

EVALUACION DE LA CALIDAD DEL
AIRE DEL VALLE DE MEXICO

M. en C. Vicente Fuentes Gea^{* **}

Dr. Alfonso García Gutiérrez^{**}

Colaboradores

Ing. Reynaldo Nelson Montes Montes^{***}

Ing. Marta Irene Herédia Divizia^{***}

• Jefe del Proyecto

** Profesor Titular , DEPFI, UNAM

*** Alumno de la Maestría en Ingeniería Ambiental, DEPFI, UNAM

Septiembre de 1989

I N D I C E

pagina

INDICE

LISTA DE CONTENIDOS

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1.	INTRODUCCION	1
CAPITULO 2.	DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	4
CAPITULO 3.	GENERACION DE LA BASE DE DATOS	14
CAPITULO 4.	MANEJO DE LA INFORMACION	20
CAPITULO 5.	ANALISIS DE FRECUENCIAS Y DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO Y CONTAMINANTES GASEOSOS	77
CAPITULO 6.	NIVELES INTERNACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE	117
CAPITULO 7.	FUENTES EMISORAS DE CONTAMINACION	145
CAPITULO 8.	EFFECTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA	167
CAPITULO 9.	IDENTIFICACION DE LAS MEDIDAS DE CONTROL Y PREVENCION	186
CAPITULO 10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	197
REFERENCIAS		

LISTA DE CONTENIDOS

CAPITULO	pagina
1. INTRODUCCION	1
2. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	4
3. GENERACION DE LA BASE DE DATOS	14
3.1. Características de la base de datos.	15
3.2. Operaciones con la base de datos.	16
4. MANEJO DE LA INFORMACION	20
4.1. Análisis de frecuencias y distribución espacial de las concentraciones de partículas suspendidas.	22
4.2. Estimación preliminar de tendencias.	35
4.2.1. Tendencias anuales.	38
4.2.2. Otras tendencias.	57
5. ANALISIS DE FRECUENCIAS Y DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO Y CONTAMINANTES GASEOSOS	77
5.1. Plomo.	78
5.2. Monóxido de carbono.	89
5.3. Dióxido de azufre.	96
5.4. Ozono.	103
5.5. Oxidos de nitrógeno.	110
6. NIVELES INTERNACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE	117
6.1. Normas de calidad del aire.	117
6.2. Niveles de contaminación atmosférica.	130
6.2.1. Oxidos de azufre.	131
6.2.2. Oxidos de nitrógeno.	134
6.2.3. Monóxido de carbono.	137

6.2.4. Oxidantes.	138
6.2.5. Partículas suspendidas totales.	140
7. FUENTES EMISORAS DE CONTAMINACION	145
7.1. Fuentes fijas.	145
7.2. Fuentes móviles.	155
7.3. Fuentes naturales.	165
8. EFECTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA	167
8.1. Efectos sobre la salud humana.	167
8.1.1. Episodios de contaminación severa.	169
8.1.2. Efectos específicos de los óxidos de azufre.	174
8.1.3. Efectos específicos del monóxido de carbono.	175
8.1.4. Efectos específicos de los óxidos de nitrógeno.	177
8.1.5. Efectos específicos por el ozono y otros oxidantes.	178
8.1.6. Efectos específicos por las partículas suspendidas	180
8.2. Efectos en la vegetación.	183
8.3. Efectos en los materiales.	184
9. IDENTIFICACION DE LAS MEDIDAS DE CONTROL Y PREVENCION	186
9.1. Medidas de carácter técnico.	186
9.2. Recomendaciones a la población en general.	193
9.3. Recomendaciones generales a las industrias.	195
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	197

REFERENCIAS

LISTA DE FIGURAS

Figura No.	pagina
2.1. Distribución del Area de Estudio en el Valle de México.	5
3.1. Diagrama de Generación de Archivos	19
4.1. Distribución de las Estaciones de la Red Manual de Monitoreo Atmosférico del Valle de México.	21
4.2. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Cuchilla.	24
4.3. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Felipe Angeles.	24
4.4. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Aeropuerto.	25
4.5. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Nezahualcoyotl.	25
4.6. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Portales.	26
4.7. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación La Villa.	26
4.8. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Lomas.	27
4.9. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Mariano Escobedo.	27
4.10. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Secretaria de Hacienda.	28

4.11. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Xalostoc.	28
4.12. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Taxqueña.	29
4.13. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Vicentina.	29
4.14. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación La Presa.	30
4.15. Distribución Acumulativa de Concentraciones de P.S.T. Estación Museo.	30
4.16. Curvas de Isoconcentración de PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Promedio Geométrico Anual.	33
4.17. Curvas de Isofrecuencia (%), Con Que Se Excede la Norma Mexicana de PST.	34
4.18. Representación Tridimensional de los Niveles de contaminación por Partículas Suspendidas en el Valle de México.	37
4.19. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST. Estación Aeropuerto.	43
4.20. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST. Estación Nezahualcoyotl.	44
4.21. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST. Estación Cuchilla.	45
4.22. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST. Estación La Presa.	46

F-DCPTT
M 0001
1989



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

EVALUACION DE LA CALIDAD DEL

AIRE DEL VALLE DE MEXICO

INFORME FINAL

PRESENTADO A:

SEGUROS AMERICA S.A.

POR

DIVISION DE ESTUDIOS DE

POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

DE LA UNAM

SEPTIEMBRE DE 1989

4.23. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST.	47
Estación Museo.	
4.24. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST.	48
Estación Taxqueña.	
4.25. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST.	49
Estación Vicentina.	
4.26. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST.	50
Estación Lomas.	
4.27. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST.	51
Estación Mariano Escobedo.	
4.28. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST.	52
Estación Secretaria de Hacienda.	
4.29. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST.	53
Estación Xalostoc.	
4.30. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST.	54
Estación Portales.	
4.31. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST.	55
Estación Villa.	
4.32. Tendencias de los Niveles de Contaminación de PST.	56
Estación Felipe Angeles.	
5.1. Concentración de Pb en Gasolina y Aire. Valle de	81
México (1980-1987).	
5.2. Variación Mensual de las Concentraciones de Plomo	84
en el Valle de México ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), en 1986.	
5.3. Concentración de Plomo en Aire Según Día de la Semana.	85

5.4.	Concentración de Pb en Aire Según Día de la Semana en C.U.	86
5.5.	Concentración de Plomo Según Día de la Semana. (Datos de SEDUE)	87
5.6.	Líneas de Isoconcentración de Plomo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el Valle de México. Promedio Geométrico Anual (1986).	88
5.7.	Niveles de Contaminación por CO.	90
5.8.	Niveles de Contaminación por CO.	92
5.9.	Distribución Acumulativa de Concentraciones de CO (Período '86-'87) Estación Tlalnepantla.	93
5.10.	Distribución Acumulativa de Concentraciones de CO (Período '86-'87) Estación Merced.	94
5.11.	Distribución Acumulativa de Concentraciones de CO (Período '86-'87) Estación Xalostoc.	94
5.12.	Distribución Acumulativa de Concentraciones de CO (Período '86-'87) Estación Pedregal.	95
5.13.	Distribución Acumulativa de Concentraciones de CO (Período '86-'87) Estación Cerro de la Estrella.	95
5.14.	Niveles de Contaminación por SO_2 .	97
5.15.	Niveles de Contaminación por SO_2 .	98
5.16.	Distribución Acumulativa de Concentraciones de SO_2 . Estación Tlalnepantla.	100
5.17.	Distribución Acumulativa de Concentraciones de SO_2 . Estación Merced.	101
5.18.	Distribución Acumulativa de Concentraciones de SO_2 . Estación Xalostoc.	101

5.19. Distribución Acumulativa de Concentraciones de SO_2 . Estación Pedregal.	102
5.20. Distribución Acumulativa de Concentraciones de SO_2 . Estación Cerro de la Estrella.	102
5.21. Distribución Acumulativa de Concentraciones de O_3 . (Período '86-'87). Estación Tlalnepantla.	104
5.22. Distribución Acumulativa de Concentraciones de O_3 . (Período '86-'87). Estación Merced.	105
5.23. Distribución Acumulativa de Concentraciones de O_3 . (Período '86-'87). Estación Xalostoc.	105
5.24. Distribución Acumulativa de Concentraciones de O_3 . (Período '86-'87). Estación Pedregal.	106
5.25. Distribución Acumulativa de Concentraciones de O_3 . (Período '86-'87). Estación Cerro de la Estrella.	106
5.26. Niveles de Contaminación por O_3 .	108
5.27. Niveles de Contaminación por O_3 .	109
5.28. Niveles de Contaminación por NO_2 .	111
5.29. Niveles de Contaminación por NO_2 .	112
5.30. Distribución Acumulativa de Concentraciones de NO_2 . (Período '86-'87). Estación Tlalnepantla.	114
5.31. Distribución Acumulativa de Concentraciones de NO_2 . (Período '86-'87). Estación Merced.	115
5.32. Distribución Acumulativa de Concentraciones de NO_2 . (Período '86-'87). Estación Xalostoc.	115
5.33. Distribución Acumulativa de Concentraciones de NO_2 . (Período '86-'87). Estación Pedregal.	116

5.34.	Distribución Acumulativa de Concentraciones de NO ₂ . (Periodo '86-'87). Estación Cerro de la Estrella.	116
6.1.	Comparación de la Norma Mexicana de Calidad del Aire Con Otras Normas Internacionales.	127
6.2.	Comparación de los Niveles de Contaminación Atmosférica de la Cd. de México Con Otras Ciudades del Mundo.	144
7.1.	Ubicación de las Fuentes Fijas Más Importantes en el Valle de México.	148
7.2.	Tendencias del Crecimiento Poblacional y Vehicular en la Ciudad de México (1960-1987).	156
7.3.	Tendencias en los Niveles de Crecimiento Vehicular en la Ciudad de México.	158
7.4.	Pasajeros Transportados por Autobuses Ruta-100 y METRO en la Ciudad de México (1982-1987	159
7.5.	Densidad de Emisiones Vehiculares en el Valle de México.	164

