se supone que en las series de tiempo la variable Y es un producto de las variables T, C, S e I que originan respectivamente los movimientos de tendencia, ciclos estacionales e irregulares:

$$Y = f(T, C, S, I)$$

Así, el análisis de las series de tiempo pueden señalarse que consisten en una investigación de los factores T, C, S e I en una descomposición de sus movimientos, sin embargo, los movimientos medios son los utilizados, por su facilidad de aplicación. Si los datos son dados anual o mensual, se llama movimiento de orden N a un movimiento medio de N años o un movimiento medio de N meses, respectivamente. Así, se habla de movimientos medios de cinco años, movimientos medios de 12 meses, etc. Los movimientos medios tienen la propiedad de tender a reducir la cantidad de variación presente en un conjunto de datos.

En el caso de las series de tiempo, esta propiedad se utiliza a menudo para eliminar las fluctuaciones no deseadas y el proceso se llama suavización de series de tiempo, su representación es:

$$\frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_N}{N}, \frac{Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{N+1}}{N}, \frac{Y_3 + Y_4 + \dots + Y_{N+2}}{N},$$

Las sumas de los numeradores se llaman movimientos totales de orden N (Spiegel 1979).

d. PRONOSTICO.

El método de mínimos cuadrados se presentó en la sección c. del apartado III. 6. 5 y puede ser utilizada para hallar la ecuación de una recta o curva de tendencia adecuada. De esta ecuación se pueden calcular los valores y pronósticos y es el método más sencillo de pronóstico que se conoce.

El modelo de pronóstico sencillo supone que el patrón seguido por la secuencia de observaciones puede ser mejor representado por un promedio aritmético de las observaciones anteriores. En términos de series de tiempo, se supone que sigue el siguiente comportamiento:

$$Y_t = \beta_0 + e_t$$

donde: Y_t = una observación en el periodo de tiempo t .

β_0 = constante = grado de serie.

e_t = una fluctuación al azar en el mismo periodo t con media igual a cero y variación σ_e^2

La serie de tiempo de pronóstico de promedios móviles para una observación a un periodo de tiempo t esta dada por:

$$\hat{Y}_t = \frac{Y_{t-1} + Y_{t-2} + Y_{t-3} + \dots + Y_{t-n}}{n}$$

Esto es, el pronóstico simple de una serie de tiempo de promedios móviles para el período de tiempo "t" es el promedio aritmético de las "n" observaciones más recientes. En períodos trimestrales $n = 3$; esto mismo da el efecto de suavizamiento para un promedio móvil de tres meses (Ptaffenberger and Patterson 1977).

Otro modelo de uso en pronóstico en base a series de tiempo es el modelo exponencial. El valor pronóstico de la serie de tiempo al promedio t, Y_t , es equivalente a la fracción α del error del pronóstico del período, $(Y_t - \hat{Y}_{t-1})$ más el valor pronosticado del período previo. Así para predecir el valor de la serie de tiempo "t + 1" se utiliza:

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha(Y_t - \hat{Y}_t) + \hat{Y}_t$$

donde: $\alpha =$ constante de suavizamiento $[0 \leq \alpha \leq 1]$

Para los objetivos de presentar información de pronóstico útil para investigaciones posteriores, se utilizó el paquete computacional STATGRAPHICS (Statistical Graphics System by Statistical Graphics Corporation) empleado por la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera para el manejo de datos y pronóstico de calidad de aire.

Los procedimientos estadísticos fueron: Análisis de tendencia sencilla y Análisis con suavizamiento exponencial de Brown. El primero consiste en una estimación y pronóstico utilizando un modelo de la forma $a + bt$, donde t = tiempo. Los valores suavizados son graficados como una línea sólida a través de las observaciones originales. El segundo procedimiento consiste en la aplicación de una técnica de suavizamiento exponencial simple utilizando un valor α constante. Los valores suavizados son graficados en forma de una línea sólida a través de las observaciones originales. Se sugiere al interesado en el empleo de estas técnicas consultar el manual de dicho paquete computacional.

IV. DISCUSION DE RESULTADOS.

Los resultados señalados en este capítulo están referidos a condiciones estándar de muestreo según los criterios señalados en la sección III. 4 de este trabajo.

IV. 1 ANALISIS GRAFICO DE DATOS.

Las concentraciones de PST y su contenido en carbón, plomo, cobre y cadmio en las estaciones ENCB, CU y TACUBAYA para los diferentes periodos considerados en este estudio se presentan en forma de líneas en las figuras 19 a 33.

IV. 1. 1 ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS (ENCB).

La figura 19 presenta las concentraciones de PST registradas durante los trimestres de 1982 a 1987 en la ENCB. Haciendo un análisis sencillo de porcentaje de valores de PST que rebasan la norma mexicana de calidad de aire de $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas, se encontró que para el trimestre 82, 83, 84, 85, 86 y 87 el porcentaje de días que rebasa la norma en la ENCB fueron: 69%, 75%, 50%, 71%, 87.5% y 62.5% respectivamente. Cabe señalar que durante 1983 solo se obtuvieron cuatro mediciones, siendo esto motivo de una gran incertidumbre estadística por el número tan pequeño de datos en ese trimestre.

Los promedios trimestrales de PST en las tres estaciones se muestran en la tabla IV.

TABLA IV Promedios estacionales trimestrales para PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

AÑO	ESTACION		
	ENCB	CU	TACUBAYA
1982	324.87	301.17	—
1983	257.18*	201.57	—
1984	270.88	220.20	244.96
1985	345.27	236.73	295.61
1986	322.62	259.31	274.64
1987	312.05	202.23	277.47

* Pocos datos no representativo.

Como se observa en la tabla anterior la estación que muestra las más altas concentraciones en el trimestre enero-febrero-marzo es la ENCB.

En la tabla V se muestra el análisis estadístico trimestral para PST en esta estación.

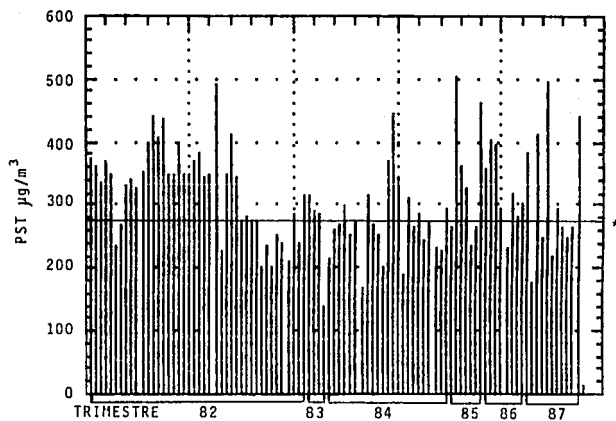


FIGURA 19 CONCENTRACIONES DIARIAS DE PST EN LA ESTACION
E N C B DEL AÑO 1982 - 1987.

* Norma Mexicana de Calidad de Aire.

T A B L A V

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION E N C B .

P S T $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	N° DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	VALORES		RANGO	CUARTILES		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1982	42	324.87	4817.84	69.41	201.17	488.83	287.66	270.65	368.18	97.53	344.02
1983	4	257.18	6457.40	80.36	138.49	316.00	177.51	210.77	303.58	92.81	287.11
1984	23	270.88	3626.62	60.22	167.05	443.13	276.08	231.82	297.78	65.96	267.51
1985	7	345.27	1075.60	103.468	234.99	504.18	269.19	263.83	460.71	196.88	327.65
1986	8	322.62	3477.58	58.97	229.14	403.04	173.9	287.94	375.66	87.72	310.78
1987	11	312.05	10440.10	102.176	216.76	494.23	277.47	249.00	408.97	159.97	293.53

La figura 20 muestra las concentraciones de carbón total contenidas en PST en los meses enero-febrero-marzo (EFM) de 1982 a 1987. No existe norma de calidad para carbón en PST, sin embargo, fácilmente se aprecia que se presenta una ligera tendencia a la disminución, aunque las concentraciones obtenidas siempre estuvieron por arriba de los $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muy por arriba de los valores registrados para esta especie en otras ciudades del mundo. Este hecho se refleja en la poca visibilidad presente en la Ciudad de México. (Bravo et al 1988).

Los promedios trimestrales de carbón en PST en las tres estaciones de muestreo se dan en la tabla VI.

TABLA VI Promedios estacionales trimestrales de carbón en PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

AÑO	ESTACION		
	ENC B	C U	T A C U B A Y A
1982	85.96	56.87	—
1983	68.89	31.81	—
1984	63.21	38.55	54.49
1985	56.25	34.37	45.32
1986	62.02	50.74	57.11
1987	59.34	42.14	57.37

En base a la tabla anterior se deduce que las zonas donde se presenta la mayor concentración de carbón son la ENCB y TACUBAYA, siendo también las zonas donde la visibilidad es menor.

En la tabla VII se muestra el análisis estadístico trimestral para carbón en la ENCB.

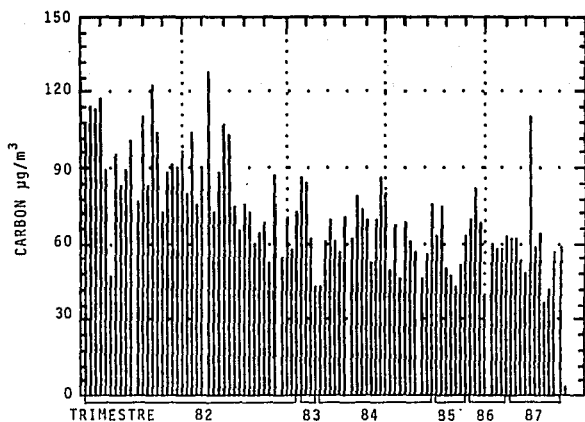


FIGURA 20 CONCENTRACIONES DIARIAS DE CARBON EN LA ESTACION
E N C B DEL AÑO 1982 - 1987.

T A B L A VII

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION E N C B .

C A R B O N $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	N° DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	V A L O R E S		RANGO	C U A R T I L E S		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1982	42	85.97	399.11	19.98	47.3	128.18	80.88	72.58	102.36	29.78	87.67
1983	4	68.89	421.36	20.53	42.81	86.36	43.55	52.51	85.27	32.76	73.20
1984	23	63.21	133.09	11.54	43.45	85.45	42.00	56.00	70.22	14.22	61.60
1985	7	56.25	122.98	11.09	43.10	74.8	31.70	47.65	63.35	15.70	51.34
1986	8	62.02	150.88	12.28	39.39	82.19	42.80	57.22	68.54	11.32	61.55
1987	11	59.34	353.65	18.80	36.83	109.71	72.88	48.06	62.30	14.24	58.43

La figura 21 muestra las concentraciones de plomo en PST en los trimestres (EFM) de 1982 a 1987 en la ENCB. La norma de calidad de aire para plomo es de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio aritmético trimestral.

Los promedios trimestrales de plomo en PST en las tres estaciones de muestreo se dan en la siguiente tabla VIII.

TABLA VIII Promedios estacionales trimestrales de plomo en PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

AÑO	ESTACION		
	ENCB	CU	TACUBAYA
1982	3.0593	2.4095	—
1983	0.4331	0.7324	—
1984	1.0867	0.7500	1.0211
1985	1.3912	0.7184	0.9389
1986	1.2248	0.7407	0.9648
1987	1.1229	0.6122	0.9394

Una primera aproximación del análisis de estos resultados indica que la principal fuente de plomo en la atmósfera son los vehículos automotores que consumen gasolina con plomo. En la tabla anterior se observa que el contenido de plomo en la atmósfera ha disminuido, pudiendo ser la causa, la reducción del contenido de tetraetilo de plomo en las gasolinas que se distribuyen en la ZMCM por PEMEX.

Como se observa en la tabla anterior la zona que presenta mayores concentraciones de plomo es la ENCB.

En la tabla IX se muestra el análisis estadístico trimestral para plomo en la zona de la ENCB.

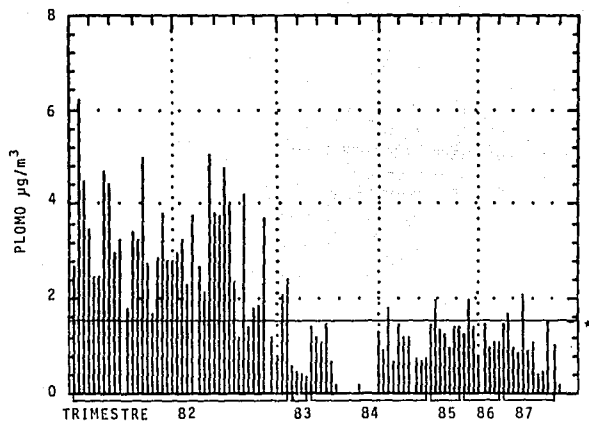


FIGURA 21 CONCENTRACIONES DIARIAS DE PLOMO EN LA ESTACION
E N C B DEL AÑO 1982 - 1987.

* Norma de Calidad del Aire para plomo.

T A B L A IX

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION E N C B .

P L O M O $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	N° DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	V A L O R E S		RANGO	C U A R T I L E S		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1982	42	3.060	1.43	1.19	0.7247	6.2273	5.50	2.30	3.79	1.49	2.90
1983	4	0.430	7.44	0.08	0.3558	0.5389	0.18	0.36	0.50	0.14	0.42
1984	15	1.087	0.12	0.35	0.6631	1.7806	1.12	0.71	1.38	0.672	1.18
1985	7	1.390	0.09	0.31	0.9431	1.9828	1.04	1.25	1.44	0.18	1.38
1986	8	1.220	0.14	0.38	0.7156	1.9704	1.25	1.00	1.42	0.43	1.15
1987	11	1.123	0.26	0.51	0.4093	2.0726	1.66	0.86	1.50	0.64	1.03

Las concentraciones de cobre en PST para los trimestres EFM de 1982 a 1987 en la ENCB se presentan en la figura 22. El patrón de comportamiento de las concentraciones de cobre en las PST presenta alta diversidad. El intervalo de cobre en PST para esta zona se encuentra dentro de los límites reportados para concentraciones de este elemento en áreas urbanas. No hay norma de calidad de aire para cobre en PST.

Los promedios trimestrales de cobre en PST en las tres estaciones de muestreo se dan en la tabla X.

TABLA X Promedios estacionales trimestrales de cobre en PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

AÑO	ESTACION		
	ENCB	CU	TACUBAYA
1982	1.7384	0.4447	—
1983	0.6233	0.1688	—
1984	0.5113	0.2303	0.2813
1985	1.3976	0.3819	0.2832
1986	1.5533	0.3931	0.3661
1987	0.5977	0.2899	0.3165

En base a la tabla anterior se deduce que la zona que presenta mayor contenido de cobre es la zona de la ENCB.

En la tabla XI se muestra el análisis estadístico trimestral de cobre en PST en la zona de la ENCB.

ESTE MATERIAL NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

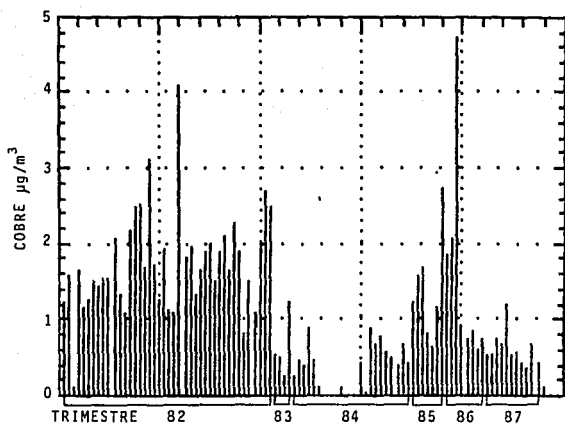


FIGURA 22 CONCENTRACIONES DIARIAS DE COBRE EN LA ESTACION
E N C B DEL AÑO 1982 - 1987.

T A B L A X I

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION E N C B .

COBRE $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	N° DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	V A L O R E S		RANGO	C U A R T I L E S		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1982	42	1.7384	0.4370	0.6611	0.1199	4.0974	3.9775	1.3295	1.9866	0.6571	1.6457
1983	4	0.6233	0.1686	0.4106	0.2506	1.2091	0.9585	0.3727	0.8740	0.5013	0.5168
1984	15	0.5112	0.0540	0.2324	0.0191	0.8770	0.8579	0.3971	0.6656	0.2685	0.4549
1985	7	1.3976	0.4956	0.7040	0.6152	2.7354	2.1202	0.7866	1.6923	0.9057	1.2279
1986	8	1.5533	1.9181	1.3849	0.6053	4.6987	4.0934	0.7326	1.9580	1.2253	0.8705
1987	11	0.5977	0.0529	0.2282	0.3471	1.1962	0.8491	0.4296	0.6541	0.2245	0.5410

Las concentraciones de cadmio en muestras de PST tomadas en el trimestre EFM de 1982 a 1987 en la ENCB se presentan en la figura 23. El promedio de cadmio en PST en 24 horas observado en zonas urbanas en otras ciudades del mundo es de $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en zonas industriales de $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según se señalo en la sección II. 5 del presente trabajo. En la figura 23 se aprecia que la concentración promedio de cadmio en la ENCB durante la segunda mitad del trimestre 1982 y el primero de 1983, el cadmio se aproximó mucho al nivel encontrado para zonas industriales; no obstante existen valores pico muy por arriba de estos valores. Aunque en 1984 existen valores tan bajos que el método analítico no fue capaz de detectarlo, para posteriormente mantener un nivel de concentraciones entre 0.01 y $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los promedios trimestrales de cadmio en las tres estaciones de muestreo se dan en la tabla XII.

TABLA XII Promedios estacionales trimestrales de cadmio en PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

AÑO	E S T A C I O N		
	E N C B	C U	T A C U B A Y A
1982	0.0695	0.0128	—
1983	0.1496	0.0063	—
1984	0.0446	0.0063	0.0061
1985	0.0251	0.0045	0.0045
1986	0.0233	0.0051	0.0044
1987	0.0246	0.0004	0.0005

Como lo muestra la tabla anterior la zona que presenta mayores concentraciones de cadmio en PST es la estación de la ENCB.

En la tabla XIII se muestra el análisis estadístico trimestral para cadmio en PST en la zona de la ENCB.

Analizando el conjunto de datos primarios para la ENCB se puede indicar que los metales determinados en las PST durante 1984 presentaron valores que señalarían la poca presencia de estos elementos en el material particulado suspendido, lo que lleva a considerar como alternativa explicativa que hubo algunos problemas analíticos en la extracción de los metales, o bien, que no fue posible su determinación.

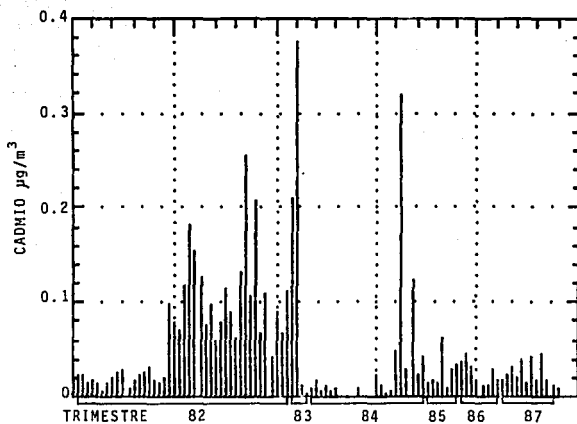


FIGURA 23 CONCENTRACIONES DIARIAS DE CADMIO EN LA ESTACION
E N C B DEL AÑO 1982 - 1987.

TABLA XIII

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION E N C B .

CADMIO $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	N° DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	VALORES		RANGO	CUARTILES		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1982	42	0.0695	3.4084×10^{-3}	0.0584	6.2×10^{-3}	0.2540	0.2478	0.0206	0.1064	0.0858	0.0647
1983	4	0.1497	0.03155	0.1776	3.9×10^{-3}	0.3740	0.3701	0.0071	0.2922	0.2850	0.1104
1984	15	0.0446	6.6884×10^{-3}	0.08178	2.5×10^{-3}	0.3197	0.3172	0.0067	0.0412	0.0345	0.0161
1985	7	0.0251	3.4218×10^{-4}	0.0185	8.9×10^{-3}	0.0623	0.0534	0.0134	0.0326	0.0192	0.0167
1986	8	0.0233	1.6671×10^{-4}	0.0129	8.7×10^{-3}	0.0434	0.0347	0.0114	0.0336	0.2215	0.0222
1987	11	0.0246	1.4480×10^{-4}	0.0120	11.4×10^{-3}	0.0434	0.0320	0.0157	0.0380	0.0223	0.0187

IV. 1. 2 CIUDAD UNIVERSITARIA. (CU)

La figura 24 presenta las concentraciones de PST registradas en la estación de CU durante los trimestres enero-febrero-marzo (EFM) de 1982 a 1987.

Es claro observar que el porcentaje de veces que se rebasó la norma mexicana de calidad de aire de PST ($275 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ha bajado de un 60% en el trimestre de 1982 a un 10% en el trimestre de 1987. El escaso número de datos en 1983, 1985 y 1986 podrían agregar incertidumbre estadística en los resultados, sin embargo, la tendencia general señala un descenso definido.

En la tabla XIV se muestra el análisis estadístico trimestral de PST en esta estación.

El contenido de carbón en PST determinado para las muestras obtenidas en la CU durante los trimestres EFM de 1982 a 1987 se presentan en la figura 25. Las concentraciones presentan valores por arriba de lo reportado internacionalmente y ligeramente por abajo de las concentraciones encontradas en la ENCB para el mismo período, a pesar de considerarse a la CU como zona relativamente limpia. No obstante, se aprecia un ligero descenso en los intervalos encontrados entre 1982 y 1987. Sin embargo, el carbón es un trazador de fuentes de combustión y la actividad vehicular de toda la Ciudad, así como la meteorología influye en la presencia de esta especie en las PST.

En la tabla XV se muestra el análisis estadístico trimestral de carbón en PST en la CU.

La figura 26 presenta las concentraciones de plomo contenidas en las PST muestreadas en CU en los trimestres EFM de 1982 a 1987. Los promedios trimestrales se indican en la tabla VIII.

Es clara la tendencia de disminución de plomo en las PST y coincide definitivamente con la estrategia de disminución en el contenido de tetraetilo de plomo en las gasolinas.

El análisis estadístico trimestral para plomo en PST para esta zona de estudio se muestra en la tabla XVI.

La figura 27 presenta el comportamiento de concentraciones de cobre en PST para los trimestres EFM de 1982 a 1987 en CU. Esta figura indica un sensible cambio de las concentraciones de 1982 con las posteriores. En CU no existe la cercanía a fuentes industriales de este metal por lo que sólo se le podría asociar con nutrientes del suelo, ya que existen numerosas áreas verdes en esta zona de la Ciudad de México. Las concentraciones se encuentran en un intervalo de entre 0.6 y 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (eliminando extremos), esto es muy cercano al límite inferior de los reportados para áreas urbanas de entre 0.11 y 2.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de cobre en PST. Es notable la diferencia de concentraciones entre el cobre observado en la ENCB (figura 22) y las determinadas en CU (figura 27).

En la figura 28 se muestran las concentraciones de cadmio encontradas en PST obtenidas en la CU durante los trimestres EFM de 1982 a 1987. Las concentraciones están reportadas por abajo de 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y presentan una ligera tendencia a la disminución. En comparación con los valores registrados para la ENCB de 1984 a 1987, existe un intervalo de concentración muy cercanos entre ambos sitios, lo que indica que la misma fuente parece estar influenciando en los resultados, siendo quizás el uso de pinturas en base a cadmio y el desgaste de los metales en la industria automotriz las principales fuentes.

En la tabla XVII se muestra el análisis estadístico trimestral para cobre en PST en la zona de CU, en la tabla XVIII también se muestra el análisis estadístico trimestral para cadmio en PST en esta zona.

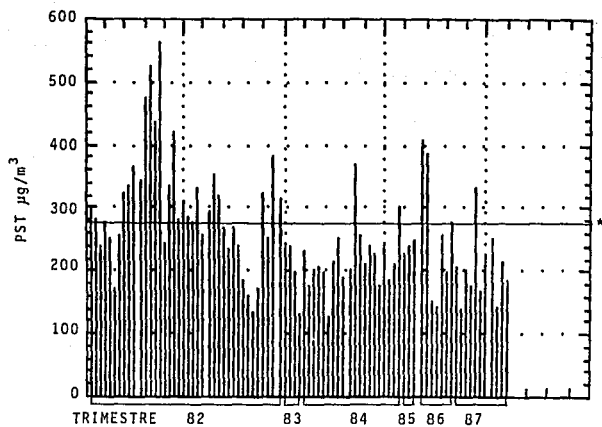


FIGURA 24 CONCENTRACIONES DIARIAS DE PST EN LA ESTACION CU DEL AÑO 1982 - 1987.

* Norma Mexicana de Calidad de Aire.

T A B L A XIV

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION C - U .

P S T $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	N° DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	V A L O R E S		RANGO	C U A R T I L E S		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1982	39	301.172	8438.45	91.861	132.36	559.83	427.47	249.65	336.27	86.62	284.91
1983	4	201.575	2693.29	51.897	129.95	242.43	112.48	163.41	239.74	76.33	216.96
1984	20	220.200	2598.41	50.975	124.53	370.95	246.42	192.62	240.30	47.67	210.29
1985	3	236.733	103.37	10.167	226.13	246.40	20.27	226.13	246.40	20.27	237.67
1986	7	259.309	11315.50	106.374	143.32	406.95	263.63	150.35	387.04	236.69	255.32
1987	11	202.23	2896.82	53.820	136.78	329.17	192.39	168.06	220.99	52.93	200.60

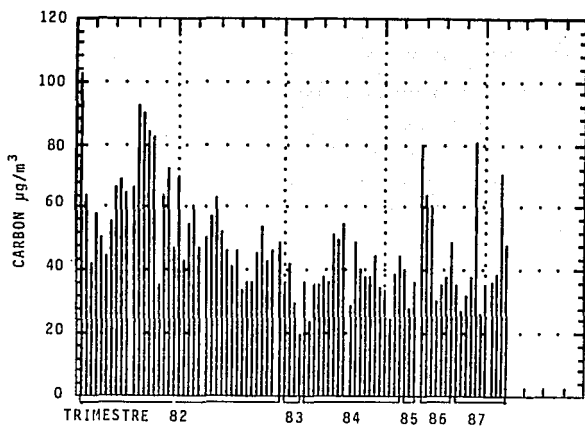


FIGURA 25 CONCENTRACIONES DIARIAS DE CARBON EN LA ESTACION CU DEL AÑO 1982 - 1987.