LISTA DE TABLAS

Tabla No.	pagina
4.1. Resultado del Análisis de Frecuencias	31
4.2. Promedios Anuales de las Concentraciones de P.S.T. entre 1976 y 1984.	39
4.3. Parámetros de las Líneas de Regresión de los Promedios Anuales de P.S.T.	40
4.4. Coeficientes de Correlación de las Líneas de Regresión de los Promedios Anuales de P.S.T.	41
4.5. Promedios de P.S.T. del Primer Semestre (Enero a Junio) entre 1976 y 1984.	59
4.6. Parámetros de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante el Primer Semestre.	60
4.7. Coeficientes de Correlación de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante el Primer Semestre.	61
4.8. Promedios de P.S.T. Durante el Segundo Semestre (Julio a Diciembre) entre 1976 y 1984.	62
4.9. Parámetros de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante el Segundo Semestre.	63
4.10. Coeficientes de Correlación de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante el Segundo Semestre.	64
4.11. Promedios de P.S.T. en la Temporada de Primavera (Abril a Junio) entre 1976 y 1984.	65
4.12. Parámetros de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Primavera.	66

4.13. Coeficientes de Correlación de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Primavera.	67
4.14. Promedios de P.S.T. en la Temporada de Verano (Julio a Septiembre) entre 1976 y 1984.	68
4.15. Parámetros de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Verano.	69
4.16. Coeficientes de Correlación de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Verano.	70
4.17. Promedios de P.S.T. en la Temporada de Otoño (Octubre a Diciembre) entre 1976 y 1984.	71
4.18. Parámetros de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Otoño.	72
4.19. Coeficientes de Correlación de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Otoño.	73
4.20. Promedios de P.S.T. en la Temporada de Invierno (Enero a Marzo) entre 1976 y 1984.	74
4.21. Parámetros de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Invierno.	75
4.22. Coeficientes de Correlación de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Invierno.	76
5.1. Concentraciones Promedio Trimestrales de Plomo en las Zonas de SO y NO del Valle de México.	80
5.2. Promedios Geométricos Anuales de Plomo para Algunas Ciudades del Mundo.	80
6.1.a. Normas de Calidad del Aire Internacionales para Dióxido de Azufre (como SO ₂).	118

6.1.b. Normas de Calidad del Aire Internacionales para Dióxido de Nitrógeno (como NO_x).	120
6.1.c. Normas de Calidad del Aire Internacionales para Hidrocarburos (como HC).	120
6.1.d. Normas de Calidad del Aire Internacionales para Monóxido de Carbono (como CO).	123
6.1.e. Normas de Calidad del Aire Internacionales para Humos.	125
6.1.f. Normas de Calidad del Aire Internacionales para Oxidantes (como O_3).	125
6.1.g. Normas de Calidad del Aire Internacionales para Partículas Suspendidas Totales (como P.S.T.).	128
6.1.h. Normas de Calidad del Aire Internacionales para Plomo.	129
6.2. Niveles Internacionales de Contaminación Atmosférica por Dióxido de Azufre (como SO_2).	132
6.3. Niveles Internacionales de Contaminación Atmosférica por Dióxido de Nitrógeno (como NO_x).	135
6.4. Niveles Internacionales de Contaminación Atmosférica por Monóxido de Carbono (como CO).	135
6.5. Niveles Internacionales de Contaminación Atmosférica por Oxidantes (como O_3).	139
6.6. Niveles Internacionales de Contaminación Atmosférica por Partículas Suspendidas Totales (como P.S.T.).	141
7.1. Consumo de Energéticos en la Zona Metropolitana del Valle de México (en millones de barriles equivalentes por año).	152

- 7.2. Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera por el Uso de 153
Combustibles, para 1988 (en miles de toneladas anuales).
- 7.3. Emisiones de Contaminantes por los Diferentes Procesos 154
Industriales (en miles de toneladas anuales).
- 7.4. Vehículos de Motor en el Distrito Federal, Totales por 160
Año.
- 7.5. Vehículos Automotores Livianos Registrados en la Ciudad 162
de México por Delegaciones Políticas en el Año de 1987.
- 7.6. Vehículos Automotores Pesados Registrados en la Ciudad 163
México por Delegaciones Políticas en el Año de 1987.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Debido al rápido crecimiento urbano e industrial de la Ciudad de México durante los últimos 20 años, se ha presentado un incremento notable en los niveles de contaminación atmosférica que se generan en la zona y, como consecuencia de lo anterior, diferentes sectores de la población han tomado conciencia de la magnitud del problema, de manera que actualmente es factible contar con su participación entusiasta en acciones específicas tendientes a su solución.

La gravedad de la situación que padece el Valle de México, sobre todo en la poca invernal, y la necesidad de implantar en el corto y mediano plazo soluciones viables, tanto desde el punto de vista técnico como del económico que reduzcan los

actuales niveles de contaminación, hacen necesario un conocimiento cuantitativo e integral del problema, de forma tal que permita a las autoridades competentes plantear y aplicar las medidas de control más adecuadas y, al público en general, responder eficientemente a dichas medidas.

Por otra parte, la escasa información actualmente disponible y su ineficiente difusión hacen más difícil la participación de otros sectores de la población, que como por ejemplo, el sector industrial, podrían contribuir de una manera más significativa a reducir los niveles de contaminación que prevalecen en el valle.

La preocupación acerca de estos problemas ha rebasado al ámbito científico y de su administración, para convertirse en una demanda social. Es por ello que, Seguros América S.A., estando consciente de la importancia que tiene el problema de contaminación de la Ciudad de México y de la necesidad de contribuir a su solución, como un sector activo de la sociedad, ha tenido la motivación de patrocinar un proyecto de investigación con la colaboración de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, a fin de elaborar un diagnóstico que permita conocer la magnitud real del problema y las acciones necesarias que deberán establecerse para prevenir y controlar los niveles de contaminación atmosférica existentes en el Valle de México.

Asimismo, se ha considerado que la divulgación de los resultados de este estudio a diferentes sectores de la población podrá influir en ellos creando más conciencia sobre la magnitud del problema que se padece, de manera que esto eventualmente repercuta en mejorar la calidad del aire de nuestra ciudad.

Específicamente, el estudio ha sido concebido de manera que permita alcanzar los objetivos que se presentan a continuación:

1.1 Objetivos

a.- Elaborar un diagnóstico sobre la situación actual de la calidad del aire en el Valle de México y de su evolución en los últimos 10 años.

b.- Con base en dicho diagnóstico proponer las medidas técnicas y de tipo administrativo que corresponda tomar a las autoridades con el objeto de abatir los niveles de contaminación en el Valle de México a valores recomendados por normas de calidad del aire nacionales e internacionales; así como las acciones más adecuadas para hacer eficiente la participación del público en coadyuvar a la solución del problema.

c.- Informar a las autoridades y el público sobre la calidad del aire, la metodología utilizada para su determinación, las medidas de prevención y control correspondientes a cada quien y los efectos principales que sobre la salud tiene los diversos contaminantes atmosféricos.

CAPITULO 2

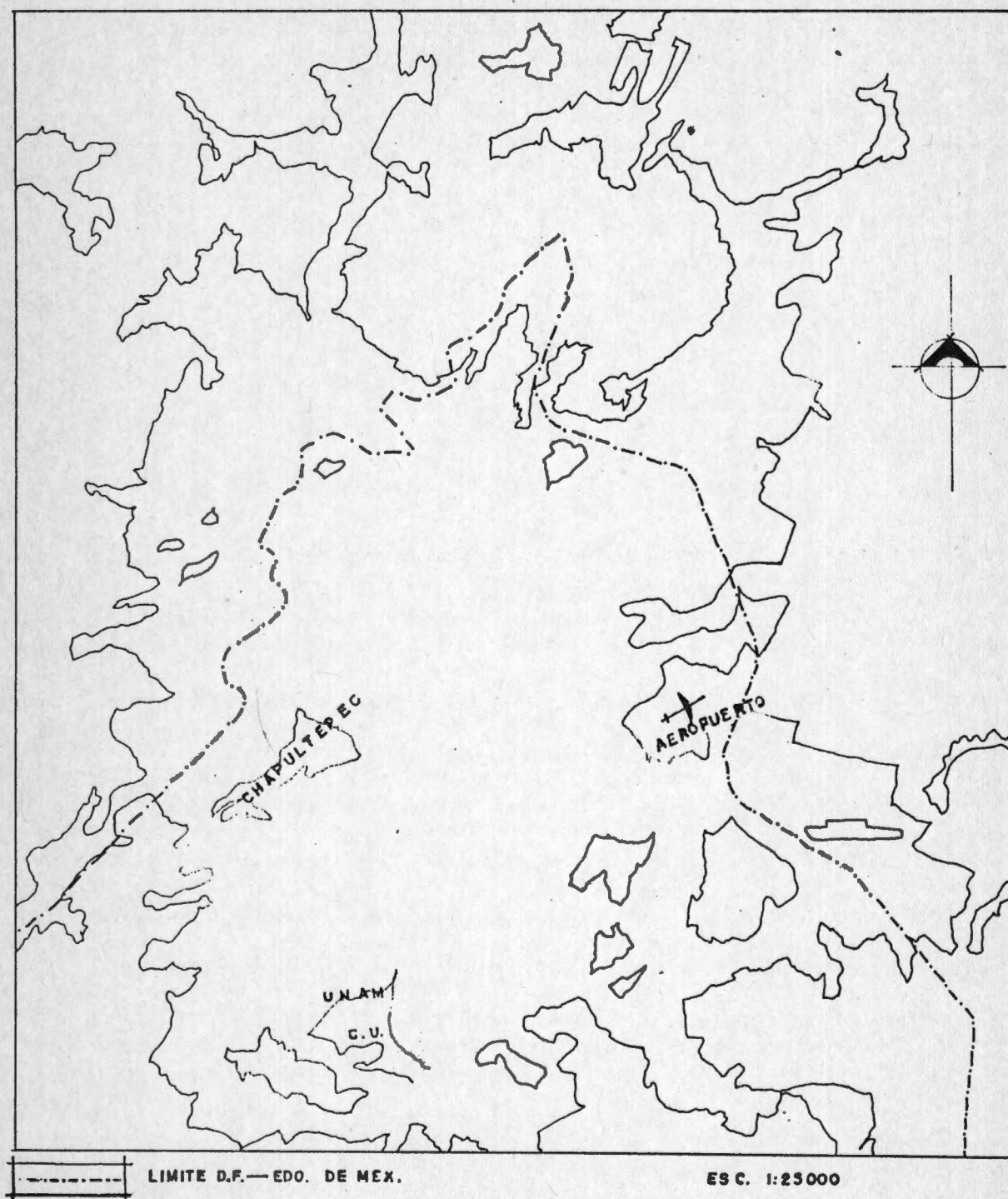
DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona metropolitana de la Ciudad de México está ubicada a una altura promedio, de 2240 metros sobre el nivel del mar, distribuida en la porción sudoccidental de la cuenca del Valle de México, y es en la actualidad uno de los mayores asentamientos humanos del mundo y el primero en Latinoamérica, teniendo una población de aproximadamente 18 millones de habitantes y una tasa total de crecimiento poblacional de cerca del 5 % anual.

Las estimaciones para los próximos años permiten prever una población entre los 25 y 30 millones de habitantes al finalizar el presente siglo, con lo cual la Ciudad de México ocuparía , no únicamente el primer sitio en el mundo en materia poblacional, sino seguramente de no tomar de atenuación de

DELIMITACION DEL AREA DE ESTUDIO EN EL VALLE DE MEXICO .

FIG. 2.1 .



emisiones, también en lo que se refiere al problema de contaminación ambiental, el cual, por ser en esencia un problema de salud pública, tendrá que ser atendido debidamente como una prioridad nacional.

La zona de estudio abarca una superficie de 1287 km² y comprende el Distrito Federal y porciones de los siguientes municipios del estado de México: Huixquilucan, Naucalpan, Chalco, Iztapaluca, Cuautitlan, Atizapán, Tlalnepantla, Tultitlán, Coacalco, Ecatepec, y Nezahualcoyotl. La de limitación de la región se presenta en la figura 2.1.

La mitad de esta área es plana con una altitud superior a los 2200 metros sobre el nivel del mar, interrumpida por pequeñas elevaciones: Al norte, la sierra de Guadalupe y el cerro del Chiquihuite, con altitudes de alrededor de 2600 metros. Al este el cerro de la Estrella, el cerro de San Nicolás y la sierra volcánica de Santa Catarina, aproximadamente en la cota de los 2400 metros. Tanto en la dirección Sur como Oeste el terreno se eleva en las regiones conocidas como Magdalena Contreras, San Jerónimo, San Bernabé y otras zonas como Tacubaya y las Lomas, a alturas que van desde los 2400 metros hasta los 3000 metros.

Las partes bajas de la región son básicamente de origen lacustre y en ellas se encuentran sedimentos de este tipo hasta con mil metros de espesor. El vulcanismo también caracteriza a la región; hay volcanes aislados y sierras volcánicas en el interior de la cuenca y sus bordes.

El hecho de que la zona de estudio se encuentre dentro de un valle rodeado de altas montañas, de una gran altitud sobre el

nivel del mar, tiene implicaciones muy importantes de destacar ya que inciden en la calidad del aire que se respira en el valle.

En primer Lugar, y debido a la gran altitud sobre el nivel del mar, los procesos de combustión se efectúan de manera ineficiente. Esto significa que los combustibles que se utilizan en el valle se queman inadecuadamente, originando un exceso de emisiones con respecto a las que se efectúan al nivel del mar, tanto de monóxido de carbono, como de hidrocarburos y partículas suspendidas de muy variada composición. Un cálculo estequiométrico demuestra que las emisión de estos contaminantes aumenta aproximadamente en un 20% comparado con las emisiones que se producen al nivel del mar.

Por otra parte, la altitud también tiene un efecto de consideración en la cantidad de radiación ultravioleta que se recibe en la zona, la cual se incrementa en proporciones importantes respecto a la que incide al nivel del mar. Como ha sido demostrado, la radiación ultravioleta es el factor principal que promueve el desencadenamiento de las reacciones fotoquímicas que dan origen al llamado "smog fotoquímico", en donde participan los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos reactivos, originando la formación de otros contaminantes denominados "secundarios", siendo entre éstos, el ozono el más conocido por gran parte de la población que vive en la zona del Valle de México.

Además de lo anteriormente mencionado, conviene hacer notar la existencia de otros factores asociados a la altitud y que tienen un impacto negativo sobre la calidad del aire del Valle de México, como lo son la escasa humedad atmosférica que prevalece

en la zona, y el enrarecimiento del aire debido a la menor presión atmosférica existente a estas alturas, los cuales son causa de un rápido enfriamiento de la atmósfera durante las noches debido a la reducción de su capacidad de retener el calor absorbido por el suelo durante el día. Este fenómeno propicia la formación de inversiones térmicas más intensas y frecuentes que las que se presentan en sitios localizados a más bajas altitudes.

Finalmente, y debido a que la zona se encuentra rodeada de altas montañas que impiden una buena ventilación del aire y su movimiento hacia afuera del valle, se ve restringida considerablemente la capacidad de dispersión de los contaminantes descargados en la región, motivando el que éstos sean desalojados más lentamente que en regiones abiertas.

Por supuesto, los factores naturales anteriormente mencionados no son la causa de la contaminación atmosférica que padece el Valle de México, y tampoco son objeto de control alguno por parte del hombre. Dichos fenómenos deben considerarse a la luz de los planes de desarrollo que se tienen contemplados para la zona y sobre todo, con objeto de ayudar a crear la conciencia de que las políticas que en el futuro inmediato se sigan en este sentido deberán, como una prioridad nacional, limitar el crecimiento de la ciudad.

Como toda gran urbe, el área metropolitana de la Ciudad de México presenta características morfológicas de gran contraste. Por una parte el centro de la ciudad tiene numerosos edificios con construcciones elevadas limitadas por algunas avenidas anchas y con altas concentraciones de tráfico vehicular. Al norte se

localizan áreas altamente industrializadas, sobre todo hacia el noroeste, en la zonas de Vallejo, Tlalnepantla y Naucalpan; las cuales se caracterizan por la escases en los espacios verdes y por la existencia de emisiones importantes de contaminantes atmosféricos de todo tipo. El desarrollo urbano del sector oriental se caracteriza por una alta densidad de viviendas de bajo costo para la clase trabajadora, donde la áreas verdes son escasas y pocos árboles sobreviven a su clima semi árido. En general , y sobre todo la perímetro de las zonas norte y este de la ciudad, con escasa planeación y control, han servido como barrio de recepción de migrantes y en ellas se encuentran asentamientos irregulares estructurados principalmente con materiales de construcción de desechos, donde las instalaciones sanitarias son mínimas . Por otra parte , hacia el oeste y el sur, la ciudad se transforma de una manera notable, tanto por una ligera diferencia en el clima, el cual se torna más húmedo, como por la existencia de muchas calles con árboles y algunos parques medianos y grandes, y áreas de recreo. Al oeste y al sur, se han construido extenso centros comerciales en puntos de intersección de vías de comunicación importantes, dentro de las colonias residenciales de la clase alta. En los últimos años se han extendido rápidamente, hacia los suburbios de la ciudad, prácticamente en cualquier dirección, asentamientos precarios mezclados con residencias de clase media carentes de espacios verdes y servicios.

Desde el punto de vista climatológico la ciudad de México tiene un clima semi-seco en el noreste, templado sub-húmedo en el centro y semi-frío y sub-húmedo en las alturas superiores a los

2800 metros. Tiene un régimen de lluvias de verano con una precipitación anual de 720.8 mm , y un porcentaje de lluvia invernal relativamente bajo y poca oscilación térmica anual, aunque muy marcada la diurna. La temperatura anual media es de 15.1 °C; siendo el mes más caliente mayo, con 17.4 °C y el más frío enero con 12.2 °C.

Durante la mitad fría del año; es decir, de noviembre a abril, el Valle de México está sujeto a una alta frecuencia de condiciones anticiclónicas que originan noches casi totalmente despejadas, las cuales dan lugar a la formación de inversiones térmicas superficiales por radiación, y días con abundante radiación solar. El resto del año el flujo se dirige hacia el norte dando lugar a la corriente de vientos alisios, húmeda y frecuentemente inestable. Durante este periodo predominan cielos nublados desde mediodía hasta la medianoche, y a menudo se presentan aguaceros durante la tarde.

En la estación seca (de octubre a mediados de mayo), los suelos arcillosos del ex-lago de Texcoco son erosionados fácilmente por el viento, en especial durante los primeros cuatro meses del año. Durante algunos días en esta época del año, dichos vientos provocan la formación de las tolvaneras, las cuales tienen un impacto importante en la calidad del aire de toda la región.

Una característica muy importante de las zonas urbanas es que éstas desarrollan durante la noche y principalmente en el invierno, lo que se ha denominado "isla de calor". Este fenómeno consiste en que las zonas urbanas, en virtud de los materiales de construcción, retienen un exceso de energía térmica que se

manifiesta por una mayor diferencia de temperaturas que las que caracterizan a las zonas rurales vecinas.

En el caso de la Ciudad de México, a medio día, más del 70 % del tiempo, la ciudad está 1 °C o 2 °C más fría que los suburbios; en cambio al amanecer y principalmente en el invierno, más del 60 % del tiempo la zona urbana se encuentra entre 2 °C y 4 °C más caliente que las áreas rurales.

Es importante mencionar que, como la pérdida de energía térmica nocturna de la atmósfera es más fuerte en noches sin nubes, despejadas y en calma, las cuales prevalecen durante la estación de sequía, son más frecuentes las inversiones térmicas en esta época del año. En la Ciudad de México existen inversiones térmicas aproximadamente 80 % del tiempo en el invierno, y menos de 20 % en el verano.

En ausencia de vientos regionales prevalecen en el Valle de México vientos débiles o aire en calma, principalmente durante la noche y el amanecer. Estos vientos que son convergentes hacia el centro de área urbana son reforzados por la circulación también convergente que induce la isla de calor. Esta circulación de los vientos débiles de montaña se prolonga hasta las 8 ó 9 de la mañana. Después de estas horas, y como resultado de la insolación diferencial entre el centro del valle y su periferia, se establecen hasta aproximadamente la 1 de la tarde, los vientos denominados de "valle" que usualmente tienen una dirección de norte a sur ó noreste a suroeste y velocidades entre 3 y 4 m/s.