T A B L A X V

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION C U .

C A R B O N $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	N° DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	VALORES		RANGO	CUARTILES		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		INF	SUP		
1982	39	56.876	273.943	16.551	33.75	102.02	68.27	45.62	66.39	20.77	53.58
1983	4	31.810	94.360	9.714	19.31	41.97	22.66	24.53	39.09	14.56	32.98
1984	20	38.555	68.906	8.301	23.36	54.28	30.92	34.86	44.55	9.69	37.40
1985	3	34.37	36.360	6.030	27.76	39.57	11.81	27.76	39.57	11.81	35.78
1986	7	50.74	318.447	17.845	30.58	79.30	48.72	35.21	63.83	28.62	48.45
1987	11	42.14	309.126	17.582	25.57	80.40	54.83	31.58	47.83	16.25	35.99

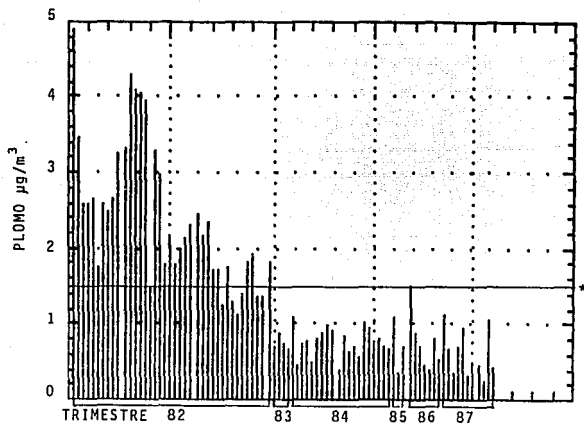


FIGURA 26 CONCENTRACIONES DIARIAS DE PLOMO EN LA ESTACION CU DEL AÑO 1982 - 1987.

* Norma de Calidad del Aire para plomo.

T A B L A X V I

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION C U . .

P L O M O $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	Nº DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	VALORES		RANGO	CUARTILES		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1982	39	2.4095	0.8825	0.9394	1.1278	4.8752	3.7474	1.7588	2.9547	1.1959	2.1827
1983	4	0.7325	0.0084	0.0919	0.6518	0.8614	0.2096	0.6685	0.7964	0.1278	0.7083
1984	20	0.7500	0.0366	0.1912	0.3709	1.0912	0.7203	0.6324	0.8835	0.2511	0.7598
1985	3	0.7184	0.1356	0.3683	0.3563	1.0927	0.7364	0.3563	1.0927	0.7364	0.7063
1986	7	0.7402	0.1405	0.3749	0.3775	1.4915	1.1140	0.4541	0.8565	0.4024	0.6927
1987	11	0.6122	0.0913	0.3022	0.2426	1.1036	0.8610	0.3662	0.9572	0.5910	0.4621

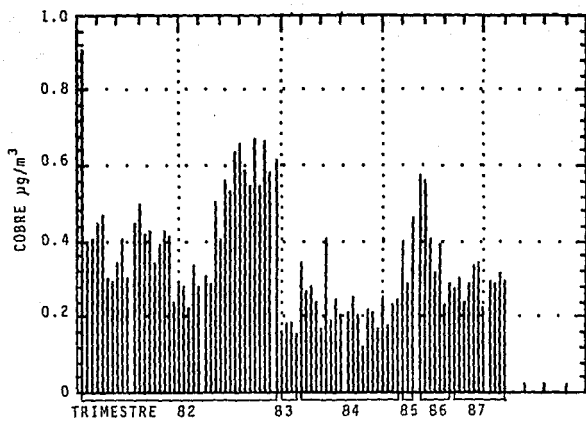


FIGURA 27 CONCENTRACIONES DIARIAS DE COBRE EN LA ESTACION CU DEL AÑO 1982 - 1987.

T A B L A XVII

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION C U .

COBRE $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	Nº DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	VALORES		RANGO	CUARTILES		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		INF	SUP		
1982	39	0.4450	0.0219	0.1480	0.2234	0.9079	0.6845	0.3041	0.5478	0.2437	0.4170
1983	4	0.1688	0.0002	0.0148	0.1548	0.1818	0.0270	0.1560	0.1816	0.0255	0.1693
1984	20	0.2303	0.0040	0.0624	0.1179	0.4018	0.2839	0.1940	0.2530	0.0590	0.2226
1985	3	0.3819	0.0074	0.0859	0.2892	0.4587	0.1695	0.2892	0.4587	0.1695	0.3979
1986	7	0.3931	0.0175	0.1322	0.2278	0.5727	0.3449	0.2850	0.5586	0.2736	0.3900
1987	11	0.2899	0.0012	0.0353	0.2258	0.3410	0.1152	0.2748	0.3117	0.0369	0.2906

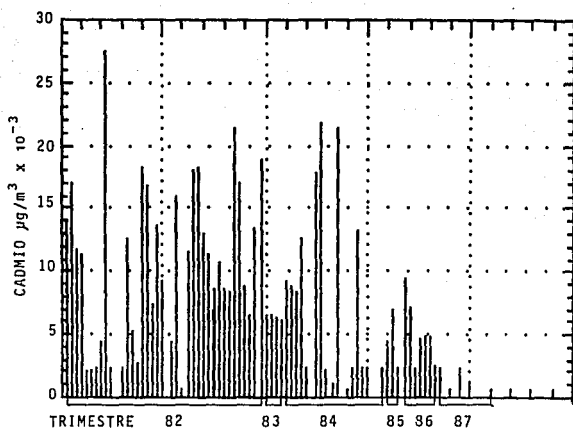


FIGURA 28 CONCENTRACIONES DIARIAS DE CADMIO EN LA ESTACION CU
DEL AÑO 1982 - 1987.

T A B L A XVIII

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION C U .

C A D M I O $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	Nº DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	V A L O R E S		RANGO	C U A R T I L E S		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1982	39	0.0128	2.5×10^{-4}	0.0159	0.0000	0.1013	0.1013	0.0045	0.0167	0.0122	0.0113
1983	4	0.0063	6.0×10^{-8}	0.0002	0.0060	0.0065	0.0005	0.0061	0.0065	0.0004	0.0063
1984	20	0.0063	5.4×10^{-5}	0.0074	0.0000	0.0218	0.0218	0.0005	0.0109	0.0103	0.0022
1985	3	0.0045	5.5×10^{-6}	0.0023	0.0022	0.0069	0.0047	0.0022	0.0069	0.0047	0.0044
1986	7	0.0057	6.4×10^{-6}	0.0025	0.0023	0.0095	0.0072	0.0025	0.0072	0.0047	0.0048
1987	11	0.0004	8.3×10^{-7}	0.0009	0.0000	0.0023	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

IV. 1. 3 TACUBAYA

La estación de Tacubaya fue analizada para los trimestres EFM de 1984 a 1987. La figura 29 presenta las concentraciones de PST registradas para esa estación de muestreo. El porcentaje de ocasiones en que rebasó la norma mexicana de calidad de aire de $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas fue: 20%, 57%, 71% y 55% para los trimestres 84, 85, 86 y 87 respectivamente. Tacubaya está localizada en una zona con alta densidad de población, con vías de circulación vehicular importantes como el Viaducto Miguel Aleman, el Periférico y las avenidas Constituyentes y Tacubaya entre las más importantes por lo que estos valores son altamente representativos de la actividad y zona vecinal popular con problemas de contaminación atmosférica por PST.

En la tabla XIX se muestra el análisis estadístico trimestral para PST en la zona de Tacubaya.

Las concentraciones de carbón en las PST muestreadas en Tacubaya durante el trimestre EFM de 1984 a 1987 se presenta en la figura 30. Las concentraciones son altas, pero ligeramente menores a las registradas en la ENCB para ese periodo. En el sitio de muestreo de Tacubaya (Observatorio Central de Tacubaya) se realiza la determinación de visibilidad de la Ciudad de México, por lo que es clara la influencia de la presencia de carbón en las PST en estas mediciones como atenuador del alcance visual. En la misma figura 30 se aprecia una ligera tendencia al incremento de las concentraciones máximas de carbón en PST, debidas probablemente a la cada vez menor velocidad promedio de los automóviles en las vías de alto tránsito vehicular, resultado de una mala combustión de energéticos fósiles

En la tabla XX se da el análisis estadístico trimestral de carbón en PST en la estación de Tacubaya.

La figura 31 presenta las concentraciones de plomo determinadas en muestras

de PST obtenidas en la estación de Tacubaya durante los trimestres EFM de 1984 a 1987. Los valores del promedio trimestral de plomo en las PST se presenta en la tabla VIII.

En ninguno de los cuatro trimestres se rebasó la norma de calidad del aire de los E.U.A. para el plomo que es de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio aritmético trimestral. Se presenta una aparente tendencia al descenso, sin embargo, en 1987 se registraron dos valores máximos de plomo, aunque también en este período se registro el mínimo de todo el período analizado. La intensa actividad vehicular de la zona, representada en los niveles de plomo, no permite realizar una evaluación preliminar sobre la tendencia del plomo en las PST de esta zona.

En la tabla XXI se muestra el análisis estadístico trimestral para plomo en PST en la zona de Tacubaya.

La figura 32 presenta las concentraciones de cobre en PST obtenidas en la estación de Tacubaya durante el trimestre EFM de 1984 a 1987. Las concentraciones presentan un intervalo entre 0.2 y $0.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cercano al límite inferior de concentraciones observadas en áreas industriales. Este hecho señala que en la cercanía de esta estación existen algunas fuentes industriales de fundición, aunque la cercanía al bosque de Chapultepec y a las antiguas minas de arena de Santa Fe, podrían influir con polvos de origen natural. Los valores son cercanos a los reportados en ENCB y CU para ese período de muestreo.

En la tabla XXII se da el análisis estadístico trimestral para cobre en PST en la zona de Tacubaya.

La presencia de cadmio en PST para los trimestres EFM de 1984 a 1987 se presentan en la figura 33. Las concentraciones son menores a las determinadas en la ENCB y CU, aunque se presentaron algunos valores mayores en 1984.

En la tabla XXIII se muestra el análisis estadístico trimestral de cadmio en PST en la zona de Tacubaya.

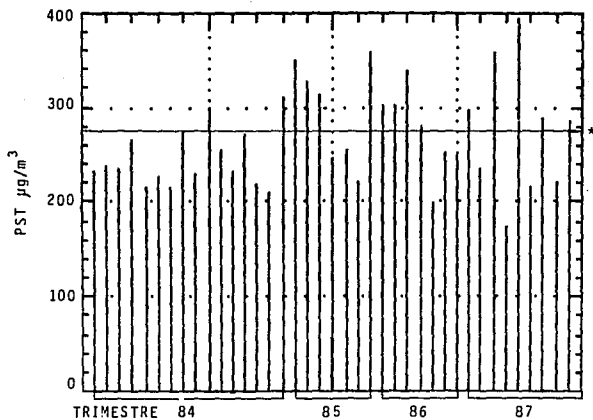


FIGURA 29 CONCENTRACIONES DIARIAS DE PST EN LA ESTACION TACUBAYA DEL AÑO 1984 - 1987.

* Norma Mexicana de Calidad de Aire.

T A B L A X I X

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION TACUBAYA .

P S T $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	Nº DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	VALORES		RANGO	CUARTILES		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		INF	SUP		
1984	16	244.96	891.81	29.863	209.50	309.49	99.99	221.85	269.13	47.27	234.48
1985	7	295.61	2967.48	54.475	221.84	359.02	137.18	246.10	348.13	102.03	312.69
1986	7	274.64	2102.58	45.854	198.40	337.88	139.48	249.88	303.01	53.13	280.21
1987	10	277.47	4707.48	68.610	172.01	395.40	223.39	219.99	312.10	92.11	285.75

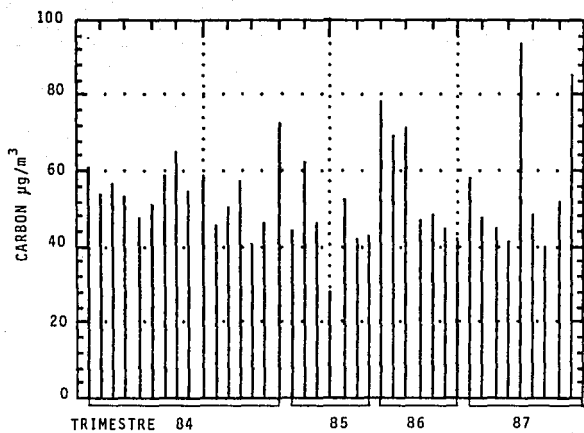


FIGURA 30 CONCENTRACIONES DIARIAS DE CARBON EN LA ESTACION TACUBAYA DEL AÑO 1984 - 1987.

T A B L A XX

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION TACUBAYA .

C A R B O N $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	Nº DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	V A L O R E S		RANGO	C U A R T I L E S		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1984	16	54.49	63.99	8.00	40.84	72.88	32.04	48.85	58.75	9.905	54.19
1985	7	45.32	109.15	10.44	27.91	62.08	34.17	42.10	52.45	10.35	43.67
1986	7	57.10	228.16	15.10	41.66	78.18	36.52	44.76	71.30	26.54	48.14
1987	10	57.37	343.07	18.52	39.54	93.67	54.13	44.82	64.52	19.70	49.89

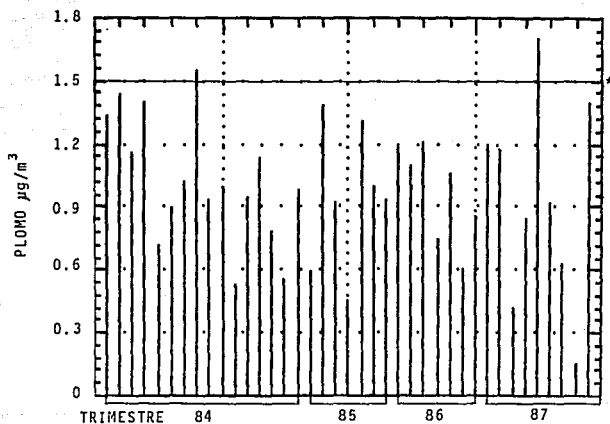


FIGURA 31 CONCENTRACIONES DIARIAS DE PLOMO EN LA ESTACION TACUBAYA DEL AÑO 1984 - 1987.

* Norma de Calidad del Aire para plomo.

T A B L A XXI

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION TACUBAYA .

P L O M O $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	N° DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	V A L O R E S		RANGO	C U A R T I L E S		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1984	16	1.0211	0.0910	0.3017	0.5250	1.5479	1.0229	0.8349	1.2428	0.4079	0.9873
1985	7	0.9389	0.1152	0.3395	0.4524	1.3823	0.9299	0.5896	1.3021	0.7125	0.9347
1986	7	0.9648	0.0556	0.2357	0.6015	1.2134	0.6119	0.7388	1.1875	0.4487	1.0596
1987	10	0.9394	0.2098	0.4581	0.1543	1.6978	1.5435	0.6337	1.1959	0.5622	0.9445

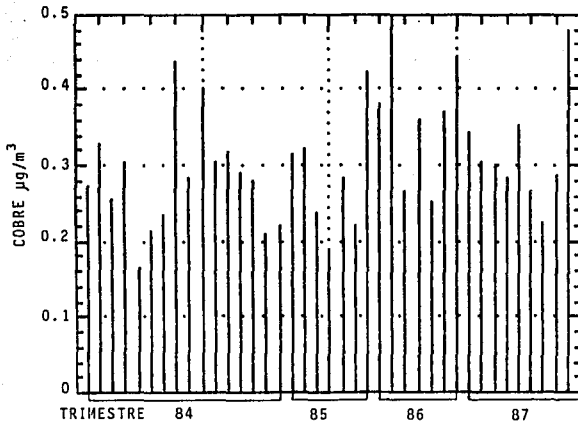


FIGURA 32 CONCENTRACIONES DIARIAS DE COBRE EN LA ESTACION TACUBAYA DEL AÑO 1984 - 1987.

T A B L A XXII

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION TACUBAYA .

COBRE $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	N° DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	VALORES		RANGO	CUARTILES		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		I N F	S U P		
1984	16	0.2813	0.0048	0.0694	0.1653	0.4371	0.2718	0.2258	0.3115	0.0857	0.2813
1985	7	0.2832	0.0063	0.0797	0.1839	0.4243	0.2404	0.2208	0.3208	0.1000	0.2830
1986	7	0.3661	0.0077	0.0881	0.2501	0.4954	0.2453	0.2649	0.4432	0.1783	0.3708
1987	10	0.3165	0.0047	0.0689	0.2230	0.4802	0.2572	0.2837	0.3413	0.0576	0.3012

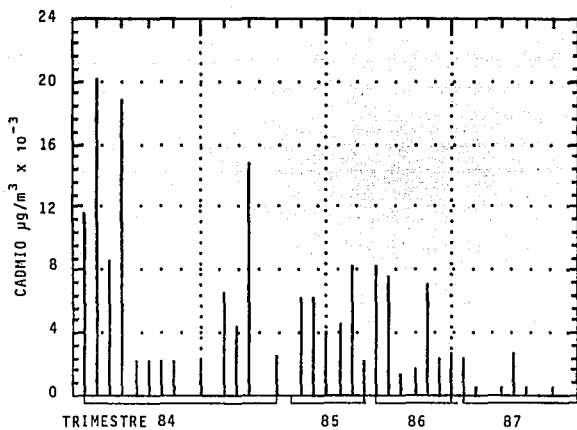


FIGURA 33 CONCENTRACIONES DIARIAS DE CADMIO EN LA ESTACION TACUBAYA DEL AÑO 1984 - 1987.

T A B L A XXIII

ANALISIS ESTADISTICO TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) DE LA ESTACION TACUBAYA .

C A D M I O $\mu\text{g} / \text{m}^3$

AÑO	N° DE DATOS	PROMEDIO	VARIANZA	DESVIACION ESTANDAR	VALORES		RANGO	CUARTILES		RANGO INTERCUART	MEDIANA
					MIN	MAX		INF	SUP		
1984	16	0.0061	4.4×10^{-5}	0.0067	0.0000	0.0201	0.2010	0.0021	0.0100	0.0079	0.0024
1985	7	0.0045	7.6×10^{-6}	0.0027	0.0000	0.0082	0.0082	0.0021	0.0062	0.0041	0.0045
1986	7	0.0044	9.1×10^{-6}	0.0030	0.0014	0.0082	0.0068	0.0016	0.0075	0.0060	0.0027
1987	10	0.0005	1.1×10^{-6}	0.0011	0.0000	0.0027	0.0027	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

IV. 2 ANALISIS ESTADISTICO POR HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA.

IV. 2. 1 ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLOGICAS. (ENCB)

El histograma de frecuencias de concentraciones (HFC) de PST en la ENCB durante el periodo enero-febrero-marzo (EFM) de 1982 a 1987 se muestra en la figura 34. Se aprecia una frecuencia bimodal de dicho histograma, aunque, comparando con la figura 19 de las concentraciones de PST para esa misma estación es posible deducir que el segundo pico de frecuencia en el HFC se debió a las altas concentraciones reportadas en 1982. El intervalo de mayor frecuencia se presenta entre 250 y 280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto es límite de la norma mexicana de calidad del aire para PST (275 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Por arriba de 375 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PST, que equivale al límite inferior de la condición de alerta en el índice de calidad del aire de PST de los Estados Unidos (EPA 1984, Environmental Progress and Challenges: An EPA Perspective., Office of Management Systems and Evaluation, U.S. Environmental Protection Agency., Washington DC.), se presentaron poco más de 10% de las veces en este periodo.

En la figura 35 presenta el HFC para carbón en PST durante el periodo EFM de 1982 a 1987. El intervalo de mayor frecuencia se presentó entre 55 y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de carbón. Por arriba de los 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se presenta más del 25% de los eventos en ese periodo, lo que revela que en esa zona la influencia de diversos procesos de combustión por fuentes móviles principalmente, es muy importante. Este resultado explica el porque de la alta suciedad atmosférica de esa zona céntrica de la Ciudad de México.

El HFC para plomo en PST en la ENCB durante el periodo EFM de 1982 a 1987 se presenta en la figura 36, donde se aprecia que la concentración con mayor frecuencia de ocurrencia se presentó en el intervalo de entre 9 y 1.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No es posible comparar este intervalo con la norma de calidad para plomo en

PST porque la norma es para un promedio trimestral y el HFC presentado en la figura 36 es para valores en muestreos de 24 horas. El tipo de gráfica resultante es asimétrico hacia las concentraciones menores.

La figura 37 muestra el HFC para cobre en la estación de muestreo ENCB durante el período EFM de 1982 a 1987. El intervalo de mayor concentración está muy cercano al intervalo mínimo, lo que señala que a pesar de que su presencia está bien identificada, las concentraciones con mayor frecuencia se encontraron entre 0.25 y $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque por arriba de $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que es el límite reportado para áreas urbanas, se presentó más del 5% de los eventos en ese período, lo que indica una posible influencia de fuentes industriales.

El HFC del cadmio en PST para la estación de muestreo ENCB durante el período EFM de 1982 a 1987 se presenta en la figura 38. El intervalo de mayor frecuencia (45%) fue el que contenía todos aquellos valores menores a $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de cadmio en PST, el cual a la vez fue el mínimo intervalo en el HFC. Este dato coincide con los niveles urbanos reportados en otras ciudades.

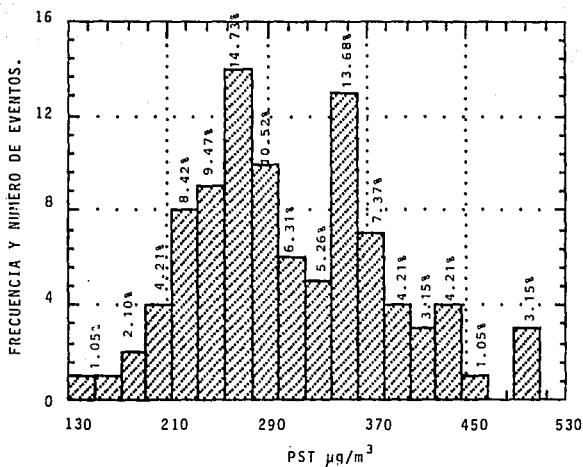


FIGURA 34 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE PST PARA ENCB EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1982 a 1987.

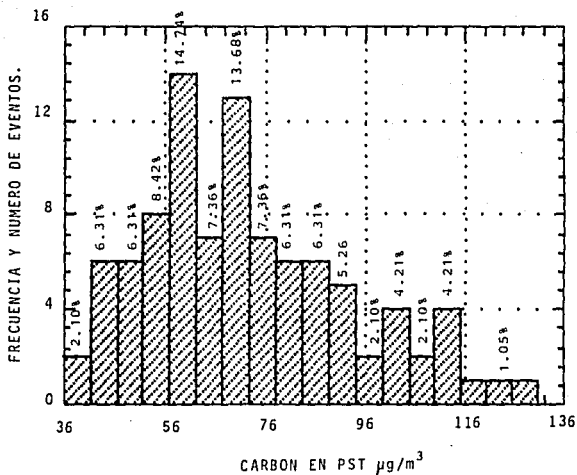


FIGURA 35 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE CARBON PARA ENCB EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1982 a 1987.

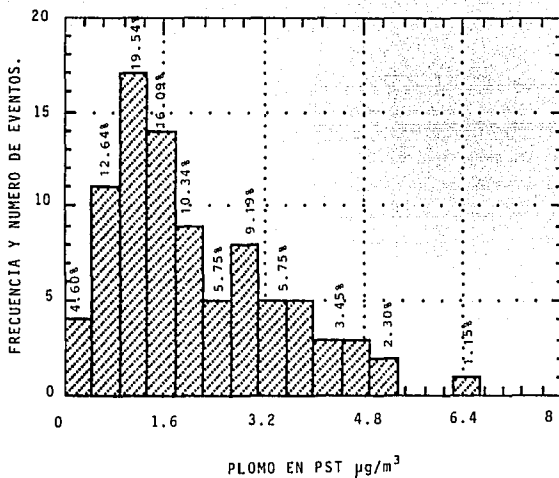


FIGURA 36 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE PLOMO PARA ENCB EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1982 a 1987.

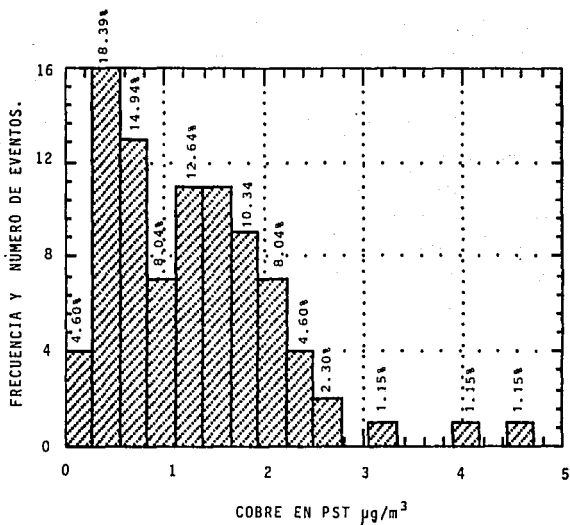


FIGURA 37 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE COBRE PARA ENCB EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1982 a 1987.

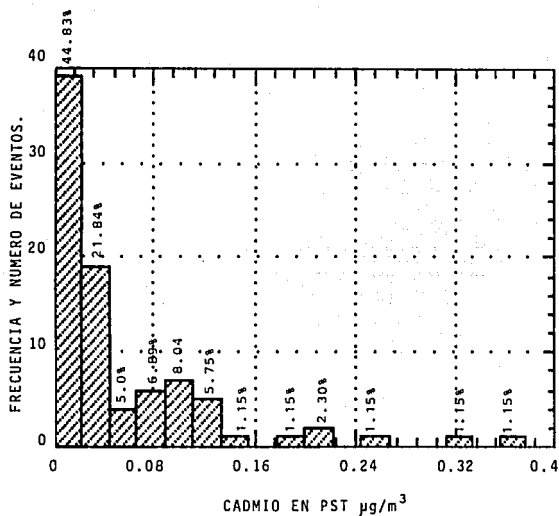


FIGURA 3B HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE CADMIO PARA ENCB EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1982 a 1987.

IV. 2. 2 CIUDAD UNIVERSITARIA (CU).

La figura 39 muestra el HFC para PST registrados en la estación CU durante el período EFM de 1982 a 1987. En la gráfica se observa una campana de frecuencia bien definida entre 120 y 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El intervalo con mayor frecuencia de ocurrencia se presenta entre 200 y 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, en este período el porcentaje de veces en que rebasó el nivel de alerta de los Estados Unidos (375 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) fue menor al 5%.