Es interesante notar como existe una correlación entre el patrón de vientos anteriormente mencionado y los niveles de contaminación por oxidantes fotoquímicos que padece el Valle de

México, los cuales alcanzan sus niveles máximos en la época invernal, aproximadamente al mediodía, afectando de una manera sobresaliente las regiones situadas al sur y suroeste del valle.

En el aspecto industrial, la zona metropolitana de la Ciudad de México concentra el 25 % de las industrias de todo el país. Existen cerca de 15000 establecimientos industriales, encontrándose entre éstos, 270 de las empresas más grandes del país, y destacando entre ellas alrededor de 70 industrias que generan aproximadamente el 85 % de las emisiones industriales a la atmósfera en la zona. Estas industrias están constituidas principalmente por plantas termoeléctricas, de celulosa y papel, fundiciones diversas, cementeras, plantas químicas y petroquímicas así como una refinería. Lamentablemente, la mayoría de ellas están situadas al norte de la ciudad, de manera que debido a los vientos dominantes existentes en la región y que provienen del norte, el mayor impacto en la calidad del aire se produce en las zonas urbanas de Valle de México, situadas viento abajo de las áreas industriales.

La ciudad de México, como otras ciudades del país, data de la época colonial. De entonces proviene su trazo vial, caracterizado por una cuadrícula a base de calles estrechas que en la actualidad resulta insuficiente para permitir una vialidad ágil. Circulan en el Valle de México casi 3 millones de vehículos de todo tipo, de los cuales el 93 % utiliza gasolina como combustible y casi 7 % diesel. El crecimiento de la población vehicular ha sido errática en los últimos años, como consecuencia de la crisis económica que sufre el país. Se estima que el ritmo actual de crecimiento es de alrededor del 10 %,

pero esta cantidad puede reducirse considerablemente en el futuro próximo si persiste la crisis mencionada.

Uno de los problemas derivados de la circulación de los vehículos es el alto grado de contaminación atmosférica que tiene la ciudad. Fácilmente se puede percibir que muchos vehículos, principalmente los autobuses del servicio público, las motocicletas y los camiones de todo tipo, emiten grandes cantidades de humo y ruido, seguramente rebasando los niveles de contaminación permitidos. Es importante señalar que aproximadamente un 40 % de los vehículos que circulan en el área corresponde a modelos previos al año de 1974, lo cual significa que casi la mitad de los vehículos en circulación no tienen sistemas de control de sus emisiones a la atmósfera.

CAPITULO 3

GENERACION DE LA BASE DE DATOS

Los datos que se capturaron en este estudio provinieron de diversas fuentes de información, aunque la mayor parte de la información utilizada para elaborar el presente informe parcial la proporcionó directamente la Subsecretaría de Ecología de la SEDUE. Fue por lo tanto necesario crear una base de datos que permitiera homogenizarlos en cuanto a la forma de acceso, teniendo como marco de referencia las siguientes características:

- a) Contaminantes evaluados.
- b) Periodos de muestreo, continuos e intermitentes.
- c) Estaciones de monitoreo, manuales y automáticas.

Para tal efecto se decidió utilizar el programa de

computadora denominado "DBASE3 PLUS", el cual, por su accesibilidad comercial y uso casi generalizado, se consideró el más adecuado.

3.1 Características de la base de datos

La base de datos original, es decir, la que se formó sin que previamente se hubiera procesado la información, fue denominada "ALFAYY.dbf", y está integrada con la siguiente estructura básica de registros, campos y amplitudes:

Nombre del Campo	Tipo del Campo	Amplitud
ESTACION	Caracteres	20
FECHA	Fecha	8
PST	Numérico	6
CO	Numérico	6
OZONO	Numérico	6
NO2	Numérico	6
SO2	Numérico	6
HC	Numérico	6

Cada año con los datos de los diferentes contaminantes generó su archivo correspondiente, de tal manera que los datos del año de 1977 se integraron en "ALFA77.dbf"; los del año de 1978 a ALFA78.dbf, y así sucesivamente.

En estos archivos, las concentraciones de partículas suspendidas totales, abreviadas como PST, están en unidades de microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), a las condiciones normales de presión y temperatura; es decir, 760 mm de Hg y 25 °C, mientras que las concentraciones de los contaminantes gaseosos se expresaron en la unidad de medición más comunmente utilizada, esto es, partes por millón por volumen (ppm), la cual por ser una

relación volumétrica tiene la ventaja de que no requiere que se especifiquen de las condiciones de referencia.

3.2. Operaciones con la Base de Datos

A partir de la base de datos inicial (ALFAYY.dbf), se realizaron las siguientes operaciones con los registros anteriormente mencionados, formándose los archivos "secundarios" que se indican en las los incisos correspondientes:

a) Arreglar en orden ascendente, del valor menor al valor mayor, todos los valores de fechas bajo el campo denominado FECHA, con lo que se obtuvo un historial de las fechas de muestreo. Lo anterior se realizó mediante los comandos :

```
USE ALFA77.dbf
```

```
SORT on FECHA, ESTACION, PST to FECHA77.dbf.
```

b) Arreglar en orden ascendente todos los valores de las concentraciones de cada uno de los contaminantes, mediante las siguientes instrucciones :

```
USE ALFA77.dbf
```

```
SORT on PST, ESTACION, FECHA to PST77.dbf.
```

De esta manera, se pudo preparar una lista de concentraciones ordenadas que permitió efectuar, posteriormente, un análisis de frecuencias estadísticas.

c) Formar archivos correspondientes a cada estación de monitoreo, en donde se incluyeron las concentraciones de los diferentes contaminantes muestreados, mediante las siguientes instrucciones :

USE ALFA77.dbf

LOCATE for ESTACION='VILLA' to VILLA77.dbf.

d) Formar grupos de datos entre fechas específicas, como por ejemplo los valores semestrales o estacionales, mediante la instrucción :

USEALFA77.dbf

LOCATE for

FECHA>='01/01/77'.AND.<='31/06/77' to SEMEST77.dbf.

e) Generar promedios mensuales, semestrales, y anuales, produciéndose otros archivos conteniendo cantidades medias que fueron útiles para subsecuentes operaciones, como por ejemplo, el análisis de tendencias y regresión. Para ello se utilizaron los comandos :

USE ALFA77.dbf

AVERAGE on PST for FECHA>='01/07/77'.AND.<='31/07/77'

AVERAGE on PST for ESTACION='Vallejo'.

AND.FECHA>='01/07/77'.

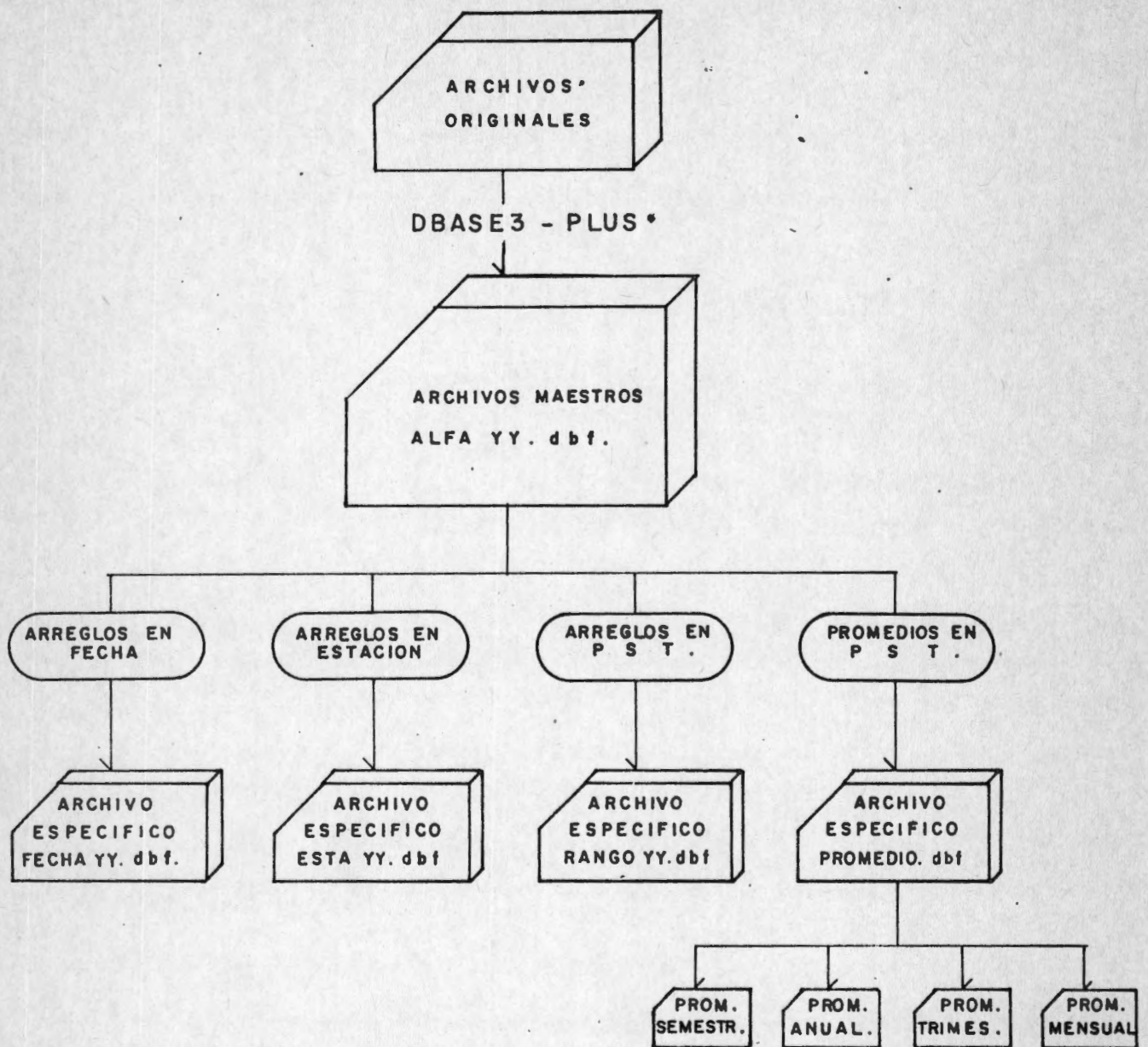
Mediante los datos ordenados con base en una secuencia deseada (ubicación, valores mínimos y máximos, fechas, promedios, etc.) se produjeron listados para cada año de muestreo en donde se incluyeron todos los campos del registro (ESTACION, FECHA, PST, CO, SOx, etc), y los grupos de mayor interés, como por ejemplo, todas las concentraciones de un contaminante de una estación y de una fecha cualquiera que hubiera rebasado un valor específico, como por ejemplo la norma de calidad del aire. Finalmente empleando los archivos básicos (ALFAYY.dbf), se formaron los archivos secundarios (PROMMENS.dbf), con los cuales se vaciaron los datos a otro

formato que permitió el procesamiento de información mediante programas de computadora diferentes a DBASE3. Esto tuvo por objeto realizar un procesamiento adicional de la información con usos más específicos, como por ejemplo la generación de isolíneas de concentración y frecuencias.

En la figura 3.1 se presenta de una manera gráfica el diagrama de generación de los archivos formados en este estudio.

DIAGRAMA DE GENERACION DE ARCHIVOS

FIG. 3.1



CAPITULO 4

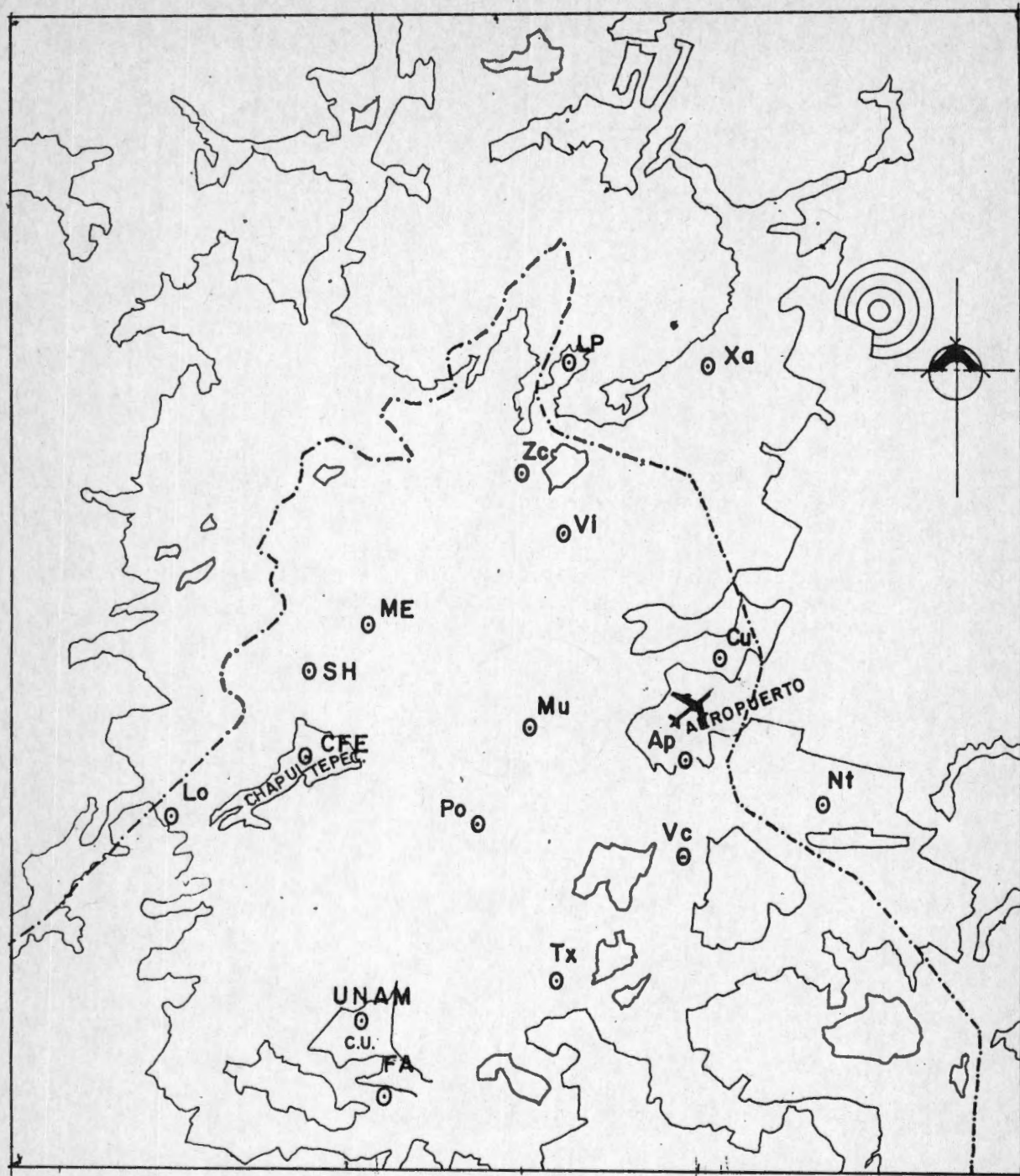
MANEJO DE LA INFORMACION

A partir del año de 1976 la extinta Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, ahora Subsecretaría de Ecología, opera una red de monitoreo manual integrada con dispositivos para el muestreo de PST, denominados "muestreadores de grandes volúmenes". Dicha red está integrada también con "burbujeadores", para la determinación de dióxido de azufre y oxidantes totales. En la actualidad la red de monitoreo consta de 16 estaciones distribuidas la mayor parte en el Distrito Federal. La localización de estas estaciones se presenta en la figura 4.1.

Con base en la información que ha generado esta red en lo referente a las concentraciones de partículas suspendidas totales

DISTRIBUCION DE LAS ESTACIONES DE LA RED MANUAL DE MONITOREO ATMOSFERICO DEL VALLE DE MEXICO .

FIG. 4.1



SIMBOLOGIA

Esc 1:25 000

LP = LA PRESA	Vc = VICENTINA
Xa = XALOSTOC	Tx = TAXQUENA
Zc = ZACATENCO	CFE = MUSEO C.F.E.
Vi = LA VILLA	Lo = LOMAS
Cu = CUCHILLA	Po = PORTALES
ME = MARIANO ESCOBEDO	FA = FELIPE ANGELES
SH = SRIA. DE HACIENDA	Ap = AEROPUERTO
Mu = MUSEO	Nt = NETZAHUALCOYOTL



Limite D.F. — Edo. de México .

durante un período de 7 años, el cual abarca desde junio de 1977 hasta mayo de 1984, se presenta a continuación un análisis de la información el cual incluye las tendencias que han seguido los niveles de contaminación de este contaminante en el período mencionado, su distribución espacial en la zona de estudio y las frecuencias y niveles de contaminación alcanzados. Cabe hacer notar que el presente análisis no incluye una evaluación sobre la información granulométrica de las partículas, su composición química y la relación entre la calidad del aire en la región con las fuentes de emisión y las condiciones meteorológicas que prevalecen en el valle, por lo cual constituye una evaluación preliminar del problema de contaminación de partículas que sufre el Valle de México.

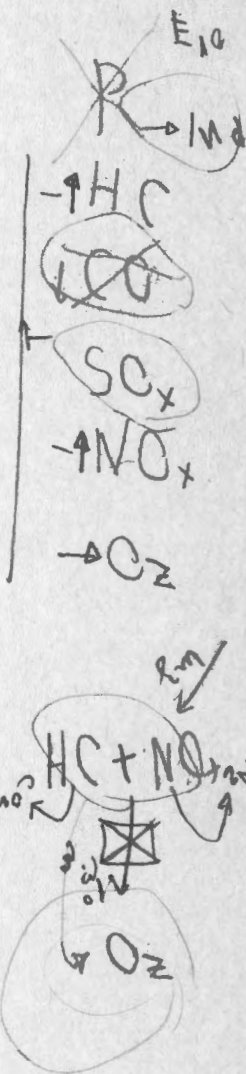
4.1. Análisis de frecuencia y distribución espacial de las concentraciones de partículas suspendidas totales

Con la información capturada correspondiente al período de 7 años anteriormente mencionado y para cada una de las estaciones que integran la red manual de monitoreo, se calcularon los promedios geométricos y desviaciones estándar anuales y las distribuciones de frecuencias de las concentraciones de PST. Es importante señalar que estudios realizados en diferentes ciudades del mundo han demostrado que la distribución de las concentraciones de PST no sigue un comportamiento "gausiano", sino más bien se aproxima a una distribución estadística log-normal. Por este motivo se procedió a un análisis de datos que involucró al logaritmo de las concentraciones, observándose este comportamiento en los datos analizados, como se

muestra gráficamente en las figuras de la 4.2 a la 4.15. En estas figuras se han graficado las frecuencias acumuladas de las concentraciones de PST, en escala probabilística, contra la concentración de PST, en escala logarítmica. Como es bien conocido, una gráfica de datos que proceden de una distribución log-normal se ajustan con precisión a una línea recta utilizando las escalas referidas.

La distribución log-normal que sugieren las figuras mencionadas y que resulta de suma importancia demostrar debido a que permite establecer un grado de confiabilidad a los datos generados por la red manual de monitoreo, fue comprobada realizando ajustes de cada una de estas curvas a la distribución log-normal por el método de los mínimos cuadrados, encontrándose, en todos los casos, coeficientes de correlación muy cercanos a 1. En la tabla 4.1 se presentan en forma resumida los coeficientes de correlación obtenidos, así como la frecuencia con que se excedió la norma de calidad del aire referente a PST ($275 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un período de 24 horas) en las diferentes estaciones que integran la red de, monitoreo manual. Es interesante observar que esta frecuencia alcanzó un valor mínimo de 5 %, en la estación Las Lomas, ubicada en la colonia del mismo nombre, y un valor máximo de 90 %, en la estación Xalostoc, situada al noreste de la zona, como se muestra en la figura 4.1.