La figura 40 presenta el HFC para carbón en PST registradas en CU para el período EFM de 1982 a 1987. La mayor frecuencia está en el intervalo de 30 a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un 25%. La campana tiende ligeramente hacia los valores mínimos.

El HFC para el contenido de plomo en PST en CU en el período EFM de 1982 a 1987 se presenta en la figura 41. El mayor número de veces se ubica en el intervalo de 0.5 a 0.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La campana está definitivamente dirigida hacia las concentraciones mínimas.

El comportamiento de frecuencias de concentraciones de cobre en PST durante EFM de 1982 a 1987 señala un máximo de frecuencia de ocurrencia (23%) entre 0.25 y 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 42).

La figura 43 representa el HFC de cadmio en PST para CU en el período EFM de 1982 a 1987. La campana está concentrada en los valores mínimos (25%) en el intervalo 0.002 a 0.004 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

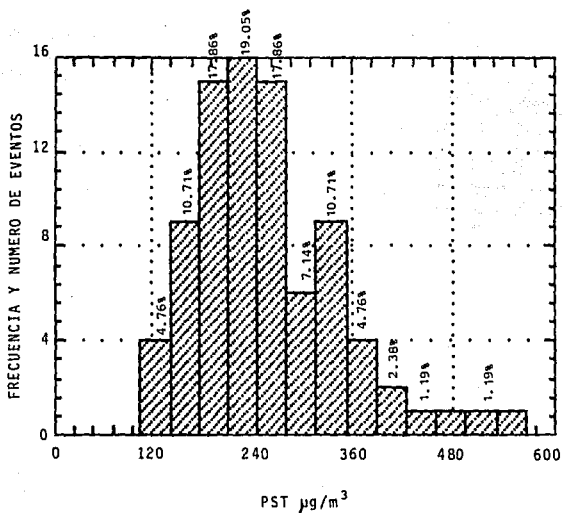


FIGURA 39 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE PST PARA CU EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1982 a 1987.

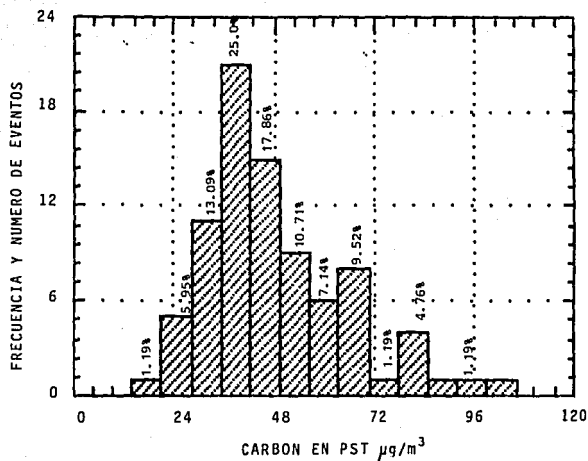


FIGURA 40 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE CARBON EN PST PARA CU EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1982 a 1987.

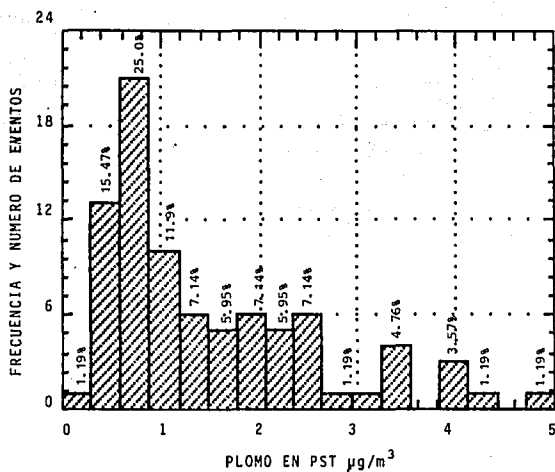


FIGURA 41 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE PLOMO EN PST PARA CU EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1982 a 1987.

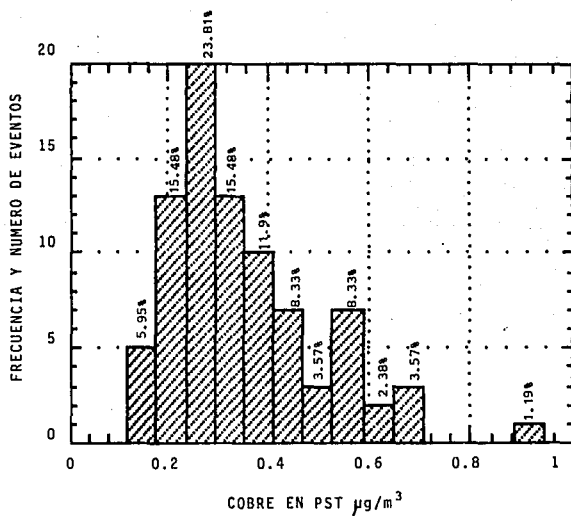


FIGURA 42 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE COBRE EN PST PARA CU EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1982 a 1987.

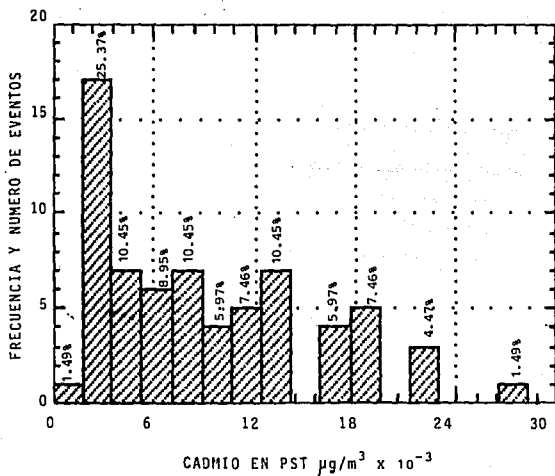


FIGURA 43 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE CADMIO EN PST PARA CU EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1982 a 1987.

IV. 2. 3 TACUBAYA.

El histograma de frecuencia de concentración de PST para Tacubaya en el trimestre EFM de 1984 a 1987 se presenta en la figura 44. Aproximadamente el 35% de los datos están agrupados en el intervalo entre 180 y 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por a rriba de 375 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se presentaron menos del 3% de los datos.

El patrón de comparación de frecuencias de concentración de carbón en PST para Tacubaya durante los trimestres EFM de 1984 a 1987 se presentan en la fi gura 45. Poco más del 25% de los datos están agrupados en el intervalo 45 a 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de carbón, a pesar de solo considerarse de 1984 a 1987.

El HFC de plomo en PST para Tacubaya en el periodo EFM de 1984 a 1987 se presenta en la figura 46. En esta figura se aprecia claramente que la distribución de frecuencias de concentración está centrada unimodalmente en un intervalo entre 0.8 y 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (55%), por arriba de 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo presentaron solo un 10% de los eventos.

El HFC de cobre en PST presentaron un máximo de concentración entre el in tervalo 0.28 y 0.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (25%) con una ligera tendencia de la curva hacia la izquierda, (figura 47).

El HFC para cadmio en PST presentado en la figura 48, señala una concentra ción centralizada entre 2 y 5 $\times 10^{-3}$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dirigido hacia la izquierda en los valores mínimos.

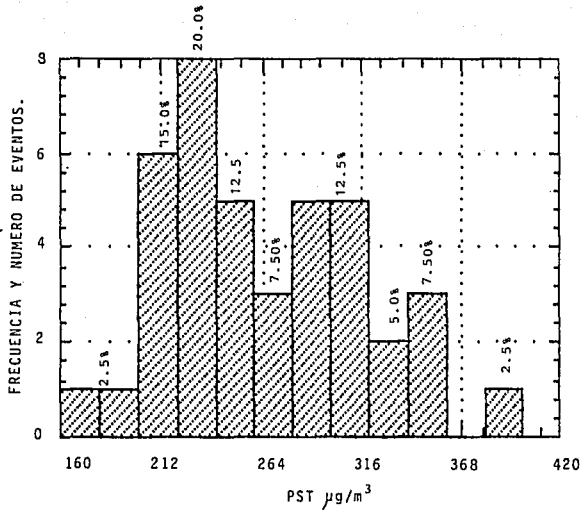


FIGURA 44 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE PST PARA TACUBAYA EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1984 a 1987.

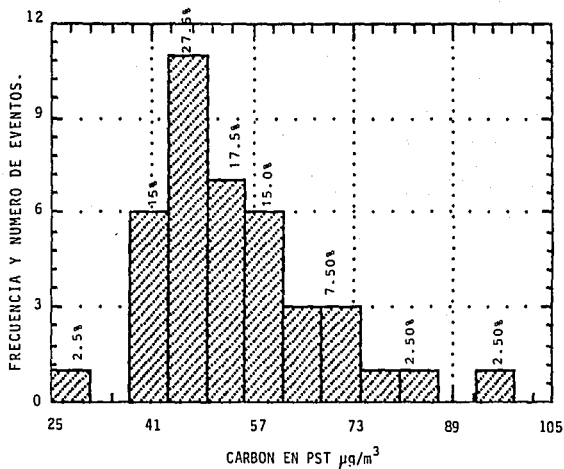


FIGURA 45 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE CARBON EN PST PARA TACUBAYA EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1984 a 1987.

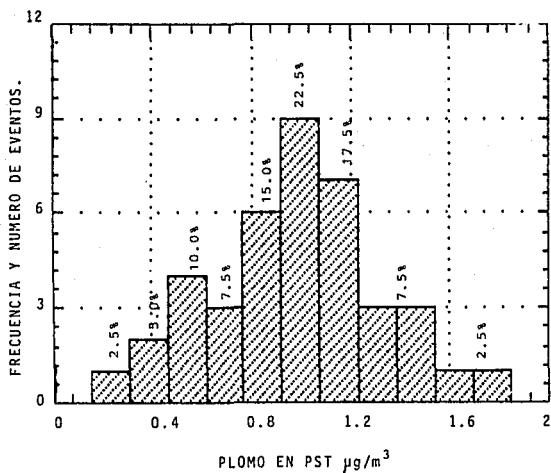


FIGURA 46 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE PLOMO EN PST PARA TACUBAYA EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1984 a 1987.

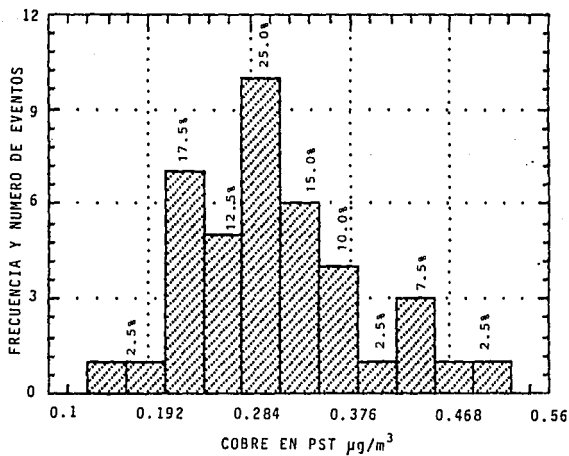


FIGURA 47 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE COBRE EN PST PARA TACUBAYA EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1984 a 1987.

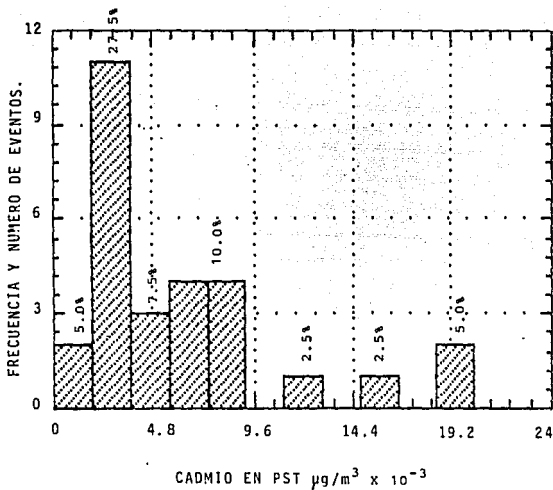


FIGURA 48 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE CADMIO EN PST PARA TACUBAYA EN EL PERIODO ENERO-FEBRERO-MARZO DE 1984 a 1987.

IV. 3 ANALISIS ESTADISTICO ARITMETICO.

La forma básica de resumir un grupo de datos es calculando un valor de tendencia central, siendo la media el más comunmente utilizado. La media no siempre es una medición perfecta del valor central verdadero de un grupo de datos. La tabla siguiente agrupa los valores medios de los datos de PST, carbón, plomo, cobre y cadmio para las estaciones ENCB, CU y TACUBAYA durante los meses enero-febrero-marzo de 1982 a 1987.

Tabla XXIV Promedios aritmeticos resultantes en el periodo EFM de 1982 - 1987

Estación	Año	Parámetro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 hr)				
		PST	Carbón	Plomo	Cobre	Cadmio
ENCB	1982	324.87	85.96	3.0593	1.7384	0.0069
	1983	257.18	68.89	0.4331*	0.6233	0.1496
	1984	270.88	63.21	1.0867	0.5113	0.0446
	1985	345.27	56.25	1.3912	1.3975	0.0251
	1986	322.62	62.02	1.2248	1.5533	0.0233
	1987	312.05	59.34	1.1229	0.5977	0.0246
CU	1982	301.17	56.87	2.4095	0.4447	0.0128
	1983	201.57	31.81	0.7324	0.1688	0.0063
	1984	220.20	38.55	0.7500	0.2303	0.0063
	1985	236.73	34.37	0.7184	0.3819	0.0045
	1986	259.31	50.74	0.7407	0.3931	0.0051
	1987	202.23	42.14	0.6122	0.2899	0.0004
TACUBAYA	1984	244.96	54.49	1.0211	0.2813	0.0061
	1985	295.61	45.32	0.9389	0.2832	0.0045
	1986	274.64	57.11	0.9648	0.3661	0.0044
	1987	277.47	57.37	0.9394	0.3165	0.0005

* no representativo

No se profundizó en la obtención de los valores de la moda, por no existir su requerimiento en la norma de calidad del aire. Sin embargo, a partir de los histogramas de frecuencia presentados es posible obtener este estadístico aun que cabe señalar que los histogramas incluyen los datos de todo el periodo de estudio, por lo que no es posible analizarlo por trimestres individuales. La mediana se presenta como información adicional en las gráficas "Boxplots" de la siguiente sección.

La media geométrica es un estadístico requerido para reportar PST en las normas de calidad de aire para periodos anuales; en este trabajo se abarcó solamente periodos trimestrales por año, por lo que no es aplicable este procedimiento a los datos obtenidos.

IV. 4 ANALISIS DE PERCENTILES DE LOS DATOS.

BOXPLOTS

Tomando como base los aspectos señalados en la sección III. 6. 3. e, se manejaran percentiles trimestrales para la interpretación de resultados.

IV. 4. 1 ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS (ENCB).

La figura 49 presenta la gráfica de percentiles (75avo y 25avo) de la concentración trimestral (EFM) de PST en la estación de la ENCB para el periodo 1982-1987. La tendencia de las medias indica que no ha existido, aparentemente, una tendencia al aumento de las concentraciones, salvo un decrecimiento presentado en 1983-1984. Durante 1985 se presentó un mayor intervalo de concentración (440 y 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) entre los percentiles 75avo y 25avo.

La figura 50 presenta la gráfica de percentiles 75avo y 25avo de la concentración trimestral (EFM) de carbón en PST en la estación de la ENCB para el periodo 1982 a 1987. La tendencia de las medias indica una sensible disminución de estas concentraciones, lo mismo que la amplitud del intervalo de los

datos contenidos entre los percentiles 75avo y 25avo, el cual de un intervalo de 52 a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de carbón en PST en 1983 a 40 - 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Comparando con la figura 49, significa que el porcentaje de carbón en las PST ha ido disminuyendo respecto al tiempo.

La figura 51 presenta la gráfica de percentiles 75avo y 25avo de la concentración trimestral (EFM) de plomo en PST para la estación ENCB. Señala que la tendencia es hacia una disminución de las concentraciones, aunque debe indicarse que para 1983 hubo pocos datos. La amplitud del intervalo de concentraciones entre los percentiles 75avo y 25avo de plomo en PST ha disminuido de 2.25 a 3.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1982 a 0.8 - 1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1987.

En la presentación de los percentiles 75avo y 25avo de concentración trimestral (EFM) de cobre en PST para la estación ENCB (figura 52) se aprecia que en la tendencia de las medias de 1982 a 1987 hay una ligera disminución aunque la amplitud de los percentiles no es determinante. El intervalo de amplitud varía de 1.3 a 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1982 a 0.45 - 0.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1987.

En lo que respecta al comportamiento de la concentración trimestral (EFM) de cadmio en PST en la ENCB (figura 53), existe para 1983 una falta de definición en el intervalo de los percentiles dado que solo se consideraron cuatro muestras lo cual no permite la evaluación correcta de los resultados para este año. Eliminando este año, es claro observar una tendencia a la disminución en la ENCB para este contaminante.

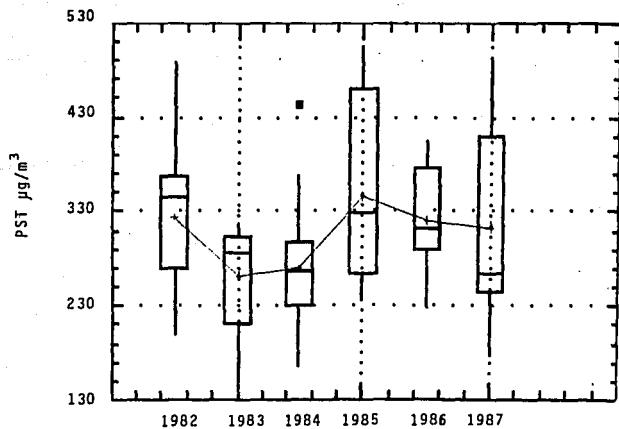


FIGURA 49 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN ENCB PARA EL PERIODO 1982 a 1987.

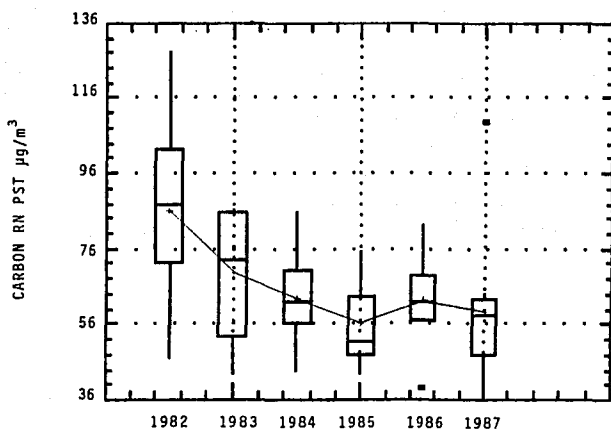


FIGURA 50 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE CARBON EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN ENCB PARA EL PERIODO 1982 a 1987.

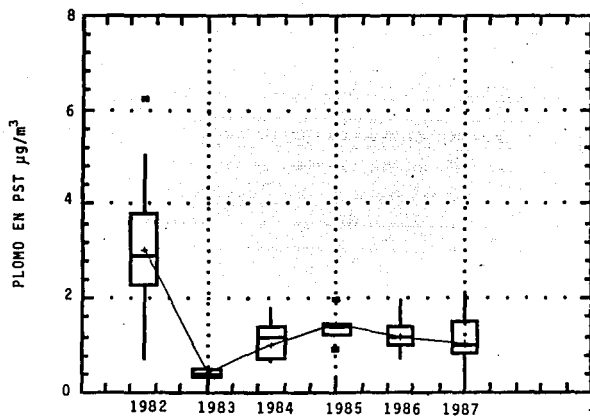


FIGURA 51 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE PLOMO EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN ENCB PARA EL PERIODO 1982 a 1987.

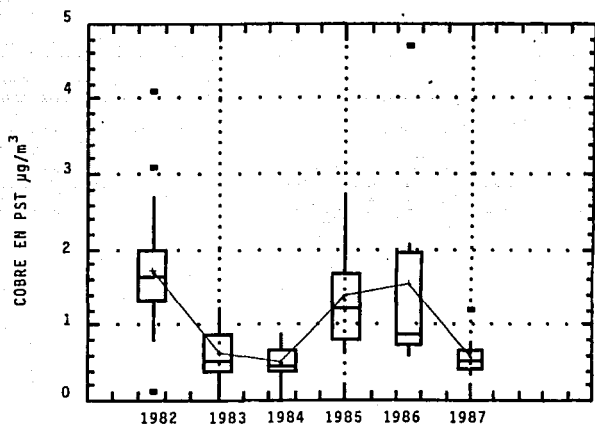


FIGURA 52 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE COBRE EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN ENCB PARA EL PERIODO 1982 a 1987.

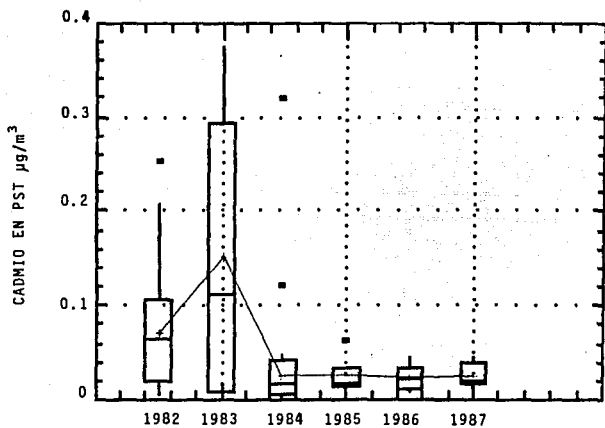


FIGURA 53 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE CADMIO EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN ENCB PARA EL PERIODO 1982 a 1987.

IV. 4. 2 CIUDAD UNIVERSITARIA (CU).

La representación gráfica de los percentiles 75avo y 25avo, para PST en CU en el período trimestral EFM de 1982 a 1987 se indica en la figura 54. La tendencia de las medias presenta una ligera tendencia a la disminución con amplitudes muy variadas a lo largo del período de estudio. Especialmente en 1986 las concentraciones fueron de 150 a 390 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el intervalo de percentiles 25avo y 75avo respectivamente. El máximo observado en el período de estudio fue en 1982 (550 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los percentiles 25avo y 75avo para carbón en PST en CU en el mismo período de la figura 54 se presenta en la figura 55. A diferencia del comportamiento observado en la ENCB, el carbón en las PST en CU no señala la tendencia clara a la disminución, además que la amplitud del intervalo entre ambos percentiles parece mantenerse sin gran variación. No obstante, los valores entre ambos sitios señala que CU es aún más limpio que la zona de la ENCB para carbón en PST y que los niveles de carbón en CU parecen estar en un nivel mínimo de la ZMCM.

La figura 56 presenta los percentiles 25avo y 75avo para las concentraciones trimestrales EFM de plomo en PST en CU para el período 1982 a 1987. Es notable la tendencia a la disminución de este contaminante así como la baja de los valores máximo y mínimo a lo largo del período en estudio.

La figura 57 presenta gráficamente los percentiles 25avo y 75avo de la concentración trimestral EFM de cobre en PST para el período 1982 a 1987 en CU. El patrón de tendencia de las medias de cobre en PST es similar para la ENCB (figura 52) y para la CU, aunque las concentraciones son sensiblemente menores en la zona de CU. Esto parece indicar que la fuente se localiza en el norte del área urbana y que es uniformemente distribuida y dispersada vienta abajo de sus fuentes de origen.

En la figura 58 se presentan los percentiles 25avo y 75avo de la concentración de cadmio en PST en la zona de CU en el trimestre EFM de 1982 a 1987. Aunque para 1983 solo se obtuvieron cuatro datos, la tendencia general de las medias es hacia la disminución. La amplitud del intervalo entre los percentiles va disminuyendo de un 0.45 a $16 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ a un valor mínimo de $0.20 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ que es el límite de detección del cadmio en muestras de PST. Lo anterior implica que CU es actualmente una zona limpia en lo relacionado al cadmio y que se encuentra alejada de fuentes emisoras de este contaminante.

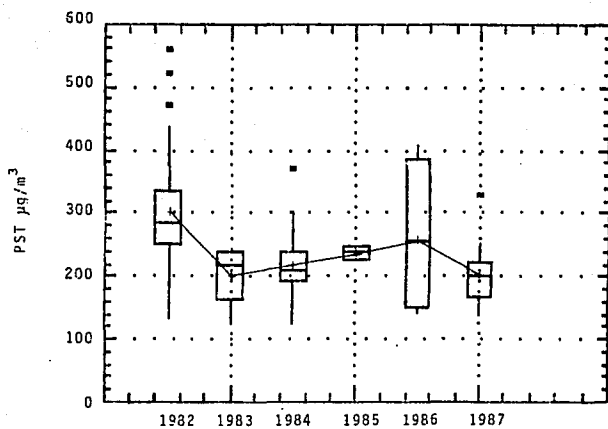


FIGURA 54 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN CU PARA EL PERIODO 1982 a 1987.

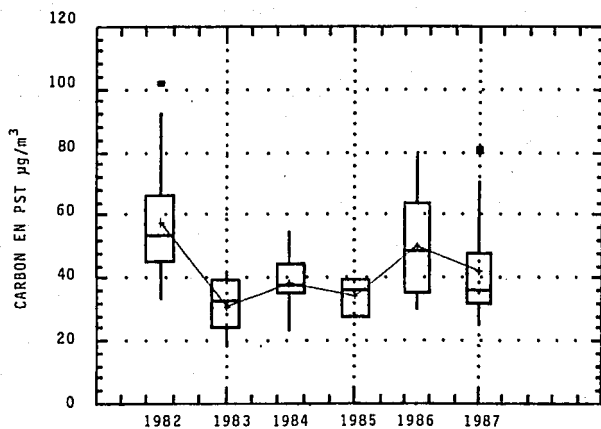


FIGURA 55 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE CARBON EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN CU PARA EL PERIODO 1982 a 1987.

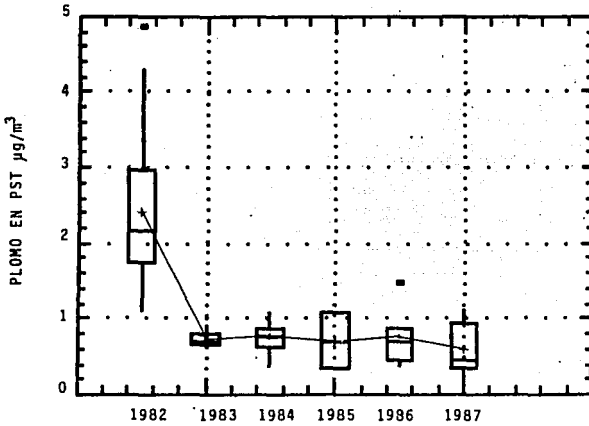


FIGURA 56 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE PLOMO EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN CU PARA EL PERIODO 1982 a 1987.

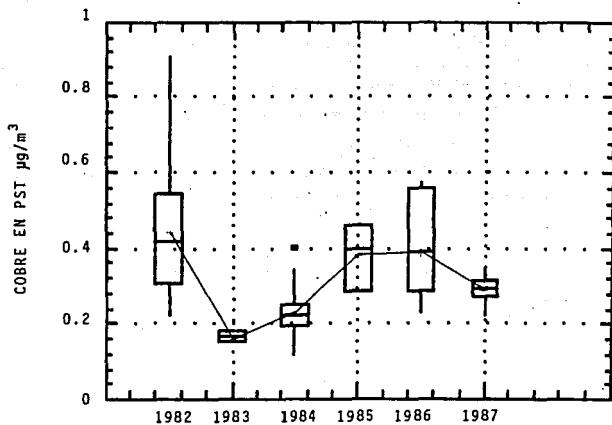


FIGURA 57 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE COBRE EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN CU PARA EL PERIODO 1982 a 1987.

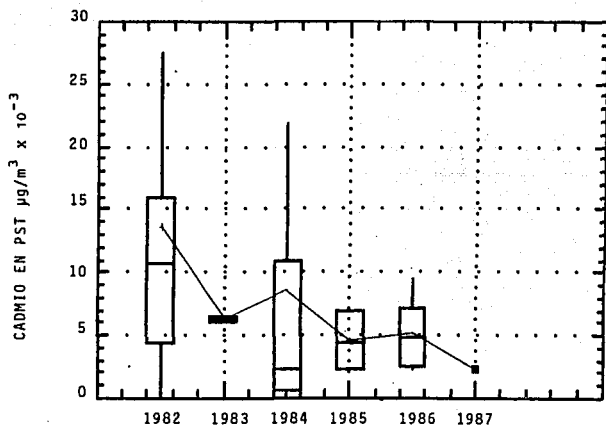


FIGURA 58 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE CADMIO EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN CU PARA EL PERIODO 1982 a 1987.

IV. 4. 3 TACUBAYA

Los percentiles 25avo a 75avo de los datos trimestrales EFM de PST en Tacubaya del período de estudio 1984 a 1987 se presentan en la figura 59. La tendencia de las medias observadas sigue el mismo patrón obtenido para la ENCB (figura 53). La amplitud de las concentraciones es relativamente menor en Tacubaya. Para el trimestre de 1987 la amplitud es mayor respecto a los otros años.

La figura 60 presenta la gráfica de la concentración trimestral de carbón en PST en Tacubaya para el período 1984 a 1987. El patrón de tendencia de las medias sufre una ligera disminución en 1985 para aumentar y mantenerse casi constante en 1987. En este último año el intervalo de los percentiles 25avo y 75avo se amplió sensiblemente en relación a los años anteriores. Esto podría atribuirse a que los vehículos de diesel en la zona de Tacubaya se han incrementado, o bien que el mantenimiento a los mismos ha sido deficiente.

La figura 61 presenta esquemáticamente los percentiles 25avo y 75avo para las concentraciones trimestrales EFM de plomo en PST en Tacubaya. Se observa una ligera disminución en la tendencia aunque la magnitud de la amplitud se mantiene relativamente constante. Las medias trimestrales no rebasaron la norma de calidad de plomo en el período 1984 a 1987.

La figura 62 presenta en forma esquemática los percentiles 25avo y 75avo para las concentraciones trimestrales EFM de cobre en PST en Tacubaya. El patrón observado es relativamente similar a los de la estación de ENCB y en Tacubaya para ese período (1984-1987). Los niveles medios y la amplitud del intervalo de percentiles en 1986 para esta estación es menor en relación a las otras dos. Lo anterior sugiere que Tacubaya no se encuentra influenciada por fuentes de este contaminante.

En la figura 63 se presenta los percentiles 25avo y 75avo para las concentraciones trimestrales EFM de cadmio en PST en Tacubaya (1984-1987). La tendencia observada en las medias indica una clara disminución. Se presenta el caso similar al señalado en la estación CU en 1987, en el que los niveles de cadmio fueron tan bajos que no fue posible detectarlos analíticamente.

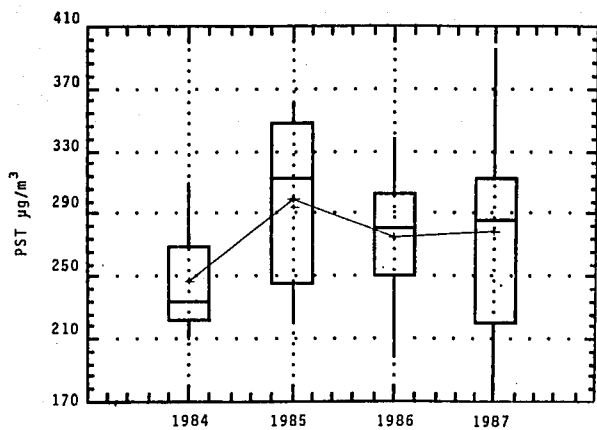


FIGURA 59 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN TACUBAYA PARA EL PERIODO 1984 a 1987.

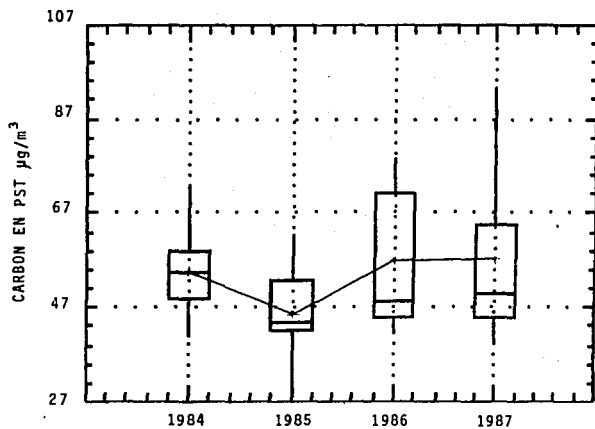


FIGURA 60 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE CARBON EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN TACUBAYA PARA EL PERIODO 1984 a 1987.

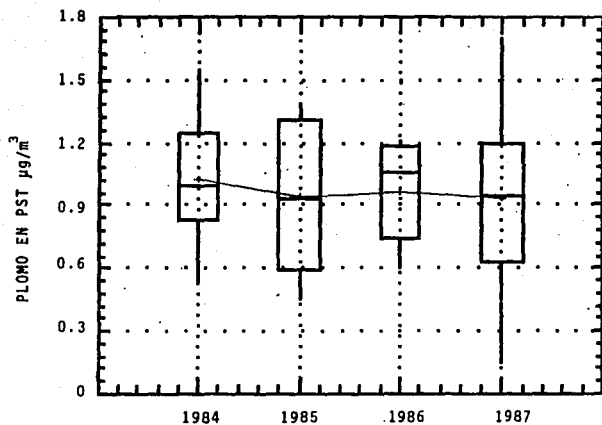


FIGURA 61 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE PLOMO EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN TACUBAYA PARA EL PERIODO 1984 a 1987.

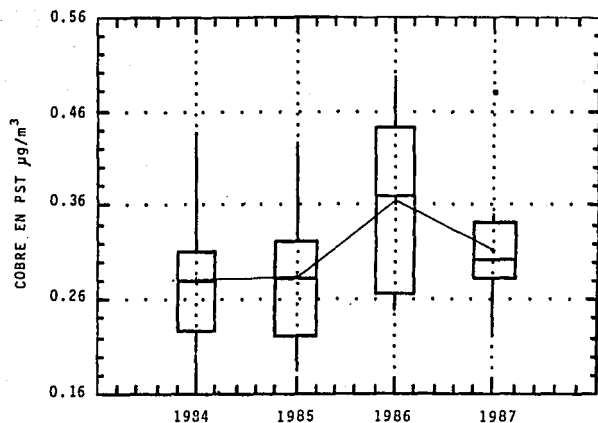


FIGURA 62 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE COBRE EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN TACUBAYA PARA EL PERIODO 1984 a 1987.

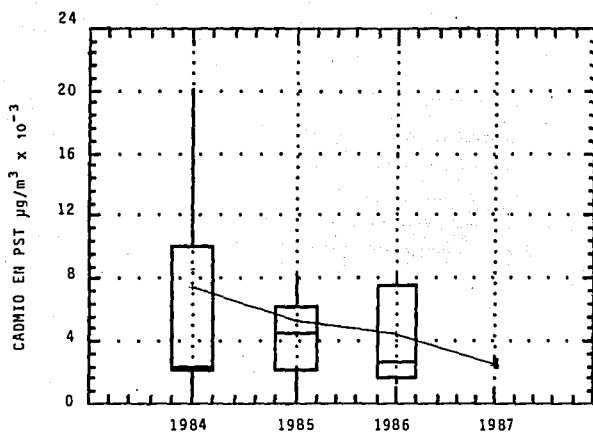


FIGURA 63 PERCENTILES DE LA CONCENTRACION TRIMESTRAL DE CADMIO EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN TACUBAYA PARA EL PERIODO 1984 a 1987.

IV. 5 INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

Las definiciones indicadas en la sección III. 6. 1. e, serán empleadas en el siguiente análisis.

IV. 5. 1 ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS (ENCB).

La figura 64 presenta la tendencia de los promedios trimestrales EFM de PST en la zona de la ENCB en el período 1982 a 1987 aplicando intervalos de confianza del 95%. El año de 1983 cuenta con pocos datos por lo que se observa esa amplitud aparentemente exagerada. Sin embargo, puede decirse que sólo 1982 y 1984 fueron significativamente diferentes entre ellos, pero no hay cambio significativo entre ninguno de los otros períodos, lo que señala que la tendencia no está definida.

La figura 65 presenta la representación gráfica de los intervalos de confianza del 95% de carbón en PST en el trimestre EFM y su tendencia en el período 1982 a 1987 en la ENCB. El caso de 1983 se repite con pocos datos. La tendencia entre 1982 a 1987 parece disminuir, sin embargo sólo 1982 y el período comprendido entre 1984 y 1987 son significativamente diferentes. No hay cambio significativo entre los períodos de 1984 a 1987.

La gráfica de los intervalos de confianza del 95% para los datos trimestrales EFM de plomo en PST y su tendencia en la ENCB para el período 1982 a 1987, se presenta en la figura 66. Eliminando el período 1983 con pocos datos, la diferencia entre 1982 y los períodos 1984 a 1987 es significativa tendiendo a una disminución. No obstante no existe diferencia significativa al 95% de confianza entre los datos de los períodos 1984 a 1987.

El mismo tipo de gráfica que el caso anterior se indica para las concentraciones de cobre en PST en la ENCB en la figura 67. Eliminando los datos del período de 1983 se aprecian cambios entre varios períodos. 1982 es signifi-

tivamente diferente a 1984, que a la vez es significativamente diferente con 1985 y 1986 a pesar de no llevar una tendencia clara. No obstante 1986 no es significativamente diferente con 1985 pero si lo es respecto a 1987. Lo anterior puede indicar que las fuentes emisoras de cobre no llevan un comportamiento de tendencia específica.

El caso de cadmio en PST para la ENCB de los trimestres invernales de 1982 a 1987 se presentan en la figura 68, en lo que respecta a su tendencia utilizando los intervalos de confianza del 95%. La tendencia señala una disminución de 1982 a 1987 (eliminando a 1983 por contar con pocos datos), así como su tendencia a la disminución en la amplitud del intervalo superior del 95%. No hay diferencia significativa entre todos los períodos.

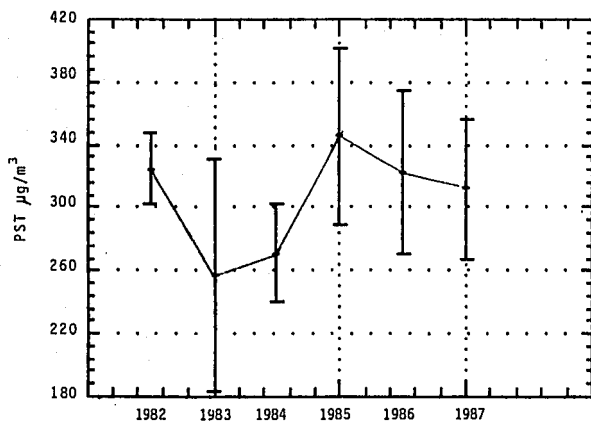


FIGURA 64 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE PST EN LA ESTACION E N C B , DEL AÑO 1982 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

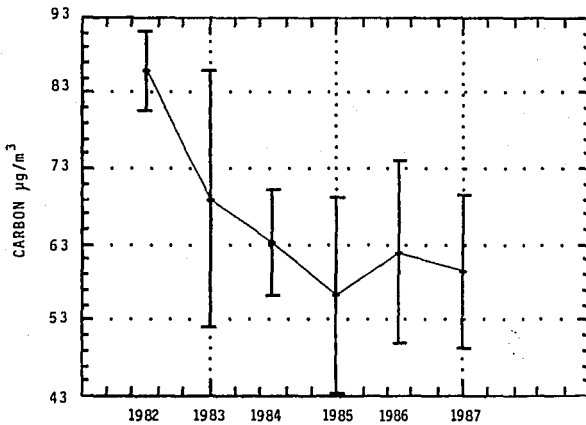


FIGURA 65 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE CARBON EN LA ESTACION E N C B , DEL AÑO 1982 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

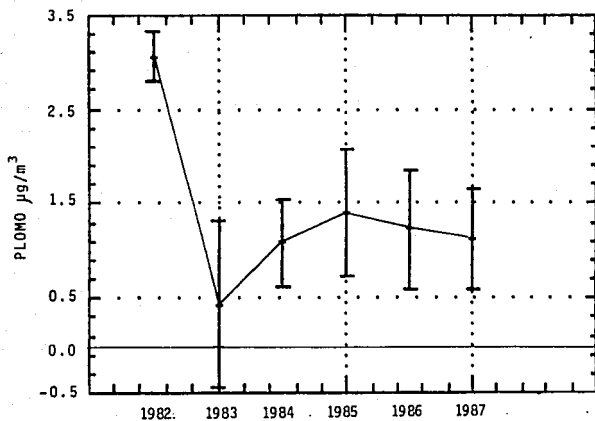


FIGURA 66 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE PLOMO EN LA ESTACION E N C B , DEL AÑO 1982 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

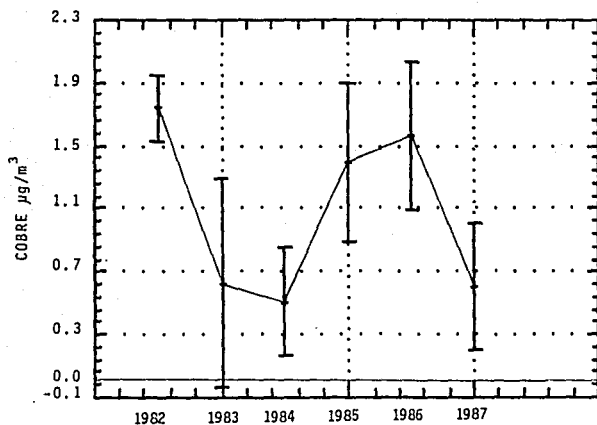


FIGURA 67 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE COBRE EN LA ESTACION E N C B , DEL AÑO 1982 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

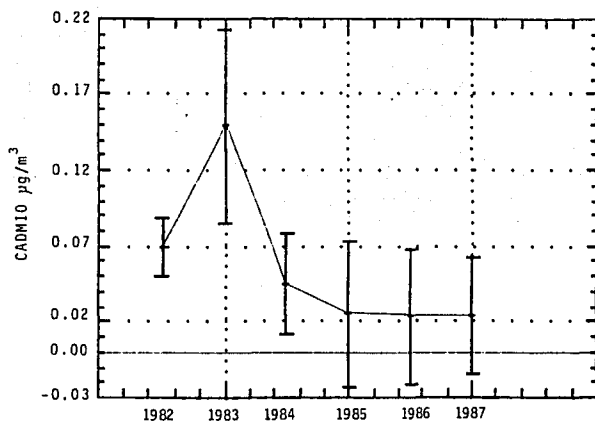


FIGURA 68 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE CADMIO EN LA ESTACION E N C B , DEL AÑO 1982 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

IV. 5. 2 CIUDAD UNIVERSITARIA (CU).

Los datos obtenidos en los trimestres invernales en los años de 1982 a 1987 en CU para PST y su contenido de carbón, plomo, cobre y cadmio se presenta en las figuras 69, 70, 71, 72 y 73 respectivamente. El análisis de estos gráficos señala que; la tendencia con intervalos del 95% y medias presenta una aparente disminución. Los datos del trimestre 1982 es significativamente diferente con 1983, 1984 y 1987 tendiendo a disminuir, pero todos los datos entre 1983 a 1987 no son significativamente diferentes entre ellos, presentandose también una gran variabilidad en los intervalos que comprenden el 95% de confianza. A pesar de que se observa una gran amplitud entre los datos, estos intervalos son menores a los registrados para la estación de la ENCB en PST en el mismo periodo (figura 69).

El comportamiento de carbón en PST en la CU presenta una tendencia también a una aparente disminución respecto a 1982 (figura 70). Exceptuando los datos de 1986, de 1983 a 1987 son significativamente diferentes respecto a 1982. No existe una diferencia significativa entre los periodos 1983 a 1987. Haciendo una sobreposición de estos intervalos de carbón en PST para CU con los de carbón en PST para la ENCB en el mismo periodo se advierte que la amplitud y niveles de la ENCB son mayores en este sitio respecto a la CU, lo que indica, que la influencia de fuentes de carbón en Tacuba es más importante y local en CU.

Respecto al plomo en PST en CU, se distingue que existe una gran diferencia significativa entre 1982 y el resto de los años. La tendencia es a la disminución respecto a las medidas observadas, a pesar de no existir diferencia significativa entre los dos trimestres de los años 1983 a 1987 (figura 71). La comparación con los datos de plomo observados en la ENCB indica que CU es más limpio respecto a la zona de Tacuba.

En lo que respecta al cobre en la CU la tendencia de las medias no presenta un patrón definido (figura 72). La comparación con datos de cobre de la ENCB señala que también respecto a este elemento la zona de CU es más limpia que la zona de Tacuba, aunque el patrón de comportamiento es muy parecido, lo que puede indicar que es fuente de origen natural la contribuyente a estas concentraciones.

El comportamiento del cadmio en PST para esta estación señala una clara tendencia de las medias a la disminución (figura 73). El período de 1982 es significativamente diferente a 1987, y de 1982 a 1986 no son significativamente diferentes uno del otro. Los intervalos de concentración son menores a los observados para los mismos períodos en la ENCB.

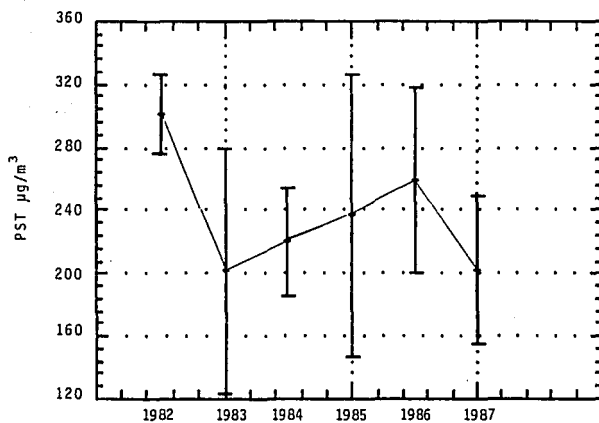


FIGURA 69 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE PST EN LA ESTACION CU, DEL AÑO 1982 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

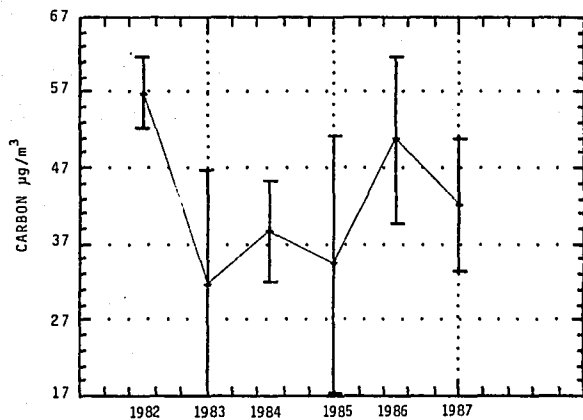


FIGURA 70 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE CARBON EN LA ESTACION CU, DEL AÑO 1982 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

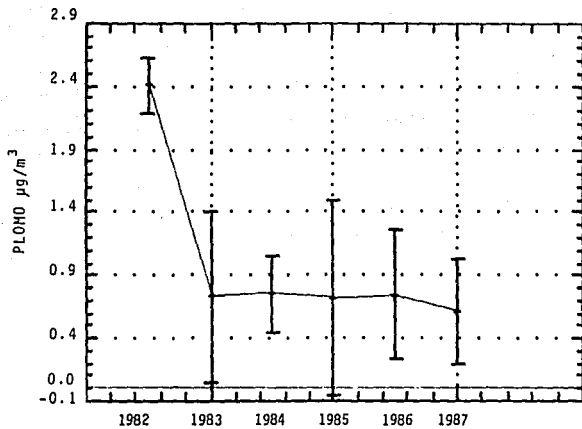


FIGURA 71 TENDENCIA DE LOS PRÓMEDIOS DE PLOMO EN LA ESTACION CU DEL AÑO 1982 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

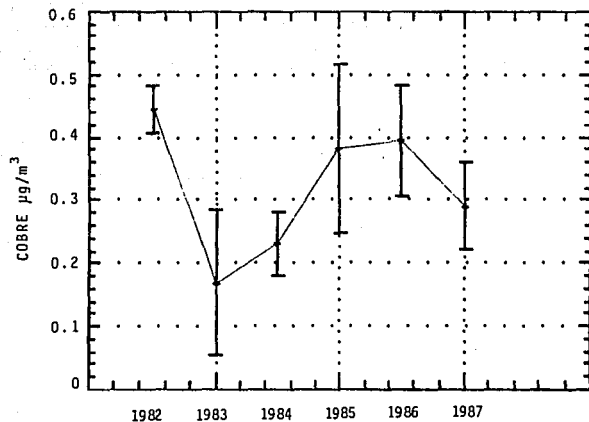


FIGURA 72 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE COBRE EN LA ESTACION CU, DEL AÑO 1982 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

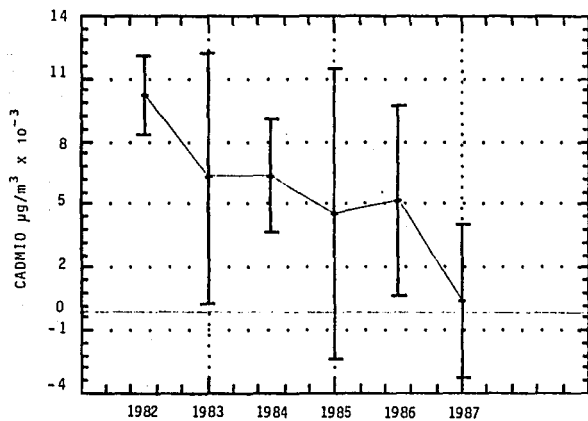


FIGURA 73 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE CADMIO EN LA ESTACION CU, DEL AÑO 1982 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

IV. 5. 3 TACUBAYA.

Para la estación de Tacubaya se realizó el estadístico de intervalos de confianza del 95% para los datos trimestrales (EFM) de 1984 a 1987 para PST y su contenido de carbón, plomo, cobre y cadmio cuyas representaciones gráficas se presentan en las figuras 74, 75, 76, 77 y 78 respectivamente. El comportamiento de las medias en PST ya se discutió anteriormente para el caso de Tacubaya, observándose un patrón de comportamiento similar con los datos de la ENCB para ese período existe una tendencia bien definida. Los datos en este período no son significativamente diferentes uno respecto a otro en ningún caso (figura 74). Los intervalos y niveles de PST son mayores en la ENCB respecto a Tacubaya, pero a la vez son mayores en Tacubaya respecto a CU.

El contenido de carbón en PST sigue también el patrón de los datos de este elemento en PST observados en la ENCB (figura 75). No hay diferencia significativa entre ningún período en Tacubaya y no muestra tendencia definida hacia la disminución. Los intervalos del 95% son mayores en la ENCB respecto a Tacubaya, pero Tacubaya es ligeramente mayor respecto a CU, justificando la influencia vehicular de esa zona.

La figura 76 indica que las medias tienden a una ligera disminución, aunque la amplitud de los intervalos parecen mantenerse constante. No existe ninguna diferencia significativa entre ninguno de los períodos. Respecto a la comparación con los datos de plomo en la ENCB y CU, sigue siendo la más alta la ENCB, le sigue Tacubaya y la más limpia es CU.

El comportamiento de los datos de cobre en PST en Tacubaya con los intervalos del 95% de confianza indica una aparente tendencia al crecimiento aunque no está bien definida (figura 77). No hay diferencia significativa entre ninguno de los períodos en Tacubaya para cobre en PST. El patrón de comportamiento es aparentemente similar a los de la ENCB y CU para este período de 1984 a

1987. Los mayores niveles de cobre en PST en general se presentan en la ENCB, siguiéndole Tacubaya y al último CU, sin embargo, en 1986 y 1987 los intervalos al 95% entre Tacubaya y CU son muy cercanos.

La gráfica para los datos agrupados al 95% de confianza para cadmio en PST en Tacubaya confirma que existe diferencia significativa entre los niveles de cadmio en 1984 respecto a 1987 (figura 7B). No obstante entre 1984 y 1986 no hay diferencia significativa, aunque las medias llevan a una tendencia a la disminución. Se presenta un cambio, ya que la ENCB presenta los mayores niveles, siguiéndole CU y Tacubaya en ese orden. Lo anterior sugiere que las fuentes móviles no parecen ser las principales fuentes de emisión de cadmio, y que las fuentes fijas tampoco parecen influir, de acuerdo a la actividad típica de cada una de las zonas estudiadas, quedando la posibilidad de que el transporte de vientos en dirección NE hacia SE sean los que mayor influencia tengan en este comportamiento, sugiriendo que la fuente pueda estar en ese sector (NE).