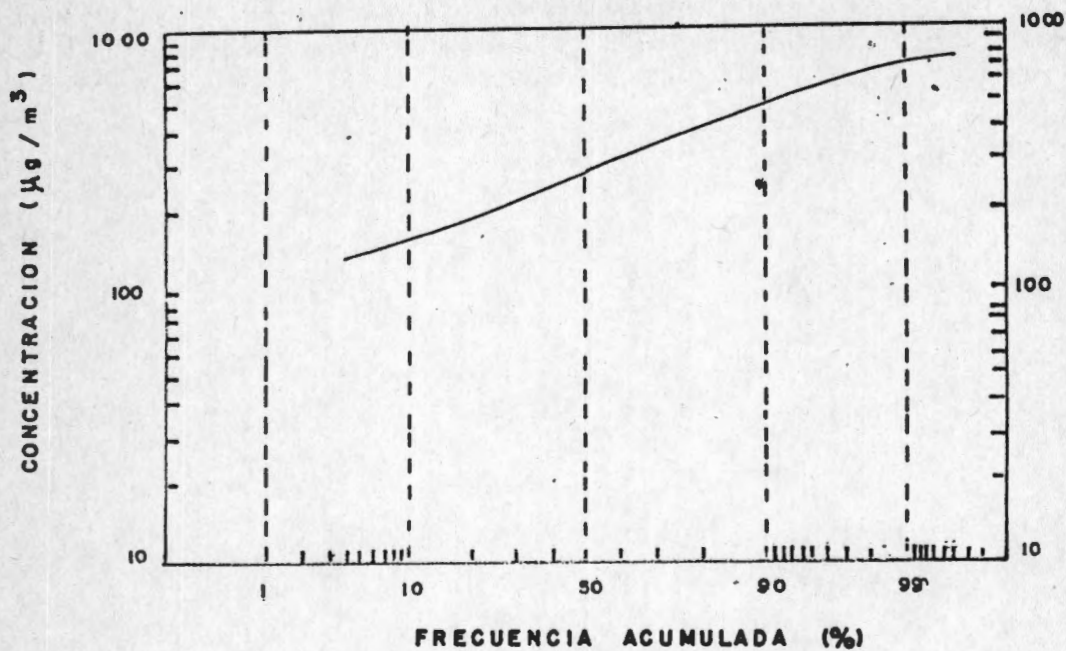
El valor tan exagerado en esta última estación, el cual indican que el 90 % de los días estudiados se rebasó la norma de calidad del aire referida, está señalando la influencia de algún efecto local que no es representativo de la totalidad de la zona urbana, como puede observarse por simple comparación con los



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE P S T .

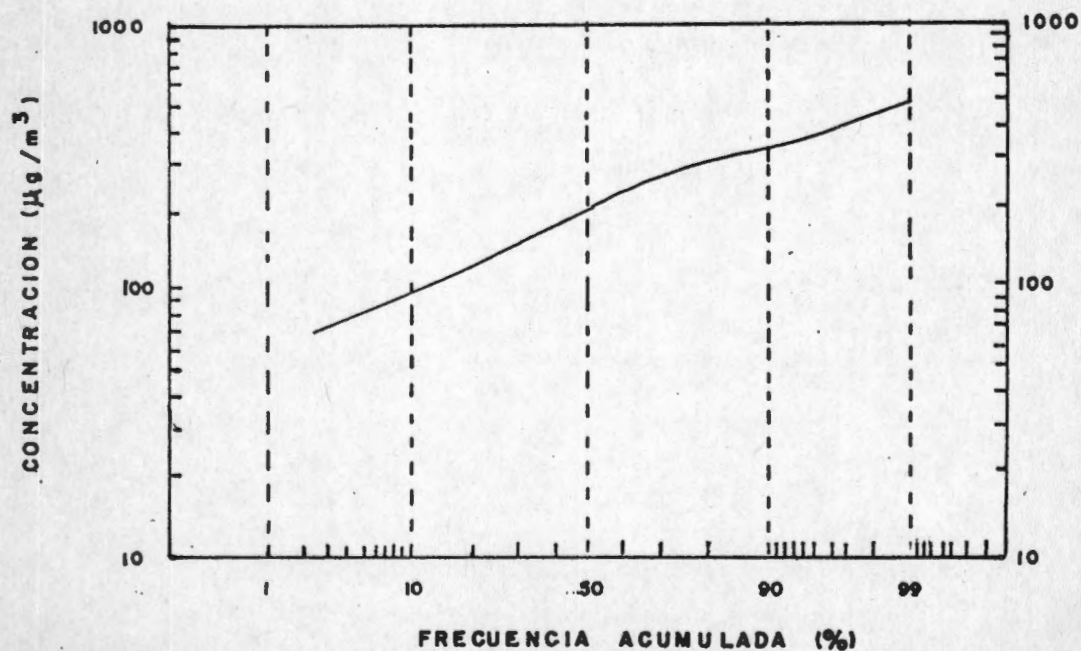
ESTACION : CUCHILLA .

FIG. 4.2



ESTACION : FELIPE ANGELES

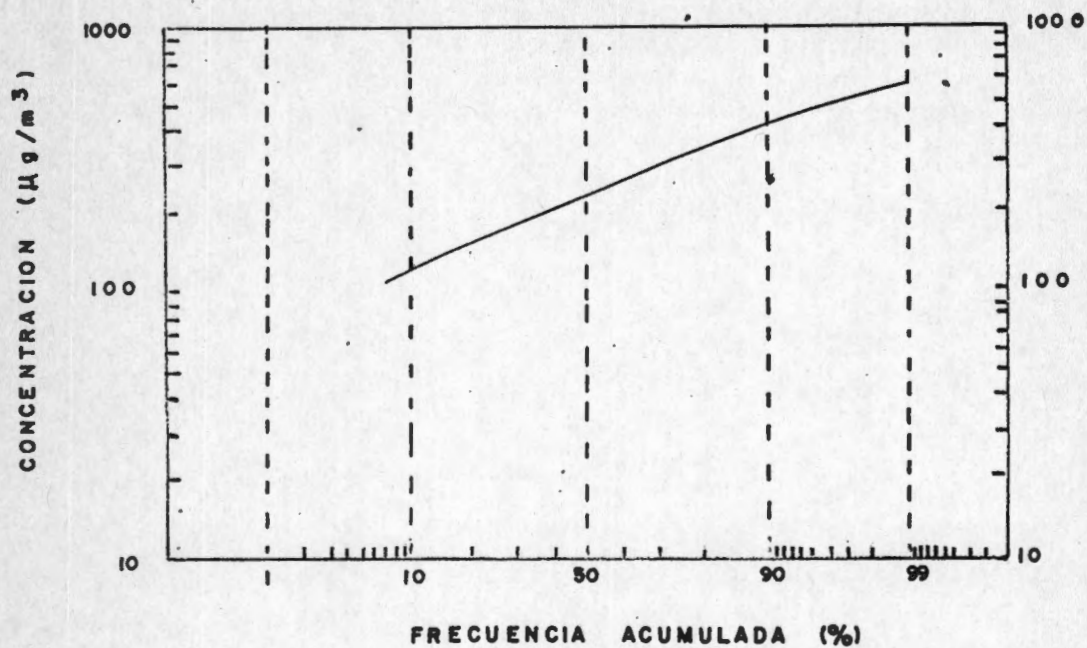
FIG. 4.3



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE P S T.