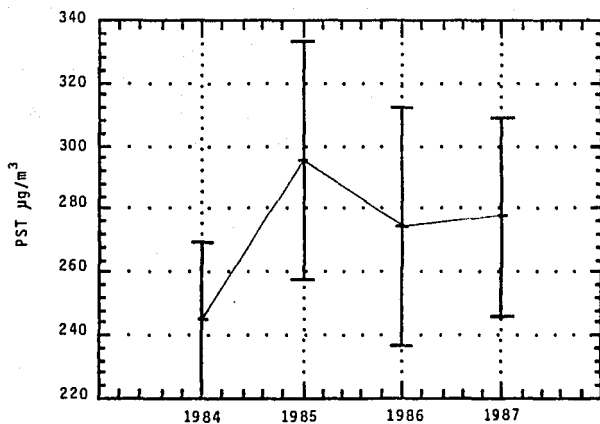


FIGURA 74 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE PST EN LA ESTACION TACUBAYA, DEL AÑO 1984 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

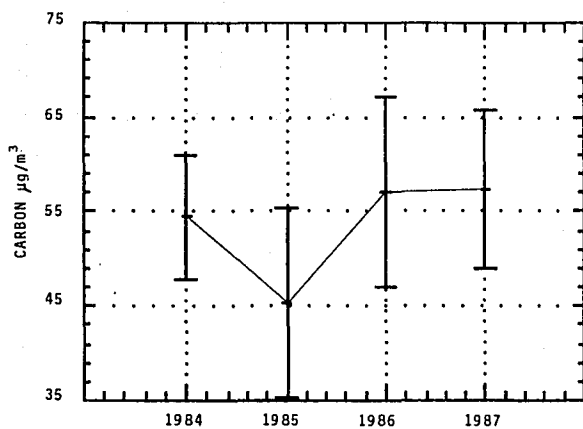


FIGURA 75 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE CARBON EN LA ESTACION TACUBAYA, DEL AÑO 1984 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

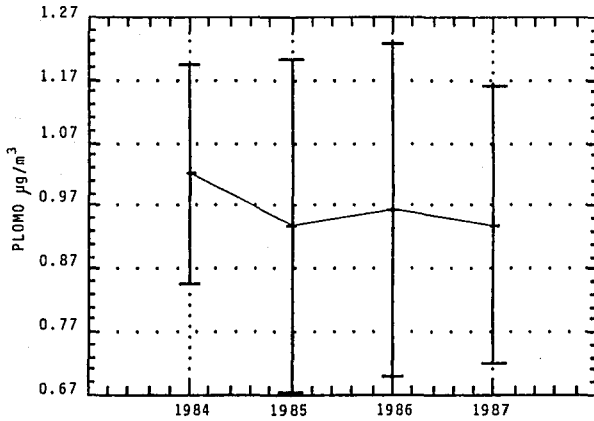


FIGURA 76 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE PLOMO EN LA ESTACION TACUBAYA, DEL AÑO 1984 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

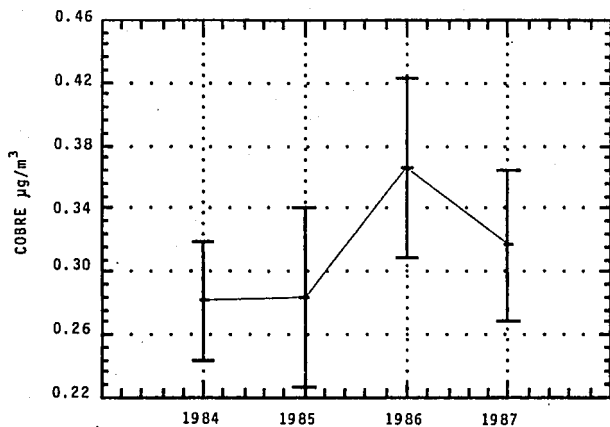


FIGURA 77 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE COBRE EN LA ESTACION TACUBAYA, DEL AÑO 1984 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

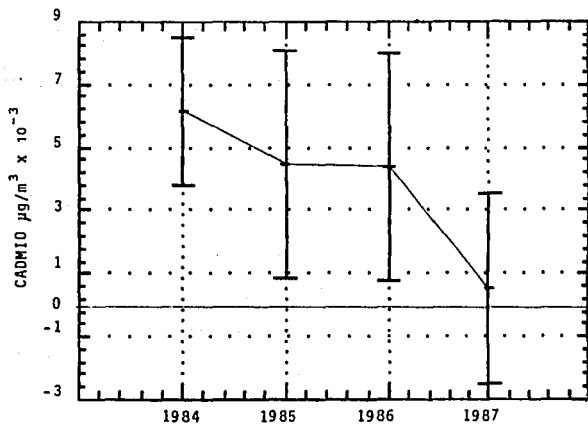


FIGURA 78 TENDENCIA DE LOS PROMEDIOS DE CADMIO EN LA ESTACION TACUBAYA, DEL AÑO 1984 - 1987, UTILIZANDO INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

IV. 6. ANALISIS DE MEDIDAS DE DISPERSION.

IV. 6. 1 RANGO

Las gráficas incluidas en la sección de percentiles incluyen los valores máximos y mínimos para cada uno de los casos, siendo aún más afinados cuando se analizan los intervalos de confianza del 95%. Se sugiere al lector interesado consultar estas secciones si desea obtener mayor información al respecto. No se discute este aspecto dado que las normas de calidad del aire no consideran comparaciones específicas entre valores máximos y mínimos.

IV. 6. 2 DESVIACION ESTANDAR Y GEOMETRICA.

No se incluye un análisis específico de estos estadísticos por no existir un criterio de comparación con datos de calidad de aire para PST y sus diversos componentes. No obstante, la tabla XXV presenta el resultado particular para cada uno de los períodos y especies analizadas a la desviación estándar.

T A B L A XXV

DESVIACION ESTANDAR TRIMESTRAL (ENERO - FEBRERO - MARZO) PARA CADA ESTACION.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$

AÑO

CONTAMINANTE ESTACION	P S T			C A R B O N			P L O M O			C O B R E			C A D M I O		
	ENCB	CU	TCB*	ENCB	CU	TCB*	ENCB	CU	TCB*	ENCB	CU	TCB*	ENCB	CU	TCB*
1 9 8 2	69.410	91.861	---	19.98	16.55	---	1.19	0.94	---	0.661	0.148	----	0.0584	0.0159	----
1 9 8 3	80.358	51.897	---	20.53	9.71	---	0.08	0.09	---	0.410	0.015	----	0.1776	0.0002	----
1 9 8 4	60.220	50.974	29.863	11.54	8.30	7.99	0.35	0.19	0.30	0.232	0.062	0.069	0.0818	0.0074	0.0067
1 9 8 5	103.468	10.167	54.474	11.09	6.03	10.45	0.31	0.37	0.34	0.704	0.086	0.080	0.0185	0.0023	0.0027
1 9 8 6	58.970	106.374	105.976	12.28	17.84	24.56	0.38	0.37	0.40	1.384	0.132	0.153	0.0129	0.0025	0.0032
1 9 8 7	102.176	53.82	68.610	18.80	17.58	18.52	0.51	0.30	0.46	0.228	0.035	0.069	0.0120	0.0009	0.0011

173

TCB* = TACUBAYA

IV. 7 ANALISIS DE ESTADISTICOS DE REGRESION, TENDENCIA Y PREDICCION.

La sección III. 6. 5, incluye una discusión sobre la importancia de las regresiones, tendencias y predicción entre variables y sobre esos aspectos se presenta el siguiente análisis.

IV. 7. 1 REGRESION.

El ANEXO B presenta las correlaciones cruzadas encontradas en los datos. Sin embargo, las regresiones que presentan un coeficiente de regresión r^2 entre 0.99 y 0.79 (en ese orden) son analizadas en esta discusión, considerando su importancia en la interpretación de los resultados.

La figura 79 presenta el análisis de regresión (AR) entre cadmio en la Ciudad Universitaria y en Tacubaya en el trimestre EFM de 1987. Los niveles de cadmio en ambos sitios son tan bajos y cercanos que señalan una gran correlación (0.99) sugiriendo que probablemente esto influyó en su comportamiento, además de ser pocos datos involucrados.

La correlación entre plomo en PST y carbón en PST en Tacubaya con un $r^2 = 0.94$ (figura 80) indica que ambas especies provienen de la misma fuente emisora, que en este caso son las fuentes móviles, especialmente para el trimestre EFM de 1986.

El cobre en PST de la Ciudad Universitaria y el cobre en PST de la ENCB en el trimestre EFM en 1986 presentó una gran correlación ($r^2 = 0.94$); este hecho confirma que la fuente emisora de cobre es la misma, siendo probablemente el transporte natural de polvos de origen en el NE de la ZMCM. (figura 81).

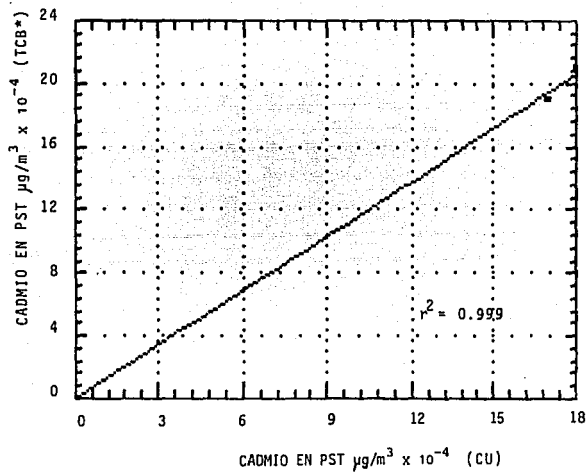


FIGURA 79 ANALISIS DE REGRESION DE CADMIO EN LA ZONA DE CU Y CADMIO EN LA ZONA DE *TACUBAYA, CONTENIDOS EN PST, EN EL AÑO DE 1987.

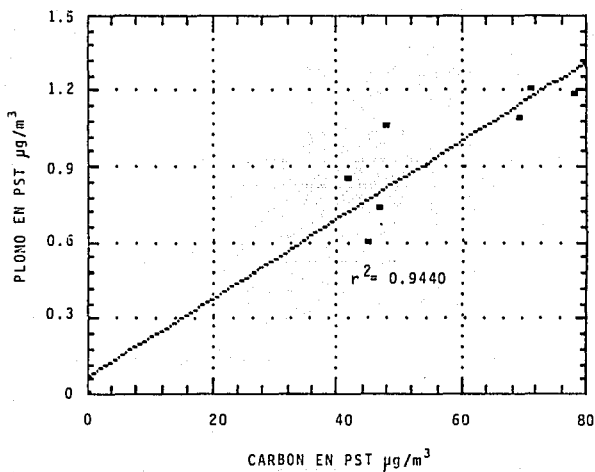


FIGURA 80 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON Y PLOMO, CONTENIDOS EN PST, EN LA ZONA DE TACUBAYA EN EL AÑO DE 1986.

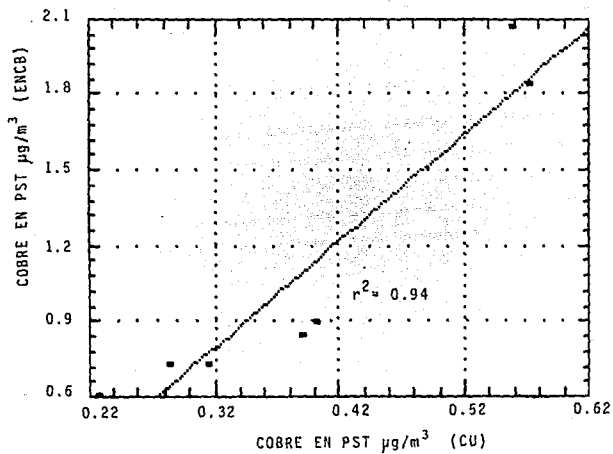


FIGURA 81 ANALISIS DE REGRESION DE COBRE EN LA ZONA DE CU Y COBRE EN LA ZONA DE ENCB, CONTENIDOS EN PST, EN EL AÑO DE 1986.

En la figura 82 se presenta la regresión lineal entre el contenido de carbón en la Ciudad Universitaria y Tacubaya. El valor de $r^2 = 0.932$ indica una importante correlación. Este resultado refleja la importancia de la magnitud de las fuentes móviles en ambas zonas y sugiere que existe una distribución uniforme de carbón en PST (disminuyendo hacia el sur de la Ciudad), lo cual es apreciable en relación a la visibilidad que se alcanza tomando como referencia estos dos puntos. Esto queda bien representado por la correlación que existe entre carbón en PST y PST para Tacubaya en 1982 (figura 83); la reducción de visibilidad en ese período fue un factor especial en la meteorología de la Ciudad de México. Se puede mencionar que las fuentes de combustión en esa zona fueron las principales contribuyentes de partículas (y por ende carbón) a la atmósfera, $r^2 = 0.9249$.

La confirmación total de que el carbón y el plomo provienen de la misma fuente emisora se distingue en la correlación de la figura 84. La correlación obtenida de $r^2 = 0.91$ lo confirma con un gran número de datos para CU en 1982.

La correlación entre plomo en Tacubaya y plomo en la ENCB ($r^2 = 0.893$) indica que la uniformidad de la distribución de las fuentes móviles en la ZMCM esta bien definida (figura 85). La zona de la ENCB presenta una ligera mayor afluencia vehicular que la zona de Tacubaya, sin embargo, la cercanía de los valores indica un patrón de generación similar.

El patrón de distribución para las concentraciones de PST en la ENCB y Ciudad Universitaria presenta una disminución hacia las zonas viento abajo y con menor actividad industrial se refleja en la regresión lineal de la figura 86 ($r^2 = 0.89$) para datos de 1986.

El aspecto de la misma fuente emisora (fuentes móviles) y el uso del carbón en PST como trazador de plomo se puede apreciar en la figura 87 con la correlación entre plomo y carbón en la ENCB para años posteriores a los analizados en la figura 84. La correlación de $r^2=0.875$ se considera aceptable y buena.

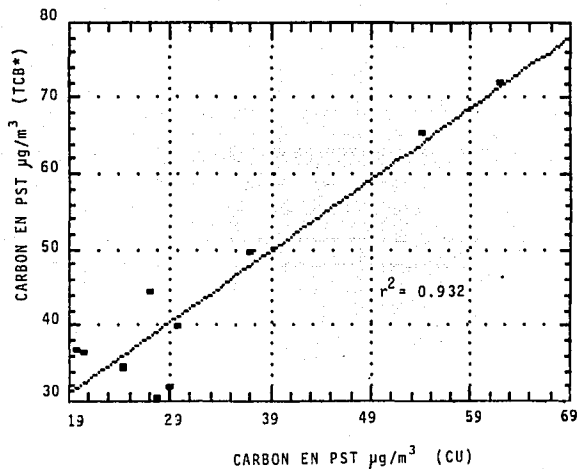


FIGURA 82 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON EN LA ZONA DE CU Y CARBON EN LA ZONA DE *TACUBAYA, CONTENIDOS EN PST, EN EL AÑO 1987.

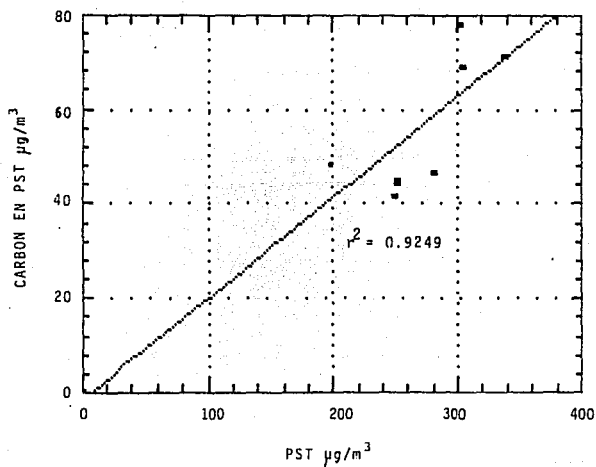


FIGURA 83 ANALISIS DE REGRESION DE PST Y CARBON CONTENIDO EN PST, EN LA ZONA DE TACUBAYA, EN AL AÑO DE 1986.

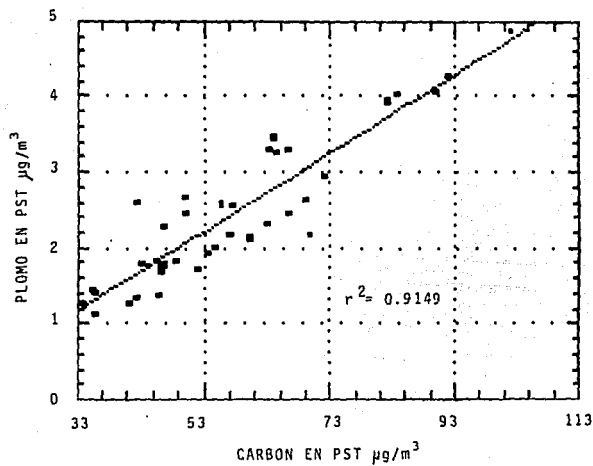


FIGURA 84 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON Y PLOMO, CONTENIDOS EN PST, EN LA ZONA DE CU EN EL AÑO DE 1982.

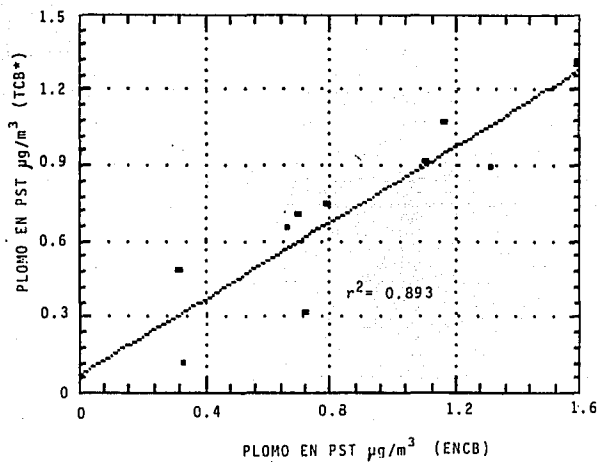


FIGURA 85 ANALISIS DE REGRESION DE PLOMO EN LA ZONA DE ENCB Y PLOMO EN LA ZONA DE *TACUBAYA, CONTENIDOS EN PST, EN EL AÑO DE 1987.

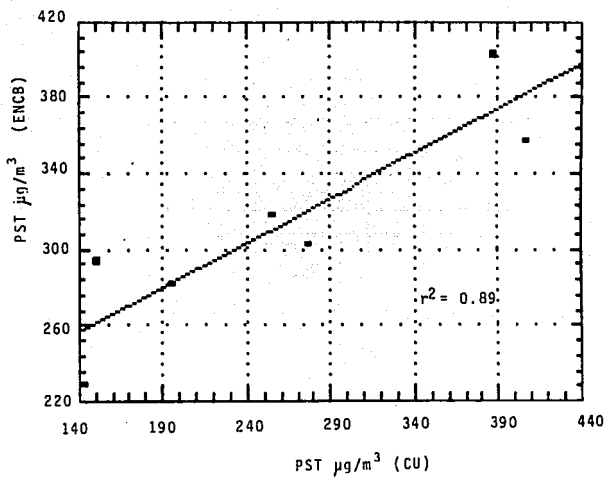


FIGURA 86 ANALISIS DE REGRESION DE PST EN LA ZONA DE CU
Y PST EN LA ZONA DE ENCB EN EL AÑO DE 1986.

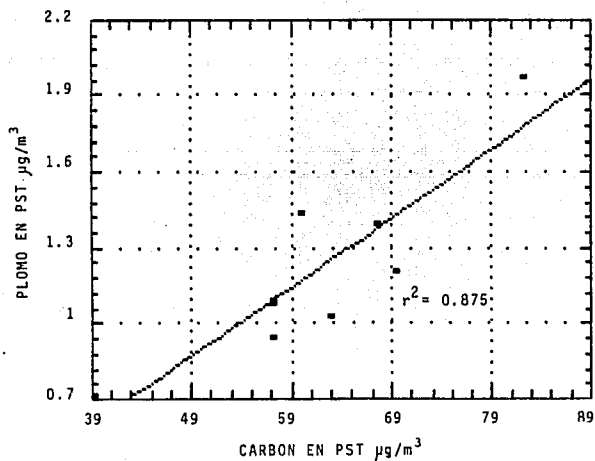


FIGURA 87 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON Y PLOMO, CONTENIDOS EN PST, EN LA ZONA DE ENCB EN EL AÑO DE 1986.

La poca variabilidad de datos de plomo en las PST en Tacubaya en 1986 no permite una mayor interpretación de los resultados en la figura 88, a pesar de la correlación obtenida ($r^2 = 0.867$).

La figura 89 representa la regresión lineal de PST en Tacubaya y PST en la ENCB en 1987 ($r^2 = 0.86$). Esta correlación es aceptable y confirma lo señalado en relación a la dispersión y generación de contaminantes como las PST y su magnitud respecto a la zona geográfica de la Ciudad.

La correlación de $r^2 = 0.857$ entre PST de Ciudad Universitaria y cobre en la ENCB en 1986 puede interpretarse como que las PST de ambos sitios son afectados por las mismas fuentes emisoras de partículas (figura 90).

La figura 91 representa la correlación entre cadmio en Tacubaya y cadmio en la Ciudad Universitaria para 1986. Existe una aceptable correlación ($r^2 = 0.847$) lo que señala que la misma fuente afecta a ambos sitios, aunque conforme más se aleja del norte de la ZMCM, menor presencia de cadmio en las PST.

El mismo origen posible del cobre y el carbón se pretende sugerir a partir de la figura 92, en la cual la correlación de $r^2 = 0.845$ entre cobre y carbón en PST para la ENCB en 1987 sugiere que quizás las fuentes de combustión del norte de la Ciudad son los responsables del cobre, aunque no es factible con-firmarlo, ya que un valor extremo obtenido en ambos contaminantes no es suficiente para esta afirmación a pesar de la correlación obtenida.

La importancia de una buena correlación entre plomo y carbón en PST ($r^2 = 0.842$) ya fue previamente discutida, y lo confirma nuevamente la gráfica de la figura 93 para datos trimestrales de 1986 en Ciudad Universitaria.

La figura 94 confirma lo señalado en el párrafo anterior respecto a la correlación entre plomo y carbón, ambos en PST ($r^2 = 0.839$) para la zona de la ENCB en 1987.

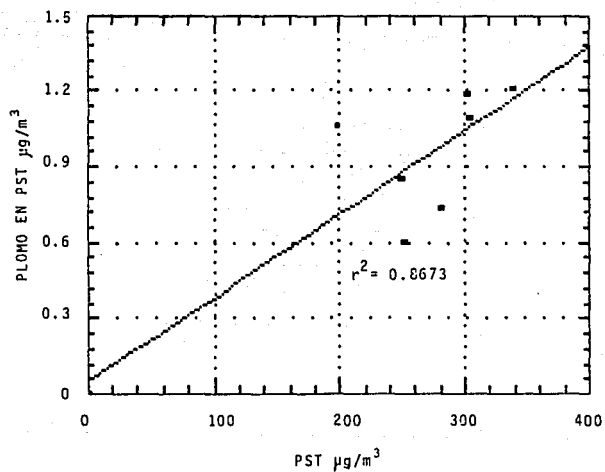


FIGURA 88 ANALISIS DE REGRESION DE PST Y PLOMO CONTENIDO EN PST, EN LA ZONA DE TACUBAYA EN EL AÑO DE 1986.

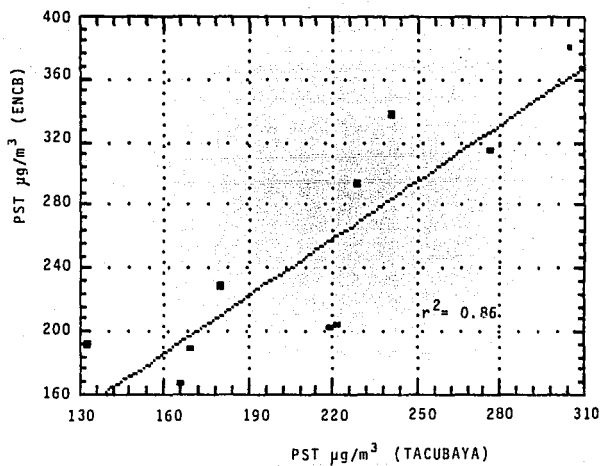


FIGURA 89 ANALISIS DE REGRESION DE PST EN LA ZONA DE TACUBAYA
Y PST EN LA ZONA DE ENCB EN EL AÑO 1987.

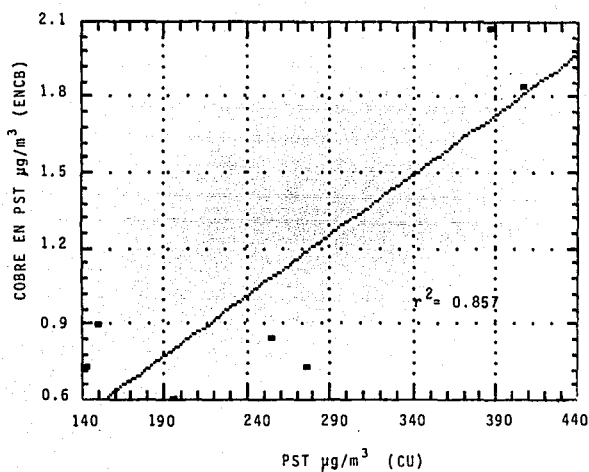


FIGURA 90 ANALISIS DE REGRESION DE PST EN LA ZONA DE CU Y COBRE EN LA ZONA DE ENCB CONTENIDO EN PST, EN EL AÑO DE 1986.

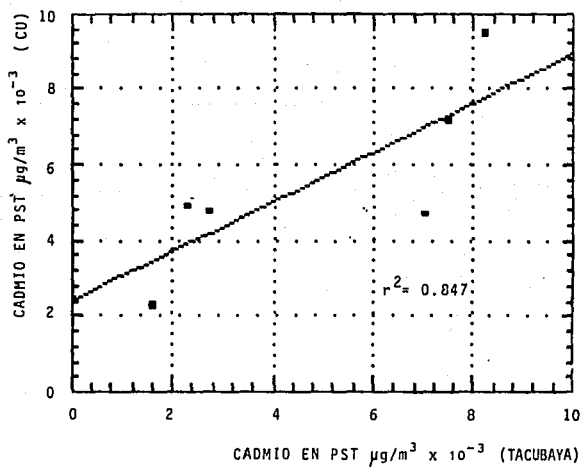


FIGURA 91 ANALISIS DE REGRESION DE CADMIO EN LA ZONA DE TACUBAYA Y CADMIO EN LA ZONA DE CU, CONTENIDOS EN PST, EN EL AÑO DE 1986.

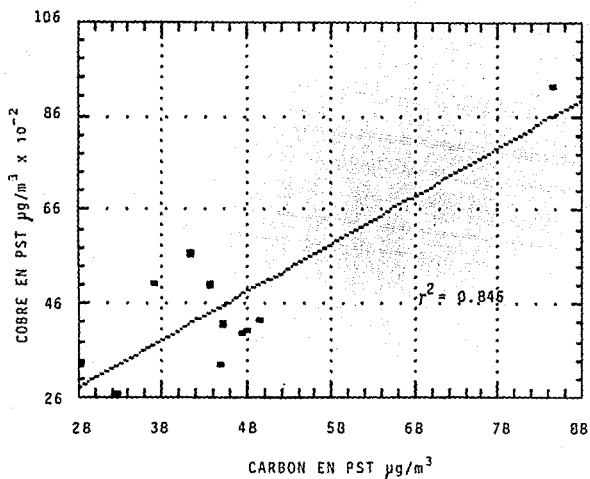


FIGURA 92 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON Y COBRE, CONTENIDOS EN PST, EN LA ZONA DE ENCB EN EL AÑO DE 1987.

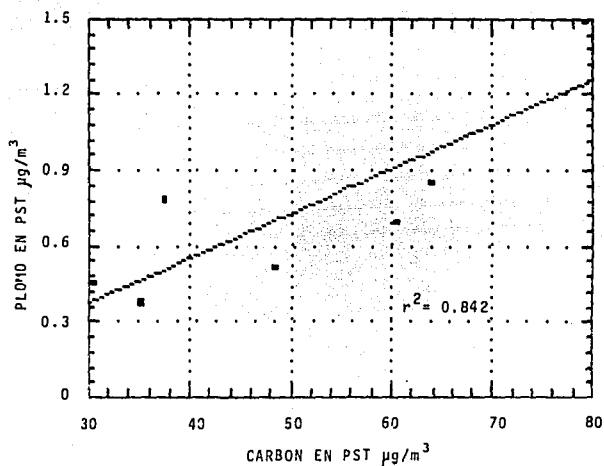


FIGURA 93 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON Y PLOMO, CONTENIDOS EN PST, EN LA ZONA DE CU EN EL AÑO DE 1986.

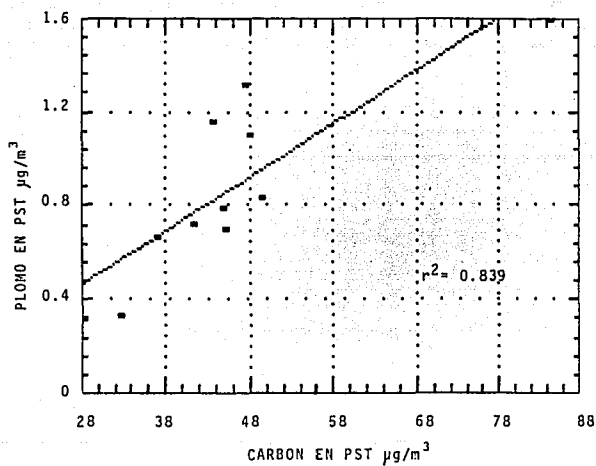


FIGURA 94 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON Y PLOMO, CONTENIDOS EN PST, EN LA ZONA DE ENCB EN EL AÑO DE 1987.

La gráfica de regresión (figura 95) de carbón y cadmio en PST en la zona de la ENCB para el trimestre de 1986, parece señalar que ambos contaminantes provienen de la misma fuente ($r^2 = 0.835$).

La gráfica de regresión para PST en Ciudad Universitaria y cadmio en la ENCB sugiere que en la zona norte puede localizarse la fuente de este elemento $r^2 = 0.835$ (figura 96).

La regresión de la figura 97 parece señalar que el carbón observado en Tacubaya está relacionado con el cadmio de Ciudad Universitaria, es decir, que el cadmio en PST que pudiera estar llegando por el transporte de viento a CU proveniente de la zona NNW tiene su origen en procesos de combustión de esa área (Tacubaya), aunque la correlación de $r^2 = 0.815$ ya no es muy exitosa.

En la figura 98 se presenta el resultado del análisis de regresión lineal para cobre en PST y las mismas PST en Tacubaya en el trimestre de 1986. El coeficiente de regresión de $r^2 = 0.814$ señala una probable correlación, sin embargo, no permite afirmar completamente que el cobre esté en relación lineal a las PST de esa zona. De hecho se observa un ligero agrupamiento de datos en el intervalo de los 250 - 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PST con poca variación por abajo de esas concentraciones.

La figura 99 presenta el resultado de la correlación entre plomo en Tacubaya y plomo en CU en sus respectivas PST para el trimestre de interés en 1987. A pesar de la correlación $r^2 = 0.81$, la gráfica señala que el comportamiento abarca un intervalo sensiblemente importante y refleja las actividades urbanas propias de ambas zonas y el efecto de la dispersión de las emisiones vehiculares tendiendo hacia el sur.

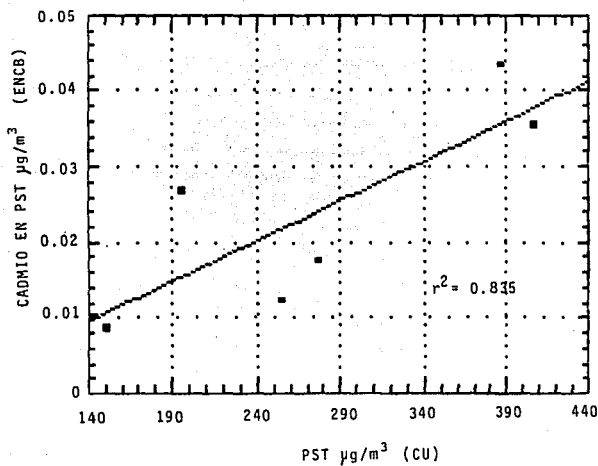


FIGURA 95 ANALISIS DE REGRESION DE PST EN LA ZONA DE CU Y CADMIO EN LA ZONA DE ENCB CONTENIDO EN PST, EN EL AÑO DE 1986.

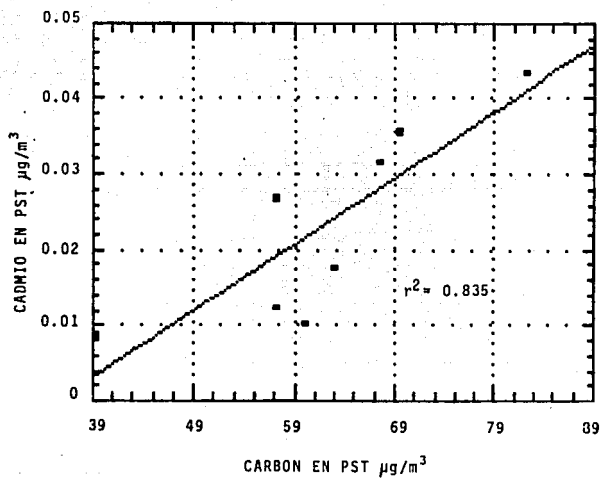


FIGURA 96 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON Y CADMIO, CONTENIDOS EN PST, EN LA ZONA DE ENCB EN EL AÑO DE 1986.

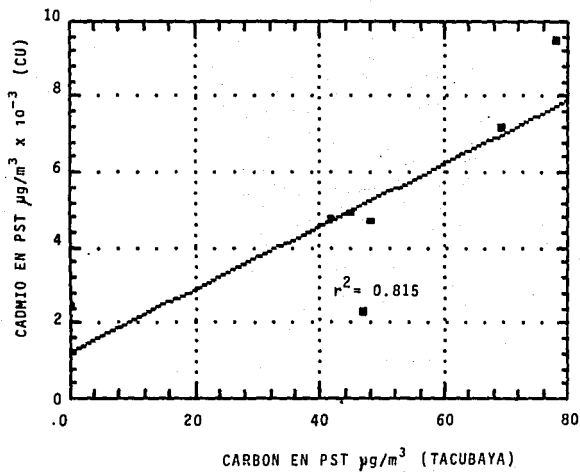


FIGURA 97 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON EN LA ZONA DE TACUBAYA Y CADMIO EN LA ZONA DE CU, CONTENIDOS EN PST, EN EL AÑO DE 1986.

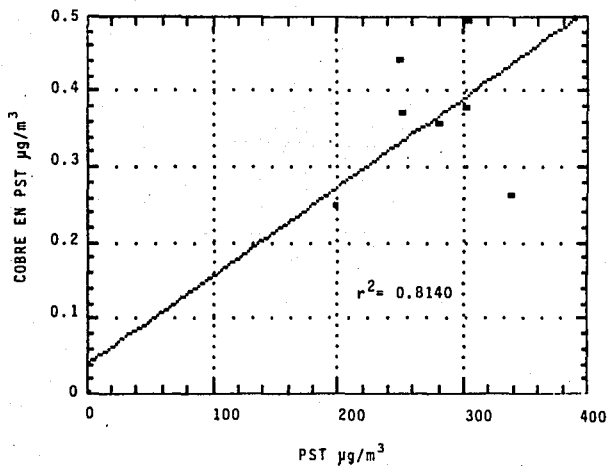


FIGURA 98 ANALISIS DE REGRESION DE PST Y COBRE CONTENIDO EN PST,
EN LA ZONA DE TACUBAYA EN EL AÑO DE 1986.

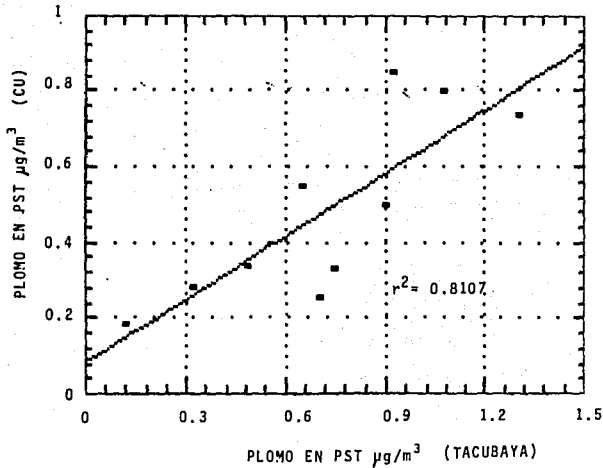


FIGURA 99 ANALISIS DE REGRESION DE PLOMO EN LA ZONA DE TACUBAYA Y PLOMO EN LA ZONA DE CU, CONTENIDOS EN PST, EN EL AÑO DE 1987.

El análisis de correlación lineal entre carbón y cobre en PST para CU en 1986 sugiere que ambos podrían ser del mismo origen o por el transporte atmosférico ambos contaminantes provienen de la misma área, sus fuentes son aparentemente procesos de combustión o fundición (figura 100), $r^2 = 0.8097$.

Lo expresado en forma general en el caso de la figura 100 puede confirmarse parcialmente en el resultado de regresión presentado en la figura 101 entre las PST en CU y carbón en la ENCB observados en el trimestre de interés de 1986. La gráfica sugiere que efectivamente las fuentes emisoras de carbón que se presentan en la ENCB están contribuyendo a las PST observadas en CU localizada viento abajo de Tacubaya con un $r^2 = 0.805$ que no es completamente satisfactorio, pero el espectro tan amplio que cubre la gráfica puede favorecer la anterior afirmación.

Un caso similar se presenta en la figura 102 respecto al cobre en PST de CU y PST de la ENCB se tiene para 1986 con una $r^2 = 0.804$.

En la misma ENCB se podría plantear que las PST ahí observadas están correlacionadas con cadmio (figura 103) y que la fuente área de PST está incluyendo a la fuente de cadmio que está a la vez dispersándose en la misma dirección del viento $r^2 = 0.802$.

La gráfica de correlación entre carbón en PST en la CU y el cobre en PST de la ENCB en 1986 parece señalar el mismo origen en ambos elementos $r^2 = 0.799$ (figura 104).

Así mismo, la regresión entre cadmio observada en las PST en la CU y el cobre en la ENCB parece indicar que el cobre sigue siendo el trazador del origen ambos metales en los dos sitios, de acuerdo con la figura 105, ($r^2=0.793$).

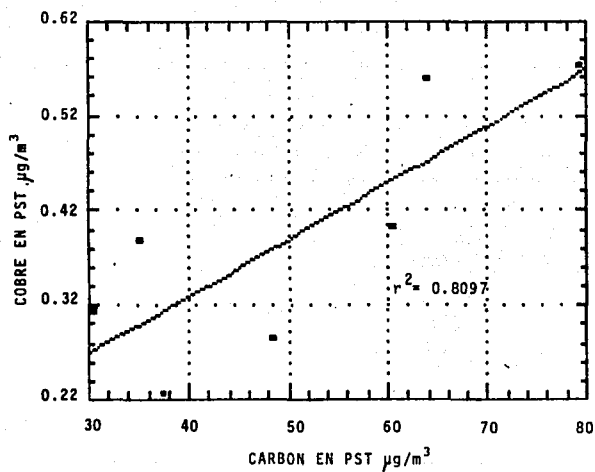


FIGURA 100 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON Y COBRE, CONTENIDOS EN PST, EN LA ZONA DE CU EN EL AÑO DE 1986.

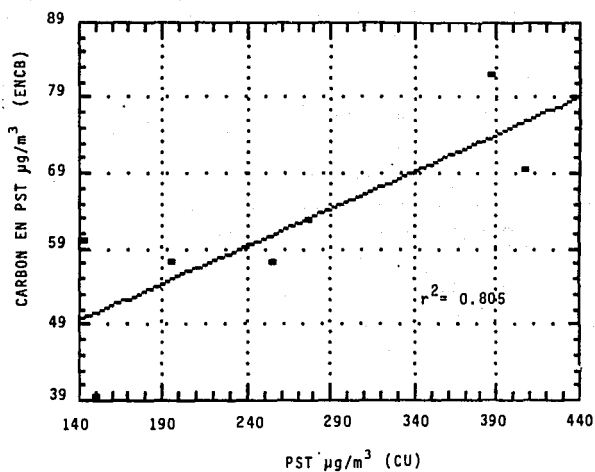


FIGURA 101 ANALISIS DE REGRESION DE PST EN LA ZONA DE CU Y CARBON EN LA ZONA DE ENCB CONTENIDO EN PST, EN EL AÑO DE 1986.

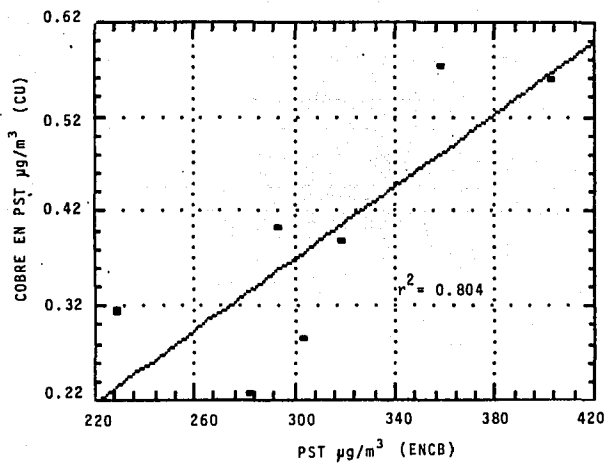


FIGURA 102 ANALISIS DE REGRESION DE PST EN LA ZONA DE ENCB Y COBRE EN LA ZONA DE CU CONTENIDO EN PST, EN EL AÑO DE 1986.

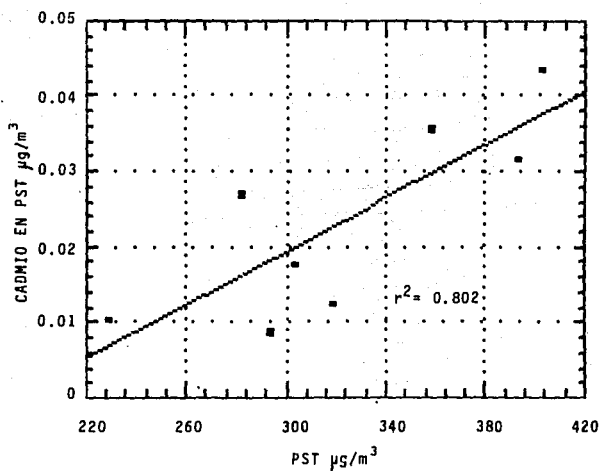


FIGURA 103 ANALISIS DE REGRESION DE PST Y CADMIO CONTENIDO EN PST, EN LA ZONA DE ENCB EN EL AÑO DE 1986.

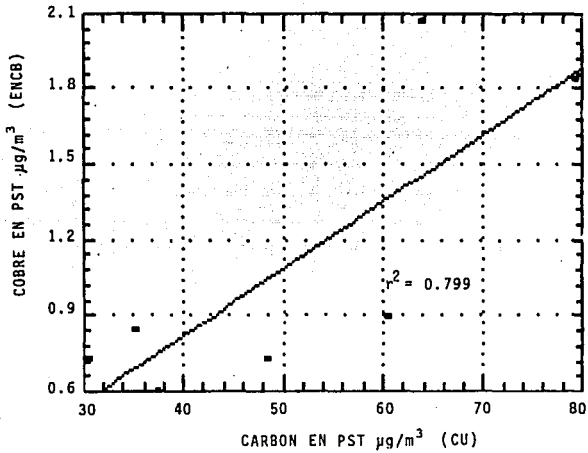


FIGURA 104 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON EN LA ZONA DE CU Y COBRE EN LA ZONA DE ENCB, CONTENIDOS EN PST, EN EL AÑO DE 1986.

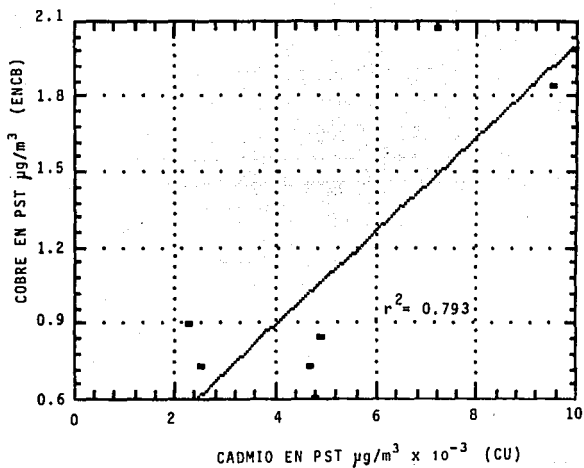


FIGURA 105 ANALISIS DE REGRESION DE CADMIO EN LA ZONA DE CU Y COBRE EN LA ZONA DE ENCB, CONTENIDOS EN PST, EN EL AÑO DE 1986.

Por lo que respecta a los comportamientos globales de todo el período de 1982 a 1987, la correlación de la figura 106 señala que el carbón parece ser el trazador del origen del plomo, de acuerdo a los datos vaciados en la construcción de la gráfica de regresión lineal de la figura 106. Esto podría significar que el contenido de plomo en las PST (cuya fuente primaria es el tetraetilo de plomo en los motores de combustión) está en aparente función directa con el carbón a esperarse en el ambiente, ($r^2 = 0.792$).

La figura 109 es el análisis de regresión entre carbón y cobre en PST para Tacubaya en 1987 ($r^2 = 0.79$). Lo mismo que en el caso de la figura 104, el carbón parece ser el trazador del origen del cobre.

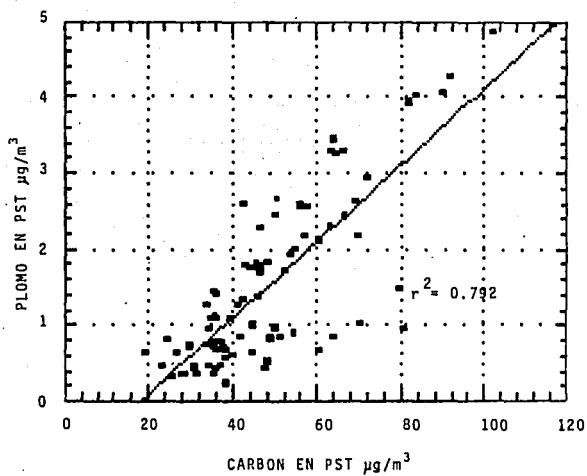


FIGURA 106 ANALISIS DE REGRESION DE PLOMO Y CARBON, CONTENIDOS EN PST, EN LA ZONA DE CU EN LOS AÑOS 1982 a 1987.

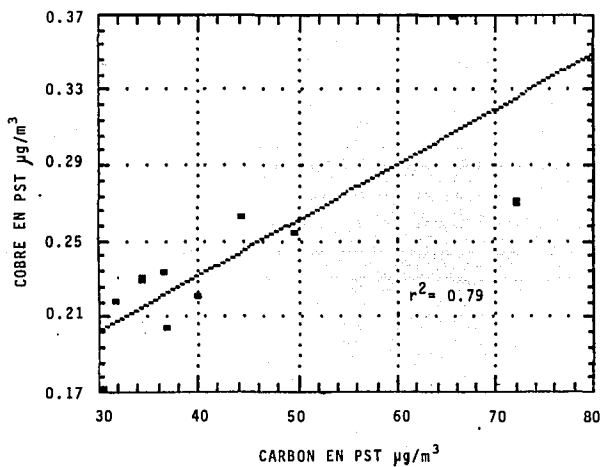


FIGURA 107 ANALISIS DE REGRESION DE CARBON Y COBRE, CONTENIDOS EN PST, EN LA ZONA DE TACUBAYA EN EL AÑO DE 1987.

IV. 7. 2 SERIES DE TIEMPO Y PRONOSTICO.

Los conceptos vertidos en la sección III. 6. 5, son empleados para la interpretación preliminar de los resultados más importantes que a continuación se describen.

IV. 7. 2. 1 ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS (ENCB).

En la figura 108 se presenta la serie de tiempo suavizada y el pronóstico para PST en la ENCB en el trimestre enero-febrero-marzo (EFM) de 1982 a 1988. La tendencia no está bien definida y parece mantenerse cerca de la Norma Mexicana de Calidad del aire que es de $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La figura 109 presenta la serie de tiempo con las opciones de suavización y pronóstico para carbón en las observaciones realizadas en el trimestre EFM de 1982 a 1988 en la ENCB. El resultado señala una clara y definitiva tendencia a la disminución de este elemento en la zona de Tacuba.

El mismo tipo de análisis para plomo en la misma ENCB (figura 110) señala que sí decreció el plomo respecto a 1982, sin embargo, la tendencia no está tan marcada como en el carbón para la misma estación de muestreo.

Caso aparte lo es el cobre en PST para la ENCB, cuyo análisis no sugiere un patrón definido, aunque la tendencia de 1986 a 1988 parece decrecer (figura 111).

La serie de tiempo suavizada y el pronóstico para 1988 en la ENCB indica, de acuerdo a la figura 112, que el cadmio tiende a la disminución aunque existe un período (entre 1982 y 1983) en que este contaminante aparentemente fue emitido fuera de control.

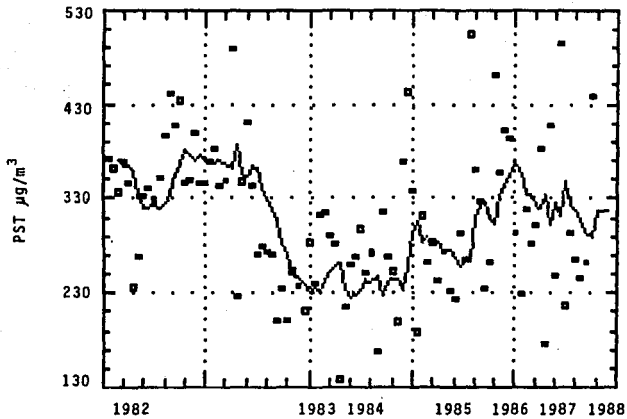


FIGURA 108 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1982 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE LA ENCB; CONTAMINANTE PST.

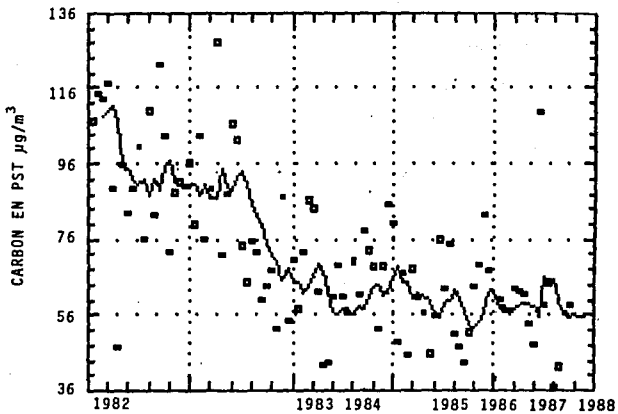


FIGURA 109 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1982 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE LA ENCB; CONTAMINANTE CARBON.

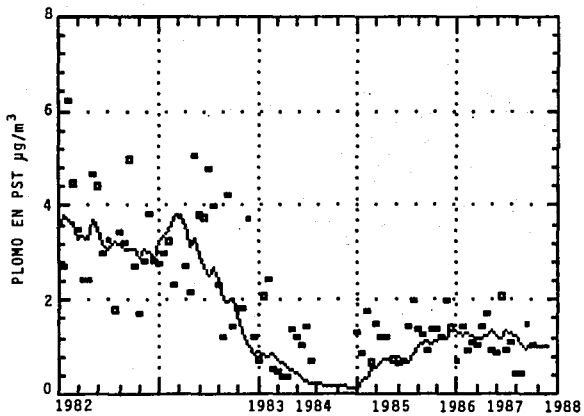


FIGURA 110 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1982 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE LA ENCB; CONTAMINANTE PLOMO.

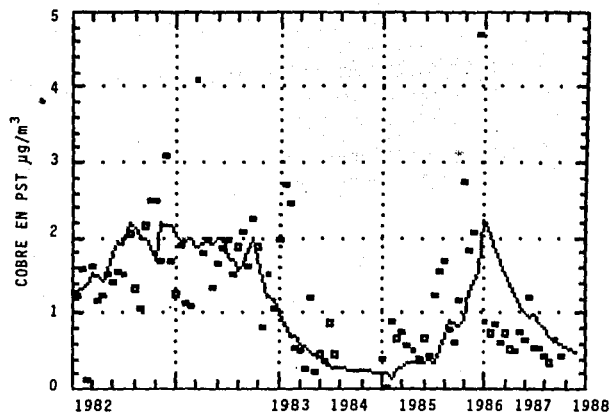


FIGURA 111 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1982 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE LA ENCB; CONTAMINANTE COBRE.