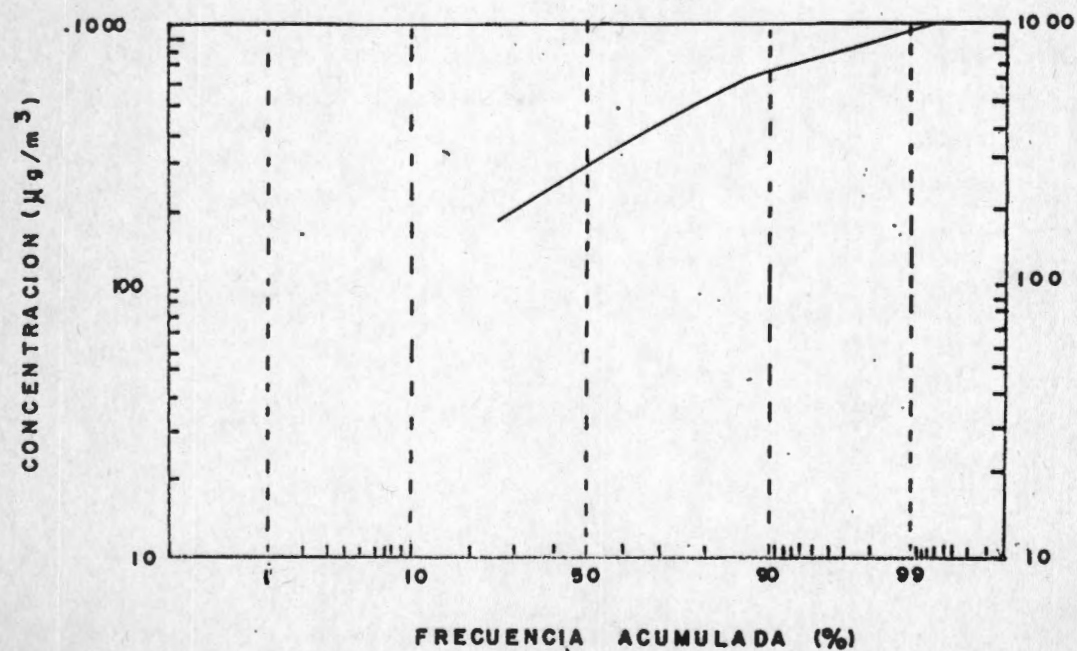
ESTACION : AEROPUERTO

FIG.4.4



ESTACION : NEZAHUALCOYOTL

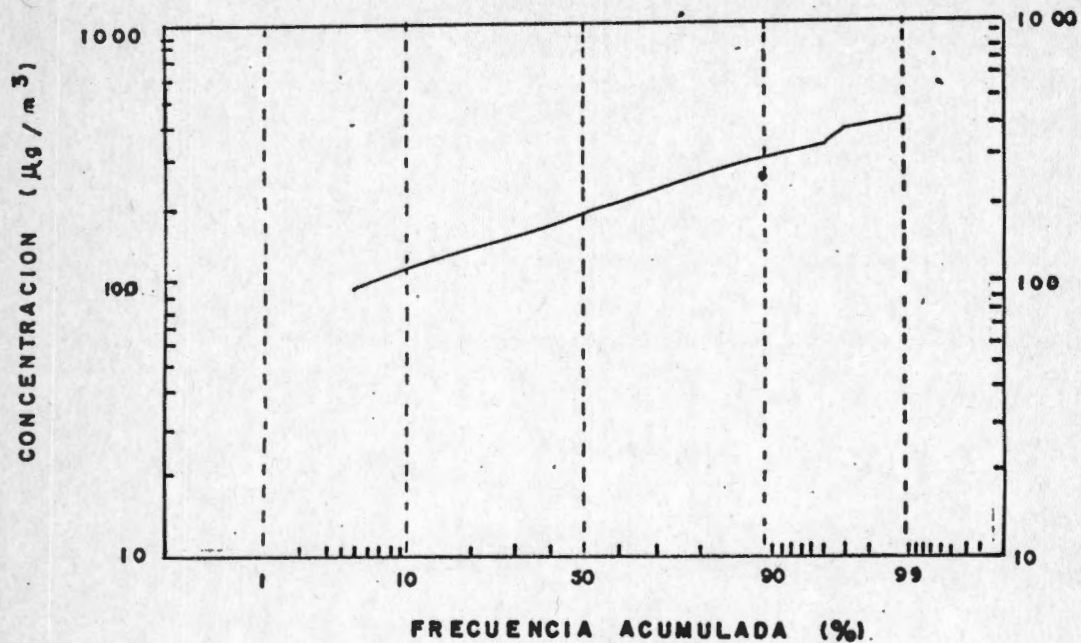
FIG.4.5



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE P S T.

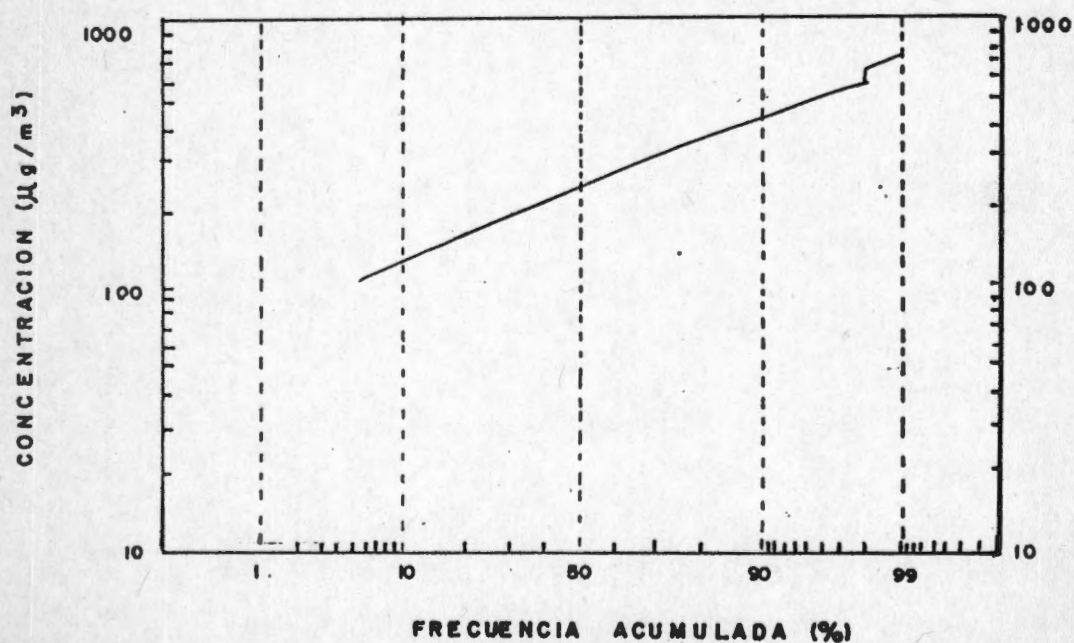
ESTACION : PORTALES .

FIG.4.6



ESTACION : LA VILLA

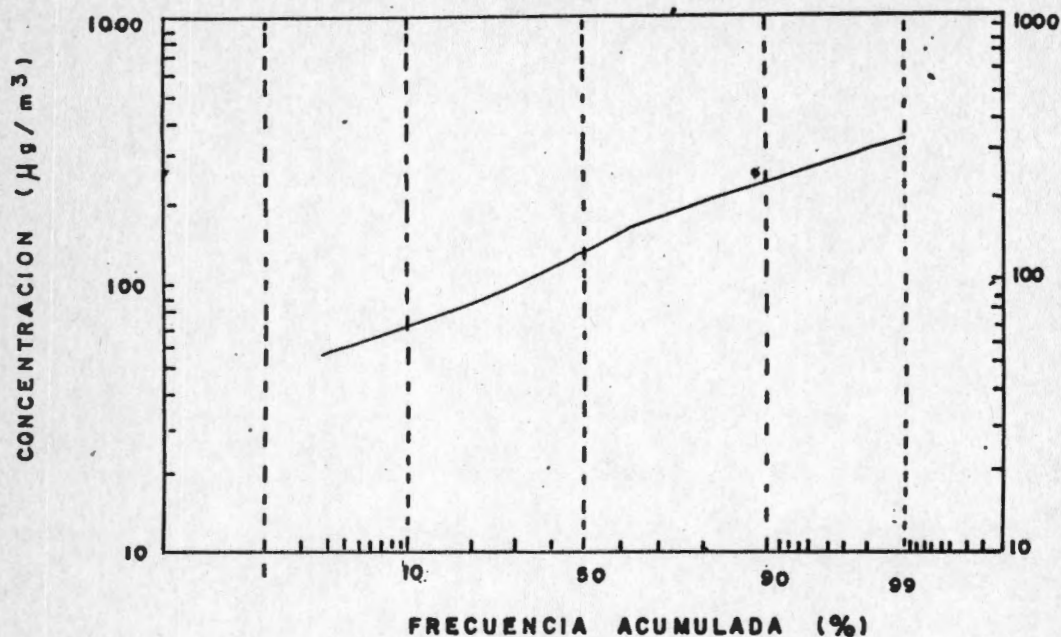
FIG.4.7



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE P S T.

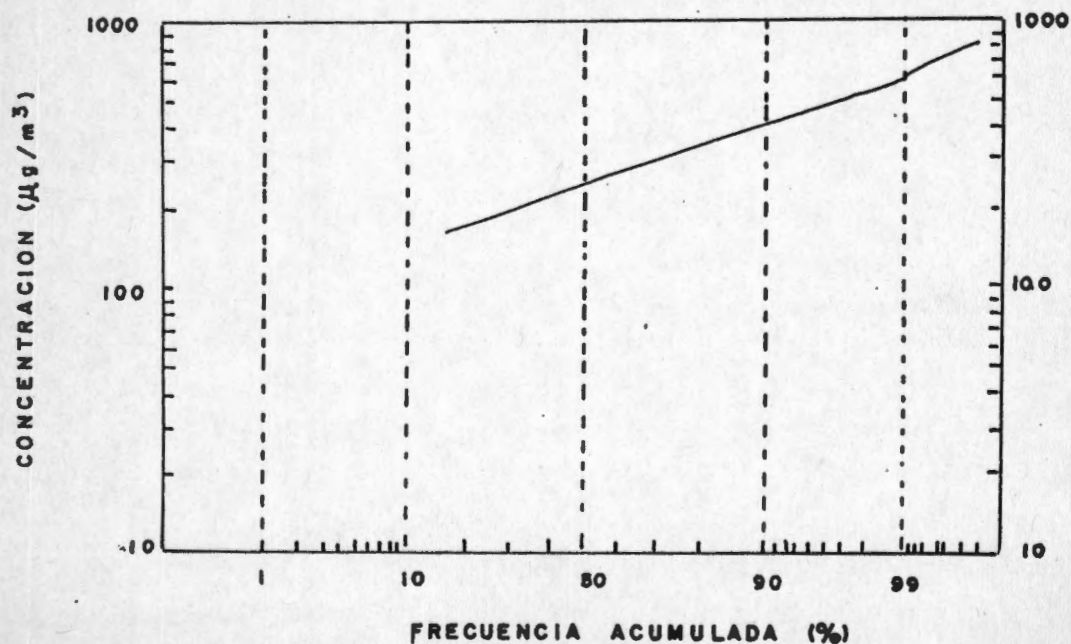
ESTACION : LOMAS

FIG.4.8



ESTACION : MARIANO ESCOBEDO

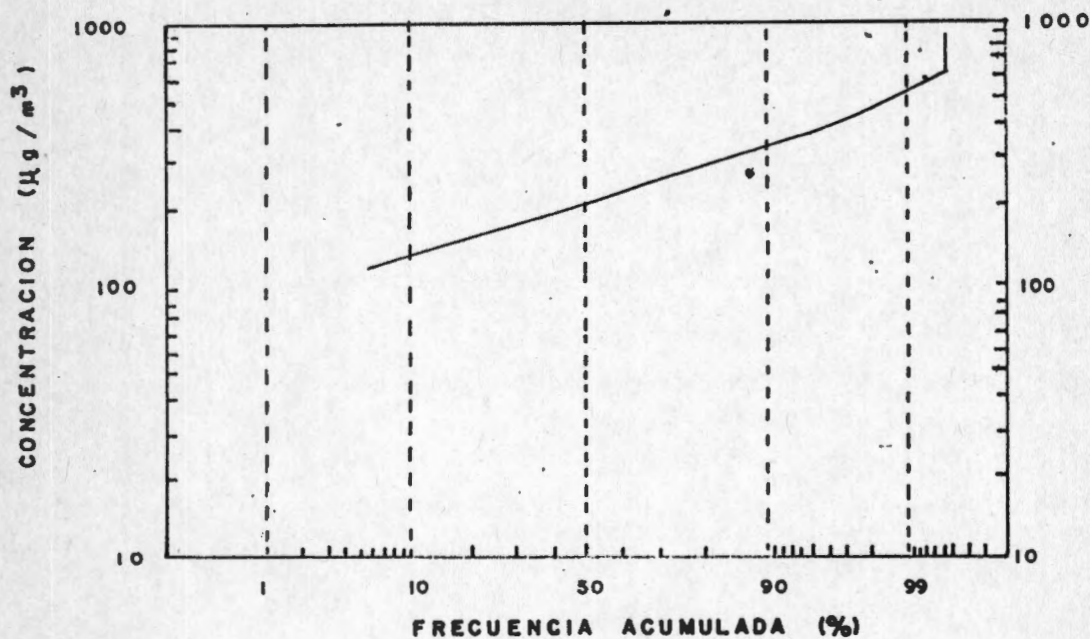
FIG.4.9



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE P S T .