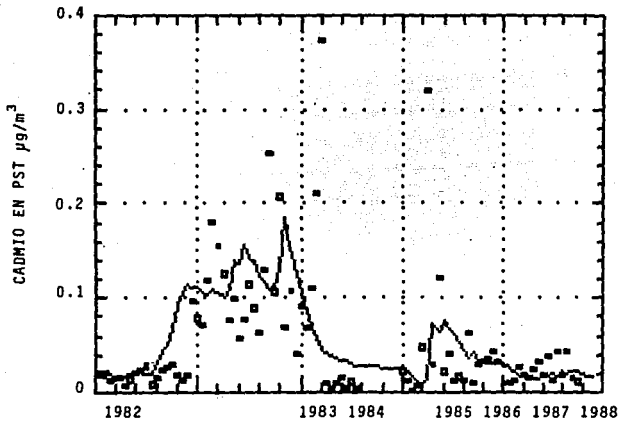


FIGURA 112 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1982 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE LA ENCB; CONTAMINANTE CADMIO.

IV. 7. 2. 2 CIUDAD UNIVERSITARIA (CU).

El mismo análisis del caso de la ENCB fue aplicado a los datos de la estación de muestreo de la CU, la figura 113 presenta el resultado para las PST, que revelan una tendencia a la disminución.

Lo mismo parece repetirse para el carbón en las PST hasta 1986, sin embargo, después de este trimestre la amplitud de concentraciones se incrementa y la tendencia parece aumentar (figura 114).

Un caso completamente notable es el contenido de plomo en las PST. El contenido de plomo en las gasolinas, de acuerdo a PEMEX fue abatido y el resultado de la figura 115 confirma lo anterior aunque señala que durante 1988 no debió presentarse un cambio importante.

El comportamiento del cobre en PST, a pesar de presentar buenas correlaciones con carbón según se discutió en la sección anterior, en la serie de tiempo no parece seguir el comportamiento del carbón, aunque sí se observa una secuencia hacia la disminución según lo muestra la figura 116.

El cadmio en las PST también se encuentra muy disperso, aunque esto puede atribuirse a incertidumbres del método analítico como consecuencia de que las cantidades son mínimas. De acuerdo a la figura 117 el cadmio en general tiende a la disminución.

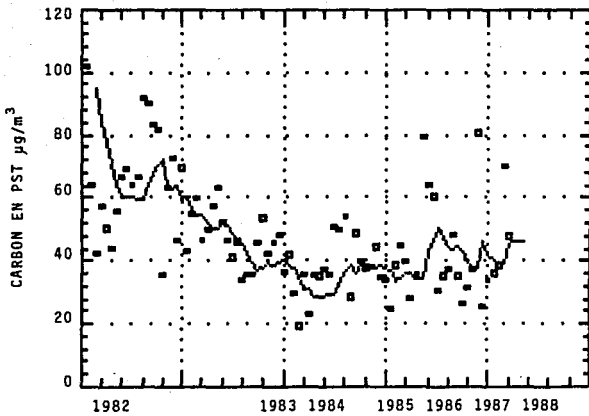


FIGURA 114 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1982 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE CU; CONTAMINANTE CARBON.

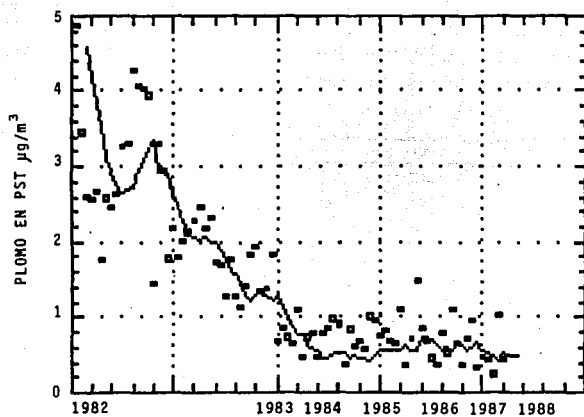


FIGURA 115 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1982 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE CU; CONTAMINANTE PLOMO.

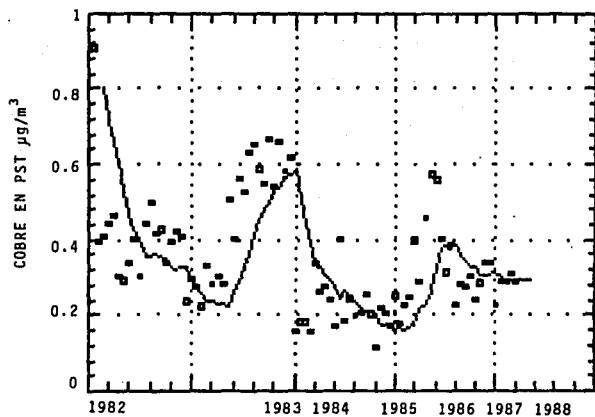


FIGURA 116 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1982 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE CU; CONTAMINANTE COBRE.

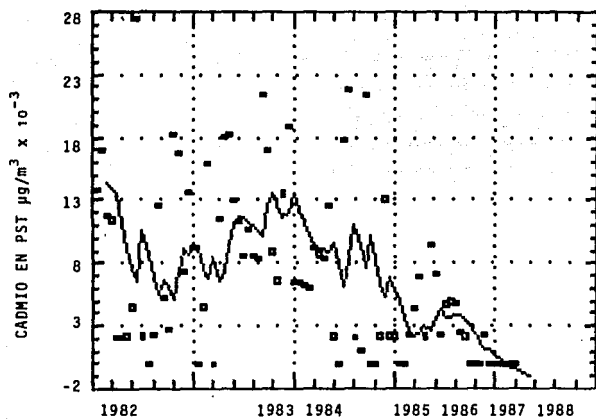


FIGURA 117 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1982 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE CU; CONTAMINANTE CADMIO.

IV. 7. 2. 3 TACUBAYA.

Finalmente, el análisis estadístico de los datos obtenidos en Tacubaya en el trimestre de interés de 1984 a 1987 y su pronóstico para 1988 indica que las PST tienden a mantenerse en un nivel ligeramente por arriba de la Norma Mexicana de Calidad del aire ($275 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas) y que su dispersión de intervalo es cada vez más marcada, según se presenta en la figura 118.

Un resultado similar se observa para el carbón en las PST con una ligera tendencia al incremento para 1988 con mayor amplitud en el intervalo máximo - mínimo, especialmente después de 1986, fecha en que se cambió la gasolina en la ZMCM (figura 119).

El resultado de este análisis para el plomo en PST de Tacubaya se presenta en la figura 120. Se observa una tendencia aparentemente constante, aunque ya se aprecian valores de plomo mínimos, después de una clara reducción desde 1984.

El caso del cobre y su comportamiento coinciden con el resultado para CU (figura 116), con un ligero incremento de 1984 a 1987 aunque no definitivo según la figura 121.

No obstante el cadmio en las PST sí presenta una definitiva tendencia a la disminución en correspondencia al resultado de la ENCB y CU para ese período, y el resultado se presenta en la figura 122.

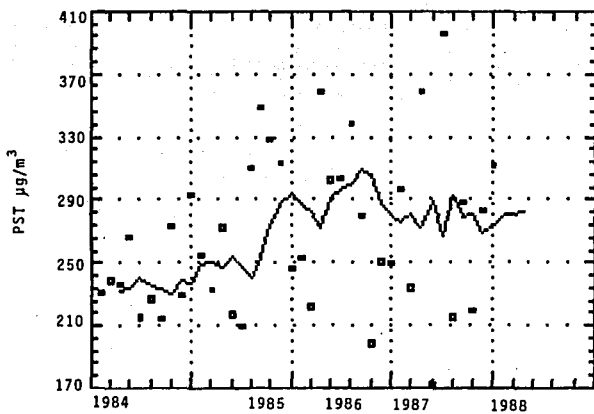


FIGURA 118 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1984 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE TACUBAYA; CONTAMINANTE PST.

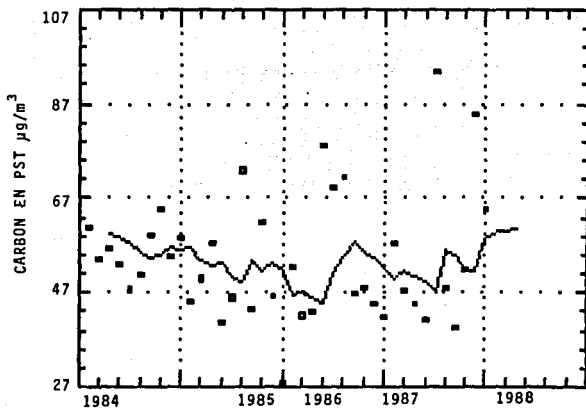


FIGURA 119 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1984 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE TACUBAYA; CONTAMINANTE CARBON.

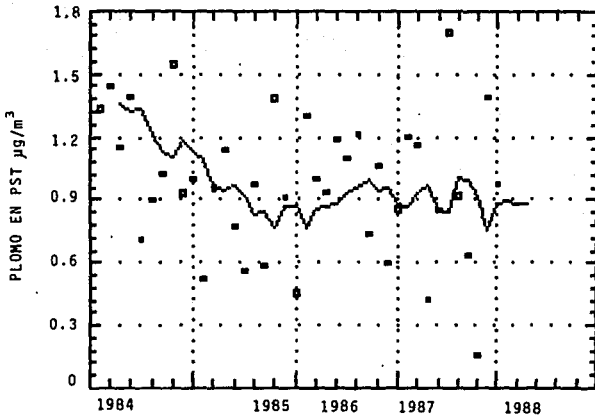


FIGURA 120 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1984 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE TACUBAYA; CONTAMINANTE PLOMO.

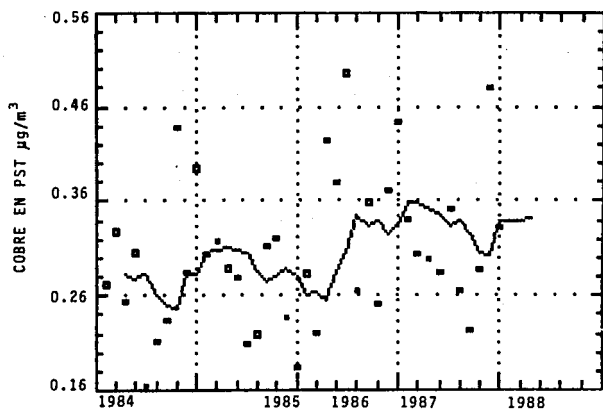


FIGURA 121 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1984 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE TACUBAYA; CONTAMINANTE COBRE.

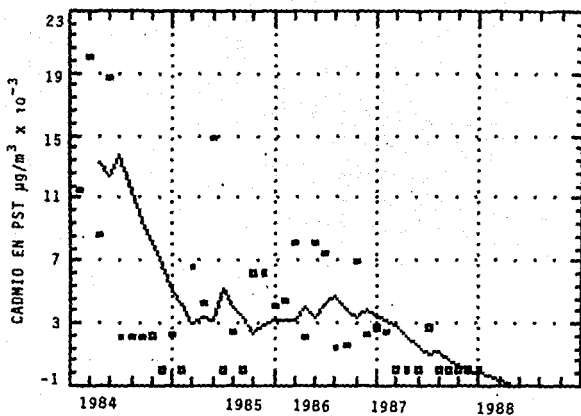


FIGURA 122 SERIE DE TIEMPO PARA DATOS ORIGINALES Y SUAVIZADOS DE 1984 A 1987 Y PRONOSTICO PARA 1988 EN LA ZONA DE TACUBAYA; CONTAMINANTE CADMIO.

V. CONCLUSIONES.

Los resultados de este estudio indican que a pesar de los esfuerzos realizados por las autoridades correspondientes las partículas suspendidas totales siguen siendo un problema a resolver, especialmente en la zona norte y central de la ZMCM. Especialmente en Tacuba, se presentan los mayores niveles de todos los parámetros estudiados: PST y su contenido de carbón, plomo, cobre y cadmio, siguiéndole en importancia Tacubaya y después Ciudad Universitaria. Esto confirma que el sector norte del área urbana es la zona responsable de la mayor parte de las emisiones de partículas a la atmósfera en sus dos fuentes probables, móviles y fijas. La Ciudad Universitaria puede considerarse una zona limpia respecto a todos los parámetros estudiados. Tacubaya aún quedaría incluida entre las zonas con problemas por los niveles de partículas ahí registrados. La zona norte y centro presentan alto potencial de riesgo a la salud por los niveles de PST observados.

Otra llamada de atención respecto al contenido de carbón observado, aún en la CU (lugar limpio) son los niveles relativamente altos hasta 1987 si se comparan con otros datos de ciudades en otros países cuyos valores se encuentran muy por abajo de los registrados en las tres estaciones de muestreo consideradas en este estudio.

Las consecuencias están bien definidas y son principalmente: reducción de visibilidad, especialmente si se considera que en Tacubaya se realiza esta observación en forma rutinaria, la gran concentración de carbón elemental en las partículas favorece las reacciones fotoquímicas atmosféricas de la ZMCM al presentar grandes superficies catalíticas de reacción, afectando con gran probabilidad los esfuerzos por controlar el problema de la contaminación atmosférica fotoquímica. La presencia de estos relativamente altos niveles de carbón son producto de la combustión y si se considera que el tamaño típico reportado para estas partículas está dentro del intervalo de las partículas finas se

puede deducir que un alto porcentaje de las partículas suspendidas esta en el intervalo inhalable. La suciedad típica de la atmósfera se debe al carbón en las PST y representa un aspecto antiestético y de bienestar inadecuados, debiéndose notar que parece que la tendencia de las partículas se mantiene aparentemente constante con poca disminución.

Una fuente importante de carbón son los motores de Diesel por lo que sugiere mayor atención en las emisiones vehiculares de estos, así como en la operación de fuentes puntuales como calderas y otros, dado que los compuestos policíclicos como los benzo-pirenos emitidos en estos procesos de combustión conforman porcentajes importantes del total de carbón observado y poseen un alto potencial cancerígeno en el hombre.

Un resultado importante que confirma el efecto de la implementación de una estrategia de control por parte de PEMEX consiste en la reducción del contenido de plomo en las gasolinas a partir de 1982 siendo clara la tendencia a la disminución observada en los niveles de plomo en PST para las tres estaciones estudiadas. La Norma de Calidad de aire para este contaminante es de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo en PST promedio aritmético trimestral (U.S. EPA) no fue rebasada en 1986 y 1987, y su pronóstico no señala rebasarla en 1988. No se discute el efecto de la reducción de plomo en las gasolinas sobre la presencia de otros contaminantes en este trabajo, sin embargo, es interesante que el plomo tiene buenas correlaciones con las PST, cobre y cadmio.

La tabla XXVI presenta las relaciones Pb/Cu observadas para las tres estaciones a lo largo del estudio. Los valores han decrecido en virtud de la disminución observada en el plomo. No obstante tomando como referencia los aspectos señalados en la sección II. 7, una primera aproximación indica que el origen del cobre por actividad netamente industrial se aproxima más al caso de las tres estaciones de muestreo.

TABLA XXVI. Relación de concentraciones Pb/Cu como indicadores de origen por tipo de actividad*.

Estación	AÑO					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
C U	5.42	4.34	3.26	1.88	1.88	2.11
E N C B	1.76	0.68	2.13	1.00	0.78	1.88
TACUBAYA	—	—	3.62	3.31	2.63	3.00

*Pb/Cu = 4.19 representa actividad industrial neta.

Pb/Cu = 11.35 representa actividad urbana neta.

Los niveles de cobre resultantes de este estudio señalan la clara influencia de la actividad industrial y las condiciones atmosféricas de dispersión, aunque se encontraron evidencias de que pueda ser de origen natural. La zona norte (cercana a Tacuba) es el área con niveles mayores debido probablemente a que una gran parte de la industria y en especial la fundición se encuentra viento arriba o cercano a la ENCB. Utilizando la relación de Pb/Cu se puede afirmar con más certidumbre que el cobre en las PST es de origen industrial con alguna contribución de la actividad urbana y poca de la natural. No se considera que el cobre sea de peligro potencial a la salud, sin embargo, señala como trazador que otras emisiones industriales asociadas no están siendo controladas. La contribución natural podría explicar el patrón no definido del cobre respecto al tiempo, ya que el transporte de polvos finos por vientos pudiera ser el factor de importancia.

El cadmio se encuentra en las PST de las tres zonas estudiadas a valores cercanos al valor de referencia (sin implicar alguna Norma de Calidad de Aire)

de $0.002 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es claro observar que existe una tendencia a la disminución, aunque la zona de la ENCB sigue siendo la que presenta mayores niveles respecto a las otras. La cercanía de Tacuba a las zonas industriales y su localización viento abajo podría explicarlo. Sin embargo, su disminución respecto al tiempo solo podría atribuirse a la reducción de operaciones industriales que involucran este elemento, aunque esto no puede asegurarse.

El presente trabajo representa un ejemplo de la aplicación de métodos estadísticos en la interpretación de resultados analíticos y su aplicación en estudios de calidad de aire así mismo de la importancia del seguimiento a largo plazo de niveles de contaminantes atmosféricos. Es importante recalcar que los métodos de muestreo y análisis así como el manejo de la información empleados en este trabajo son los recomendados por organismos científicos internacionales.

VI. BIBLIOGRAFIA.

1. Ayles Worth T. G. (1983)., "La Crisis del Ambiente"., Ed. Fondo de Cultura Económica.
2. Benkley C. W., Schuman L. L.; (1979)., "Estimating Hourly Mixing Depths from Historical Meteorological Data.", Journal of Applied Meteorology, Vol 18 pp 772-780.
3. Bravo A. H. (1987)., "La Contaminación del Aire en México." Fundación Universo Veintiuno A. C., México D. F.
4. Bravo A. H., Granada R. M., Torres J. R., Sosa E. R. (1987b), "Estimación de la altura de la capa de mezclado a partir de datos de radio sondeo y temperatura potencial por microcomputadoras.", Presentado en Ier. Simposium de Meteorología, CECYT No. 10, I P N , México.
5. Bravo A. H., Saavedra R. M. I., Torres J. R., Lomas A. G., Nava T. D., Tirado S. D. (1988)., "Particulate Carbon, a Significant Contributor to the Visibility Reduction of Mexico City.", Geof. Inf., Vol 27-2, pp 241-261.
6. Bravo A. H., Sosa E. R., Torres J. R. (1987a), "Contaminación Atmosférica por Ozono. Propuesta de Estrategias de Control para el Invierno 1987-1988 en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.", Elaborado para la Comisión Nacional de Ecología, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
7. Bravo A. H., Torres J.R. (1989)., "Utilización de cadmio, carbón, cobre y plomo en Partículas Suspendidas Totales como indicadores de contaminación atmosférica.", Reporte Técnico Interno., C C A , U N A M.
8. C F E (1987)., "Análisis de cuantificación del fenómeno de Inversión-Contaminación Atmosférica en el Area Metropolitana de la Ciudad de México, para el periodo invernal.", Reporte realizado por la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, U N A M para la C F E , México.
9. Clark W. E., Whitley K. T. (1967)., "Concentration and size distribution measurements of atmospheric aerosols and a test of the theory of self preserving size distribution.", Journal of Atmospheric Sciences., Vol 24, pp 677-685.
10. Code of Federal Regulations (1976)., "40 Protection of Environment.", Published by Federal Register National Archives and Records Service, General Services Administration., U.S.A.
11. Corey O. G. y Galvão L. A. C. (1989)., "PLOMO". Serie Vigilancia 8., Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud,

Organización Mundial de la Salud., Metepec México.

12. Department of Labor Washington D. C. (1980)., "Advanced Toxicology for Health: Compliance officers, Instructor manual lesson., pp 13-16, Washington D. C., U.S.A.
13. Díaz A. M. G. (1986)., "Determinación de Metales Pesados en Partículas Suspensas Totales (TPS) y de fracciones en la atmósfera de la Zona de Tacuba.", Tesis, E N C B , I P N , México D. F.
14. EPA (1977 b)., "Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volumen II-Ambient Air Specific Methods, EPA 600/4-77-027 a, Research Triangle Park., N. C.
15. EPA (1977 a)., "Selecting Sites for monitoring total suspended particulates." EPA-450/377-018.
16. EPA (1981)., "Draft staffpaper for particulate matter." Committee Meeting., Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park., N.C.
17. EPA (1983 a)., "Analytical Methods for Air Quality Standards.", Air Pollution Training Institute, EPA 450/2-81-018 b., Environmental Protection Agency., Research Triangle Park, N. C. pp 5.1-5.29.
18. EPA (1983 b)., "Introduction to Ambient Air Monitoring.", Air Pollution Training Institute, EPA 450/2-82-004., Environmental Protection Agency., Research Triangle Park.
19. EPA (1984)., "Environmental Progress and Challenges: an EPA Perspective.", Office of Management Systems and Evaluation (PM-222) Washington D. C., pp 22-24.
20. EPA (1986)., "National Air Quality Emissions trends Report, 1986.", Office of Air Quality Planning and Standards EPA-450/4-88-001., Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, N. C.
21. Fenelly P. F. (1975)., "Primary and Secondary Particulates as Pollutants.", Journal of the Air Pollution Control Association, Vol 25 No. 7, pp 697-704.
22. Galvão L. A. C. y Corey G. (1987)., "CADMIO", Serie Vigilancia 4., Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud., Metepec México.
23. Garza G. (1987)., "Atlas de la Ciudad de México.", Departamento del Distrito Federal. Secretaría General de Desarrollo Social., El Colegio de México., Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano., pp 102-107.
24. Giral J. (1953)., "Diccionario de Química.", Ed. Atlante, pp 186-188. México.

25. Goodman L. S. y Gilman A. (1978)., "Bases Farmacológicas de la Terapéutica." Ed. Nueva Editorial Americana., 5a. Impresión, pp 1099-1120, México.
26. Grana G. R. (1983)., "Evaluación del grado de Contaminación Atmosférica en la Zona de la E N C B respecto a la cantidad total de partículas totales suspendidas y determinación de algunos metales.", Tesis E N C B , I P N , México D. F.
27. Jauregui E. O. (1974)., "Las Zonas Climáticas de la Ciudad de México," Boletín del Instituto de Geografía, U N A M , Vol VI, pp 47-58, México.
28. Jauregui E. O. (1979)., "La contaminación Atmosférica Potencial en los Valles del Centro de México." Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 16, Instituto de Geografía, U N A M .
29. Jiménez J. P. (1983)., "Estudios Hematológico en personas ocupacionalmente expuestas a plomo." Tesis E N C B , I P N , México D. F.
30. Johnson D., Nettville T., Woodl and Jhones S. (1973)., "Chemistry and the Environmental.", Ed. W. B. Saunders Company. London-Toronto, pp 146-150.
31. Kipling M. M. D., Waterhouse J. A. (1967)., "Cadmium and Prostatic Carcinoma." Lancet 1, pp 730-731. Birmingham, U S A.
32. Lomas A. G. I. (1985)., "Evaluación de la Calidad del aire en la Zona de Tacu ba, en lo referente a partículas, metales pesados y carbón total." Tesis E N C B I P N , México D. F.
33. Long J. S., Suggs C. J. and Walling J. (1979)., "Lead Analysis of Environment Protection Agency.", Lead Reference Method Japca Vol 29 No. 1, pp 23-28, U.S.A.
34. López G. L. (1985)., "Determinación de algunos metales en fracciones de partículas de la atmósfera en la región de la E N C B ", Tesis E N C B , I P N , México D. F.
35. López P., R. M. (1982)., "El medio ambiente en México; Temas, Problemas y Alternativas.", Cap. X., La Contaminación Atmosférica. 158, Fondo de Cultura Económica. México.
36. Lucas J. (1975)., "Our Polluted Food a Survey of the Risks.", The General Publishing Company Limited., pp 156-165, Toronto Canadá.
37. Middleton T. J. (1969)., "Air Quality Criteria for Particulate Matter.", U.S. Dept. of Health, Education and Welfare., National Air Pollution Control Administration, Washington D. C.
38. Montoya C. M. A. (1988)., "Efectos Adversos Neuroconductuales del Plomo.", III Elementos Clínicos y Fisiopatológicos., Presentado en el Curso Básico sobre

Contaminación del Aire y Salud., Oct 1988, ECO/OPS/QMS. México.

39. NATO/CCMS/EPA (1972).. "Guidelines to Assessment of Air Quality (Revised) SO_x , TSP, CO, HC, NO_x and Oxidants.", Nato Committee on the Challenges of Modern Society/Air Pollution Technical Information Center, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park.
40. Nava D. J. y Tirado S. D. (1978).. "Curso de Química Inorgánica.", Dept. de Química Inorgánica, E N C B , I P N , México.
41. O M S Organización Mundial de la Salud (1978).. "Riesgos del Ambiente Urbano para la Salud.", Contaminantes Ambientales Seleccionados., pp 159-171, 256-260 y 329, Panamá.
42. O M S Organización Mundial de la Salud (1979).. "Criterios de Salud Ambiental; Plomo.", Publicacion Científica No. 338, pp 100-105, 128 y 138, Panamá.
43. O P S Organización Panamericana de la Salud (1979).. "Manual de la Calidad del Aire en el Medio Urbano.", Publicación Científica No. 401, pp 37-43, México.
44. Peralta B. M. A. (1983).. "Determinación de algunos metales pesados en Suelos Agrícolas de Xochimilco.", Tesis E N C B , I P N , México D. F.
45. Ptaffenberger R. C., Patterson J. H. (1977).. "Statistical methods for business and economics.", Richard D. Irwin Inc., Illinois.
46. SAHOP (1981).. "Programa Nacional de Ecología Urbana, anexo gráfico.", Dirección General de Ecología Urbana. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. México.
47. SEDUE (1986).. "Informe sobre el medio Ambiente en México." Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología., México D. F.
48. Spiegel M. R. (1979).. "Estadística.", Serie de Compendios Schaum., Libros Mc Graw-Hill., México.
49. Stoker S. H., Seager S. L. (1981).. "Química Ambiental, Contaminación del Aire y del Agua.", Ed. Blume, 1a. Impresión, pp 119-120 y 122-124. Barcelona España.
50. STSC (1985).. "User's Guide of the STATGRAPHICS."
51. Tecnoconsult (1987).. "Modelo para aportaciones a la atmósfera en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México." Elaborado para SEDUE proyecto P-860125, Tecnoconsult, México D. F.
52. Tennekes H. (1973).. "A model for the dynamics of the inversion above a convective boundary layer.", Journal of the Atmospheric Sciences., Vol 3, pp 558-567.
53. Tukey J.W. (1977).. "Exploratory Data Analysis.", Addison-Wesley Publishing Company, Reading M. A.

54. Velázquez Z. E. (1986)., "Determinación de algunos metales pesados en partículas totales suspendidas (TSP) en la Zona de Tacuba.", Tesis E N C B , I P N , México D. F.
55. Villalón A. y Monclus A. (1974)., "La Contaminación Ambiental, Causa y Valoración.", Ed. Jims, Barcelona España.
56. Waldbott G. L. (1978)., "Health Effects of Environmental Pollutants.", Saint Luis the C. U. Mosby Company 2a. Impresión, pp 110-111, 125-127, 147 y 275. U S A.
57. Walkley A. and Blank (1943)., "An examination of the degt jareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method.", Soil Sci. 37, pp 29-38.
58. Wolff G. T. (1981)., "Particulate Elemental Carbon in the Atmosphere." Journal of the Air Pollution Control Association. Vol 31, No. 9, pp 931-938.
59. Wolff G. T. (1982)., "Characteristic and Consequences of Soot in the Atmosphere.", Environmental Science Department. General Motors Research Laboratories. Environmental International. Warre Michigan.
60. Wolff G. T., Klimisch R. L. (1982)., "Particulate Carbon Atmospheric Life Cycle." International Symposium Sponsored by the General Motors Research Laboratories. New York-London.

ANEXO A

Calculo para determinar el contenido de partículas suspendidas totales y su contenido en carbón y metales, en el muestreador de grandes volúmenes (Hi-Vol).

A. 1 PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES.

Se calcula gravimétricamente con los datos de las diferencias de peso, teniendo en cuenta el tiempo y el volumen total durante la toma de la muestra y se indica calculando el flujo real teórico expresado en ft^3/min , este dato se interpola en la curva de calibración, para tener el flujo real del volumen de aire en m^3/min y se sigue la secuencia de transformaciones de unidades como se muestra en la figura 14 de la hoja de registro, ver sección III.5.2.

A. 2 CONTENIDO DE CARBON EN LAS PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se analizo un 1/16 de la membrana expuesta. Los datos obtenidos en cada valoración se corrigen con las lecturas de los testigos como se indica en el ejemplo que a continuación se describe.

El dato ya corregido se multiplica por el miliequivalente del carbón y por 16 para determinar cuanto hay en la membrana total y se divide entre el volumen de aire que paso por el filtro.

Ejemplo de la secuencia de cálculos para determinar la concentración de carbón en PST.

1. (ml de FeSO_4 gastado en el testigo) - (ml de FeSO_4 gastados en la muestra).
2. El resultado de 1 se multiplica por el miliequivalente del carbón que es de 0.003 y se obtiene el carbón en la fracción de 1/16.
3. El dato obtenido en 2 se multiplica por 16 para obtener el total.
4. El resultado de 3 se transforma a μg y se divide entre el volumen total de aire expresado en m^3 , resultando $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A. 3 CALCULO DEL CONTENIDO DE METALES EN PST.

En esta determinación se partió de 1/8 de la membrana expuesta. Los datos obtenidos en el aparato de absorción atómica se corrigen con las lecturas de los testigos, este resultado se multiplica por el volumen (50 ml), después se multiplica por 8 para obtener la concentración total del filtro expuesto expresado en microgramos, enseguida se divide entre el volumen en metros cúbicos que se muestreó y se obtiene la concentración del metal en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ejemplo de la secuencia para determinar la concentración de metales en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PST.

1. Lectura del extracto ácido - lectura del testigo.
esta diferencia nos da la concentración del metal en $\mu\text{g}/\text{ml}$ de una octava parte de la hoja.
2. Este resultado se multiplica por el volumen total de 50 ml, nos da los μg contenidos en esa parte del filtro.
3. Los μg obtenidos son multiplicados por 8 para obtener la concentración total de la hoja.
4. El dato obtenido en 3 se divide entre el volumen total de aire expresado en metros cúbicos, resultando $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aplicación en el filtro de la ENCB 23-24/I 1984, filtro No. 48. Para calcular el contenido de plomo.

1. $6.11 - 0.00 = 6.11 \mu\text{g}/\text{ml}$
2. $6.11 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 50 \text{ ml} = 305.5 \mu\text{g}$
3. $305.5 \mu\text{g} \times 8 = 2444 \mu\text{g}$ de plomo
4. $2444 \mu\text{g} / 2295 \text{ m}^3 = 1.0649 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

ANEXO B

TABLA B-1 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1982. ENCB y CU

	E N C B				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	1.0000	0.7252	0.3131	0.0492	-0.4576
CARBON/ENCB	0.7252	1.0000	0.5617	-0.0324	-0.3716
PLOMO/ENCB	0.3131	0.5617	1.0000	-0.0835	-0.0911
COBRE/ENCB	0.0492	-0.0824	-0.0835	1.0000	0.1851
CADMIO/ENCB	-0.4576	-0.3716	-0.0911	0.1851	1.0000
PST/CU	0.7120	0.4750	0.2116	0.1400	-0.3987
CARBON/CU	0.7129	0.6126	0.2741	-0.0934	-0.4695
PLOMO/CU	0.7203	0.6891	0.3186	-0.1035	-0.5518
COBRE/CU	-0.3605	-0.2749	-0.3201	-0.0723	0.1312
CADMIO/CU	0.0199	0.0010	0.0746	0.5227	0.3265

TABLA B-2 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1982. CU y ENCB

	C U				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	0.7120	0.7129	0.7203	-0.3605	0.0199
CARBON/ENCB	0.4750	0.6126	0.6891	-0.2749	0.0010
PLOMO/ENCB	0.2116	0.2741	0.3186	-0.3201	0.0746
COBRE/ENCB	0.1400	-0.0984	-0.1035	-0.0723	0.5227
CADMIO/ENCB	-0.3987	-0.4695	-0.5518	0.1312	0.3265
PST/CU	1.0000	0.7713	0.6872	-0.2151	-0.1477
CARBON/CU	0.7713	1.0000	0.9149	0.0097	-0.1397
PLOMO/CU	0.6872	0.9149	1.0000	-0.0215	-0.0915
COBRE/CU	-0.2151	0.0097	-0.0215	1.0000	-0.0741
CADMIO/CU	-0.1477	-0.1397	-0.0915	-0.0741	1.0000

TABLA B-3 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1983. ENCB y CU

	PST	CARBON	E N C B		
			PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	1.0000	0.9033	0.7183	-0.8942	0.5813
CARBON/ENCB	0.9033	1.0000	0.9058	-0.6419	0.8433
PLOMO/ENCB	0.7183	0.9058	1.0000	-0.3309	0.7437
COBRE/ENCB	-0.8942	-0.6419	-0.3309	1.0000	-0.3082
CADMIO/ENCB	0.5813	0.8433	0.7437	-0.3082	1.0000
PST/CU	0.9582	0.9875	0.8470	-0.7542	0.7787
CARBON/CU	0.8688	0.9563	0.7603	-0.6880	0.8993
PLOMO/CU	0.5033	0.5757	0.2416	-0.5249	0.7749
COBRE/CU	0.4909	0.2966	-0.1359	-0.7519	0.2993
CADMIO/CU	0.8735	0.9975	0.9076	-0.6001	0.8784

TABLA B-4 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1983. CU y ENCB

	PST	CARBON	C U		
			PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	0.9582	0.8688	0.5033	0.4909	0.8735
CARBON/ENCB	0.9875	0.9563	0.5757	0.2966	0.9975
PLOMO/ENCB	0.8470	0.7603	0.2416	-0.1359	0.9076
COBRE/ENCB	-0.7542	-0.6880	-0.5249	-0.7519	-0.6001
CADMIO/ENCB	0.7787	0.8993	0.7749	0.2993	0.8784
PST/CU	1.0000	0.9556	0.5889	0.3991	0.9761
CARBON/CU	0.9556	1.0000	0.7886	0.5236	0.9621
PLOMO/CU	0.5889	0.7886	1.0000	0.8048	0.6018
COBRE/CU	0.3991	0.5236	0.8048	1.0000	0.2871
CADMIO/CU	0.9761	0.9621	0.6018	0.2871	1.0000

TABLA B-5 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1984. ENCB, CU y TACUBAYA

	PST	CARBON	ENCB PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	1.0000	0.8798	0.4738	0.5575	-0.0852
CARBON/ENCB	0.8798	1.0000	0.2442	0.4005	-0.2121
PLOMO/ENCB	0.4738	0.2442	1.0000	0.4134	-0.3125
COBRE/ENCB	0.5575	0.4005	0.4134	1.0000	0.0219
CADMIO/ENCB	-0.0852	-0.2121	-0.3125	0.0219	1.0000
PST/CU	0.5323	0.5586	0.1575	0.1370	-0.1296
CARBON/CU	0.3316	0.5133	0.1470	0.2223	-0.3095
PLOMO/CU	-0.3348	-0.4183	0.0925	-0.1163	0.1942
COBRE/CU	0.0943	-0.0052	0.2176	0.0889	-0.3374
CADMIO/CU	-0.0050	-0.0093	0.2047	0.1337	-0.2822
PST/TCB*	0.7100	0.6428	0.3806	0.2369	-0.1416
CARBON/TCB*	0.4957	0.5714	0.2796	-0.1459	-0.3903
PLOMO/TCB*	0.4123	0.3276	0.5577	-0.2409	-0.2794
COBRE/TCB*	0.5688	0.3898	0.7635	0.2156	-0.0266
CADMIO/TCB*	-0.1441	-0.2773	0.1239	-0.1127	0.3474

TABLA B-6 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1984. CU, ENCB y TACUBAYA

	PST	CARBON	CU PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	0.5323	0.3316	-0.3348	0.0943	-0.0058
CARBON/ENCB	0.5586	0.5133	-0.4183	-0.0052	-0.0003
PLOMO/ENCB	0.1575	0.1470	0.0925	0.2176	0.2047
COBRE/ENCB	0.1370	0.2223	-0.1163	0.0889	0.1337
CADMIO/ENCB	-0.1296	-0.3095	0.1942	-0.3374	-0.2822
PST/CU	1.0000	0.7680	0.0316	0.1003	-0.2386
CARBON/CU	0.7680	1.0000	0.2479	-0.0695	0.0190
PLOMO/CU	0.0316	0.2479	1.0000	0.2792	0.4454
COBRE/CU	0.1003	-0.0695	0.2792	1.0000	0.4969
CADMIO/CU	-0.2386	0.0190	0.4454	0.4969	1.0000
PST/TCB*	0.8086	0.3969	-0.3755	0.0692	-0.3102
CARBON/TCB*	0.8175	0.4960	-0.1814	0.2999	-0.1357
PLOMO/TCB*	0.1456	-0.1330	-0.1452	0.3661	0.0963
COBRE/TCB*	0.1298	-0.0011	-0.2707	-0.2000	-0.2634
CADMIO/TCB*	-0.5515	-0.7576	0.0529	0.3747	0.3330

TCB* = Tacubaya.

TABLA B-7 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1984. TACUBAYA, ENCB y CU

	T A C U B A Y A				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	0.7100	0.4957	0.4123	0.5688	-0.1441
CARBON/ENCB	0.6428	0.5714	0.3276	0.3898	-0.2773
PLOMO/ENCB	0.3806	0.2796	0.5577	0.7635	0.1239
COBRE/ENCB	0.2369	-0.1459	-0.2409	0.2156	-0.1127
CADMIO/ENCB	-0.1416	-0.3903	-0.2794	-0.0266	0.3473
PST/CU	0.8087	0.8175	0.1456	0.1298	-0.5515
CARBON/CU	0.3969	0.4960	-0.1330	-0.0011	-0.7576
PLOMO/CU	-0.3755	-0.1814	-0.1452	-0.2707	0.0529
COBRE/CU	0.0692	0.2999	0.3660	-0.2000	0.3747
CADMIO/CU	-0.3102	-0.1357	0.0963	-0.2634	0.3330
PST/TCB*	1.0000	0.8285	0.3810	0.4243	-0.2587
CARBON/TCB*	0.8285	1.0000	0.5792	0.2763	-0.2314
PLOMO/TCB*	0.3810	0.5792	1.0000	0.6519	0.3989
COBRE/TCB*	0.4243	0.2763	0.6519	1.0000	0.1086
CADMIO/TCB*	-0.2587	-0.2314	0.3989	0.1086	1.0000

TABLA B-8 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1985. ENCB, CU y TACUBAYA

	E N C B				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	1.0000	0.2388	-0.1109	0.8608	0.1889
CARBON/ENCB	0.2388	1.0000	0.9386	0.6997	-0.9085
PLOMO/ENCB	-0.1109	0.9386	1.0000	0.4102	-0.9969
COBRE/ENCB	0.8608	0.6997	0.4102	1.0000	-0.3371
CADMIO/ENCB	0.1889	-0.9085	-0.9969	-0.3371	1.0000
PST/CU	0.9590	-0.0461	-0.3879	0.6814	0.4594
CARBON/CU	-0.1120	0.9382	1.0000	0.4092	-0.9970
PLOMO/CU	-0.3379	0.8332	0.9728	0.1880	-0.9880
COBRE/CU	0.5390	0.9466	0.7773	0.8926	-0.7253
CADMIO/CU	-0.6397	-0.8991	-0.6929	-0.9418	0.6339
PST/TCB*	0.2906	0.9985	0.9187	0.7371	-0.8847
CARBON/TCB*	0.1599	0.9967	0.9633	0.6399	-0.9391
PLOMO/TCB*	0.8276	0.7426	0.4660	0.9980	-0.3948
COBRE/TCB*	0.6352	0.9017	0.6971	0.9398	-0.6384
CADMIO/TCB*	0.3243	-0.8411	-0.9761	-0.2021	0.9902

TCB* = Tacubaya.

TABLA B-9 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1985. CU, ENCB y TACUBAYA

	C U				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	0.9590	-0.1120	-0.3380	0.5390	-0.6397
CARBON/ENCB	-0.0461	0.9382	0.8332	0.9466	-0.8991
PLOMO/ENCB	-0.3879	1.0000	0.9728	0.7773	-0.6929
COBRE/ENCB	0.6814	0.4092	0.1880	0.8926	-0.9418
CADMIO/ENCB	0.4594	-0.9970	-0.9880	-0.7253	0.6339
PST/CU	1.0000	-0.3890	-0.5907	0.2783	-0.3957
CARBON/CU	-0.3890	1.0000	0.9731	0.7766	-0.6921
PLOMO/CU	-0.5907	0.9731	1.0000	0.6106	-0.5072
COBRE/CU	0.2783	0.7766	0.6106	1.0000	-0.9922
CADMIO/CU	-0.3957	-0.6921	-0.5072	-0.9922	1.0000
PST/TCB*	0.0076	0.9182	0.8023	0.9626	-0.9213
CARBON/TCB*	-0.1263	0.9630	0.8750	0.9176	-0.8610
PLOMO/TCB*	0.6347	0.4650	0.2485	0.9188	-0.9608
COBRE/TCB*	0.3903	0.6963	0.5122	0.9929	-0.9999
CADMIO/TCB*	0.5790	-0.9763	-0.9999	-0.6219	0.5196

TABLA B-10 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1985. TACUBAYA, ENCB y CU

	T A C U B A Y A				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	0.2906	0.1599	0.8276	0.6352	0.3243
CARBON/ENCB	0.9985	0.9967	0.7426	0.9017	-0.8411
PLOMO/ENCB	0.9187	0.9633	0.4660	0.6971	-0.9761
COBRE/ENCB	0.7371	0.6399	0.9981	0.9398	-0.2021
CADMIO/ENCB	-0.8847	-0.9391	-0.3948	-0.6384	0.9901
PST/CU	0.0076	-0.1263	0.6347	0.3903	0.5790
CARBON/CU	0.9182	0.9630	0.4650	0.6963	-0.9763
PLOMO/CU	0.8023	0.8750	0.2485	0.5122	-0.9999
COBRE/CU	0.9626	0.9176	0.9188	0.9929	-0.6220
CADMIO/CU	-0.9213	-0.8610	-0.9608	-0.9999	0.5196
PST/TCB*	1.0000	0.9910	0.7776	0.9236	-0.8108
CARBON/TCB*	0.9909	1.0000	0.6863	0.8640	-0.8319
PLOMO/TCB*	0.7776	0.6863	1.0000	0.9592	-0.2625
COBRE/TCB*	0.9236	0.8639	0.9592	1.0000	-0.5246
CADMIO/TCB*	-0.8108	-0.8819	-0.2625	-0.5246	1.0000

TCB* = Tacubaya.

TABLA B-11 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1986. ENCB, CU y TACUBAYA

	E N C B				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	1.0000	0.6538	0.4576	0.8729	0.8005
CARBON/ENCB	0.6538	1.0000	0.8704	0.7249	0.8295
PLOMO/ENCB	0.4576	0.8704	1.0000	0.6510	0.6946
COBRE/ENCB	0.8729	0.7249	0.6510	1.0000	0.8233
CADMIO/ENCB	0.8005	0.8295	0.6946	0.8233	1.0000
PST/CU	0.8925	0.8053	0.4977	0.8571	0.8350
CARBON/CU	0.7238	0.3096	0.1505	0.7991	0.6008
PLOMO/CU	0.5414	0.3701	0.1880	0.7003	0.7033
COBRE/CU	0.8045	0.5133	0.4408	0.9405	0.6054
CADMIO/CU	0.5993	0.7014	0.5523	0.7929	0.7739
PST/TCB*	0.3758	0.0606	0.2135	0.5158	0.3712
CARBON/TCB*	0.4731	0.3467	0.4388	0.7300	0.5449
PLOMO/TCB*	0.2130	0.3044	0.5064	0.5595	0.4630
COBRE/TCB*	0.4271	0.1682	0.3162	0.4728	0.4855
CADMIO/TCB*	0.3363	0.6296	0.7294	0.7191	0.5892

TABLA B-12 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1986. CU, ENCB y TACUBAYA

	C U				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	0.8925	0.7238	0.5414	0.8045	0.5993
CARBON/ENCB	0.8053	0.3096	0.3701	0.5133	0.7014
PLOMO/ENCB	0.4977	0.1505	0.1880	0.4408	0.5523
COBRE/ENCB	0.8571	0.7991	0.7003	0.9405	0.7929
CADMIO/ENCB	0.8350	0.6008	0.7033	0.6054	0.7739
PST/CU	1.0000	0.7070	0.6634	0.7629	0.7674
CARBON/CU	0.7070	1.0000	0.8421	0.8098	0.5418
PLOMO/CU	0.6634	0.8421	1.0000	0.6493	0.7746
COBRE/CU	0.7629	0.8098	0.6493	1.0000	0.7318
CADMIO/CU	0.7674	0.5418	0.7746	0.7318	1.0000
PST/TCB*	0.1885	0.3595	0.4736	0.5882	0.5766
CARBON/TCB*	0.4315	0.5138	0.6530	0.7678	0.8148
PLOMO/TCB*	0.2118	0.3063	0.5502	0.5463	0.7273
COBRE/TCB*	0.2043	0.2331	0.3817	0.4598	0.5358
CADMIO/TCB*	0.4760	0.3831	0.5736	0.6622	0.8468

TCB* = Tacubaya.

TABLA B-13 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1986. TACUBAYA, ENCB y CU

	T A C U B A Y A				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	0.3758	0.4731	0.2130	0.4271	0.3363
CARBON/ENCB	0.0606	0.3467	0.3044	0.1682	0.6296
PLOMO/ENCB	0.2135	0.4388	0.5064	0.3162	0.7294
COBRE/ENCB	0.5158	0.7300	0.5595	0.4728	0.4855
CADMIO/ENCB	0.3712	0.5449	0.4630	0.4855	0.5892
PST/CU	0.1885	0.4315	0.2118	0.2043	0.4760
CARBON/CU	0.3595	0.5138	0.3063	0.2331	0.3831
PLOMO/CU	0.4736	0.6530	0.5502	0.3817	0.5736
COBRE/CU	0.5882	0.7678	0.5463	0.4598	0.6622
CADMIO/CU	0.5766	0.8148	0.7273	0.5358	0.8468
PST/TCB*	1.0000	0.9139	0.8462	0.9458	0.5760
CARBON/TCB*	0.9139	1.0000	0.9359	0.8169	0.8383
PLOMO/TCB*	0.8462	0.9359	1.0000	0.7722	0.8811
COBRE/TCB*	0.9457	0.8169	0.7722	1.0000	0.4909
CADMIO/TCB*	0.5760	0.8383	0.8811	0.4909	1.0000

TABLA B-14 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES
EFM DE 1987. ENCB, CU y TACUBAYA

	E N C B				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	1.0000	0.6919	0.5415	0.5789	0.2218
CARBON/ENCB	0.6919	1.0000	0.8450	0.8558	0.2785
PLOMO/ENCB	0.5415	0.8450	1.0000	0.6870	0.0337
COBRE/ENCB	0.5789	0.8558	0.6870	1.0000	0.3502
CADMIO/ENCB	0.2218	0.2785	0.0337	0.3502	1.0000
PST/CU	0.5768	0.6505	0.4086	0.7540	0.1872
CARBON/CU	0.4605	0.6484	0.5496	0.6648	0.2278
PLOMO/CU	0.2961	0.5116	0.7456	0.4844	-0.1721
COBRE/CU	-0.1542	0.5001	0.3860	0.2967	-0.1033
CADMIO/CU	0.6207	0.7420	0.6171	0.5873	0.2232
PST/TCB*	0.8606	0.6050	0.4512	0.5985	0.2562
CARBON/TCB*	0.5123	0.7518	0.7086	0.6264	0.1640
PLOMO/TCB*	0.3987	0.7662	0.8929	0.6137	-0.2674
COBRE/TCB*	0.2293	0.3632	0.6106	0.3238	-0.0902
CADMIO/TCB*	0.6266	0.7547	0.6231	0.6024	0.2341

TCB* = Tacubaya.

TABLA B-15 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES EFM DE 1987. CU, ENCB y TACUBAYA

	C U				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	0.5768	0.4604	0.2961	-0.1542	0.6207
CARBON/ENCB	0.6505	0.6484	0.5116	0.5001	0.7420
PLOMO/ENCB	0.4086	0.5496	0.7456	0.3860	0.6170
COBRE/ENCB	0.7540	0.6648	0.4844	0.2967	0.5872
CADMIO/ENCB	0.1872	0.2278	-0.1721	0.1033	0.2232
PST/CU	1.0000	0.7169	0.4532	0.2608	0.6466
CARBON/CU	0.7169	1.0000	0.5624	0.4041	0.4450
PLOMO/CU	0.4532	0.5624	1.0000	0.1858	0.6723
COBRE/CU	0.2608	0.4041	0.1858	1.0000	0.1873
CADMIO/CU	0.6466	0.4450	0.6723	0.1873	1.0000
PST/TCB*	0.7502	0.5511	0.2651	-0.1073	0.5370
CARBON/TCB*	0.6032	0.9326	0.6113	0.4846	0.5348
PLOMO/TCB*	0.5272	0.6286	0.8107	0.5851	0.5918
COBRE/TCB*	0.1917	0.6949	0.6844	0.1659	0.2287
CADMIO/TCB*	0.6582	0.4584	0.6690	0.1990	0.9997

TABLA B-16 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES EFM DE 1987. TACUBAYA, ENCB y CU

	T A C U B A Y A				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	0.8606	0.5123	0.3987	0.2293	0.6266
CARBON/ENCB	0.6050	0.7518	0.7662	0.3632	0.7547
PLOMO/ENCB	0.4512	0.7086	0.8929	0.6106	0.6231
COBRE/ENCB	0.5985	0.6264	0.6137	0.3238	0.6024
CADMIO/ENCB	0.2562	0.1640	-0.2674	-0.0901	0.2341
PST/CU	0.7502	0.6032	0.5272	0.1917	0.6582
CARBON/CU	0.5511	0.9326	0.6286	0.6949	0.4584
PLOMO/CU	0.2651	0.6113	0.8107	0.6844	0.6690
COBRE/CU	-0.1073	0.4846	0.5851	0.1659	0.1990
CADMIO/CU	0.5370	0.5348	0.5918	0.2287	0.9997
PST/TCB*	1.0000	0.5725	0.3511	0.2970	0.5445
CARBON/TCB*	0.5725	1.0000	0.7342	0.7942	0.5452
PLOMO/TCB*	0.3511	0.7342	1.0000	0.5966	0.5973
COBRE/TCB*	0.2970	0.7926	0.5966	1.0000	0.2293
CADMIO/TCB*	0.5445	0.5452	0.5973	0.2293	1.0000

TCB* = Tacubaya.

TABLA B-17 MATRIZ DE CORRELACION EN REGRESION LINEAL PARA LOS DATOS TRIMESTRALES EFM DE 1982 a 1987 EN LAS ESTACIONES ENCB, CU Y TACUBAYA.

	E N C B				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/ENCB	1.0000	0.6141	0.3360	0.3531	-0.1131
CARBON/ENCB	0.6141	1.0000	0.7084	0.3508	0.1206
PLOMO/ENCB	0.3360	0.7084	1.0000	0.4119	0.0685
COBRE/ENCB	0.3531	0.3508	0.4119	1.0000	0.1199
CADMIO/ENCB	-0.1131	0.1206	0.0685	0.1199	1.0000

	C U				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/CU	1.0000	0.7722	0.6900	0.2582	0.1265
CARBON/CU	0.7722	1.0000	0.7922	0.4053	0.1157
PLOMO/CU	0.6900	0.7922	1.0000	0.4610	0.2393
COBRE/CU	0.2582	0.4053	0.4610	1.0000	0.1464
CADMIO/CU	0.1265	0.1157	0.2393	0.1464	1.0000

	T A C U B A Y A				
	PST	CARBON	PLOMO	COBRE	CADMIO
PST/TCB*	1.0000	0.4505	0.2204	0.3921	-0.1499
CARBON/TCB*	0.4505	1.0000	0.6690	0.4017	0.0175
PLOMO/TCB*	0.2204	0.6690	1.0000	0.3387	0.4116
COBRE/TCB*	0.3921	0.4017	0.3387	1.0000	-0.0052
CADMIO/TCB*	-0.1499	0.0175	0.4116	-0.0052	1.0000

TCB* = Tacubaya