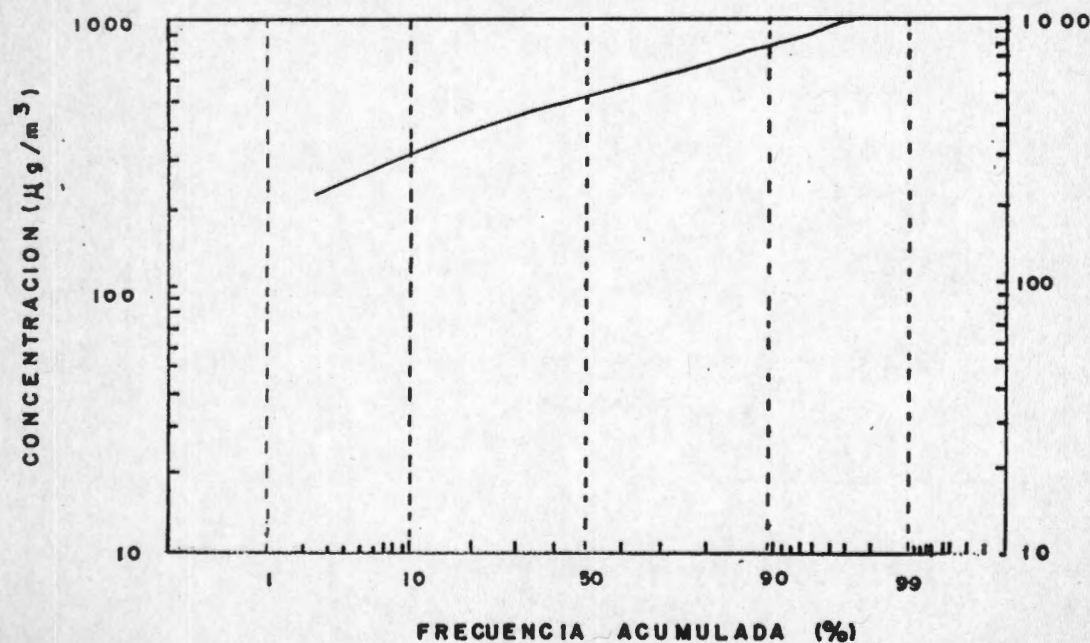
ESTACION : SECRETARIA DE HACIENDA

FIG.4.10



ESTACION : XALOSTOC

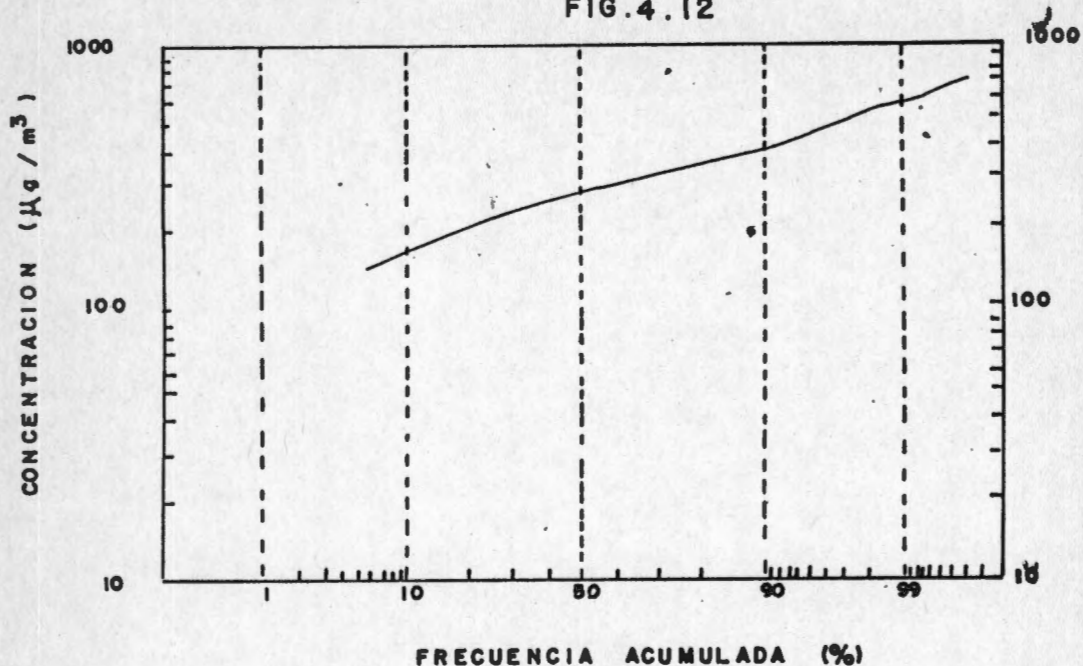
FIG.4.11



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE P S T .

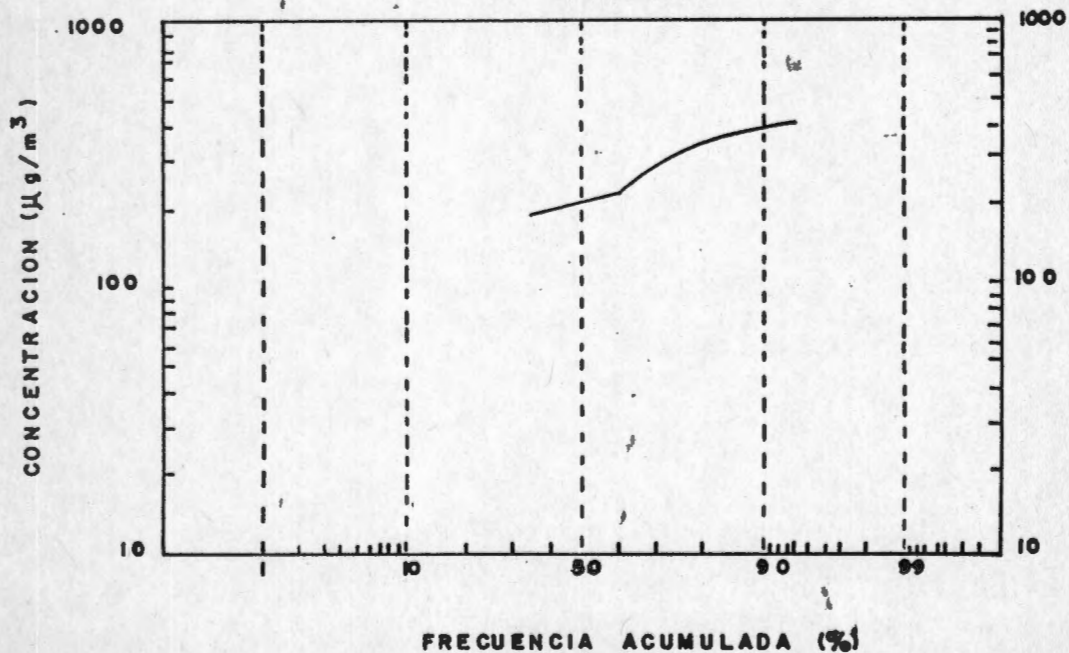
ESTACION : TAXQUENA

FIG.4.12



ESTACION : VICENTINA

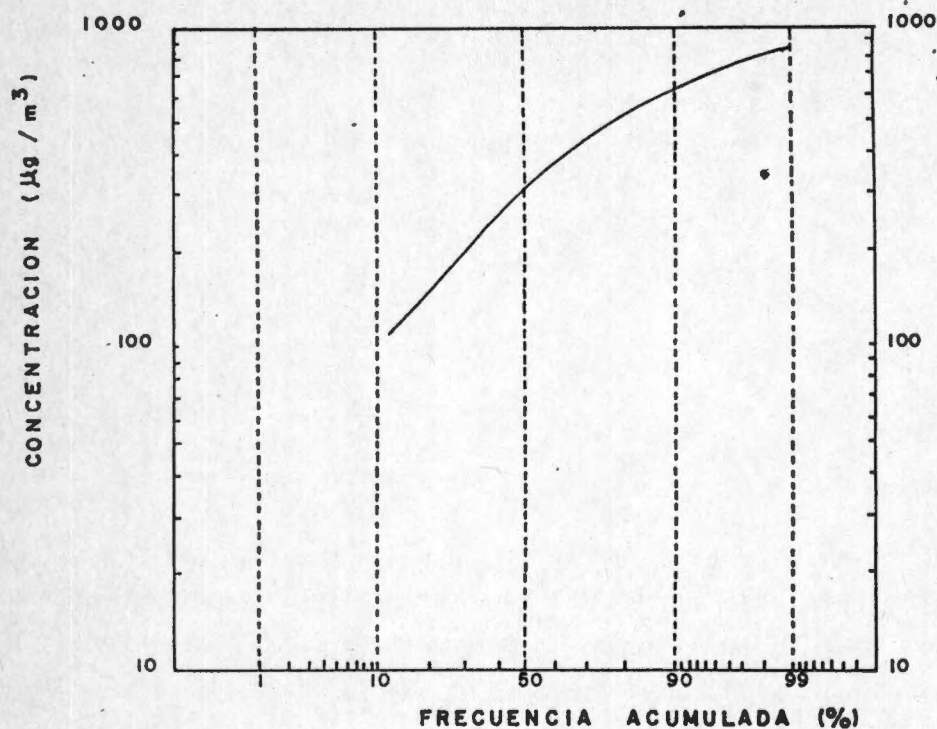
FIG.4.13



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE P S T.

ESTACION : LA PRESA

FIG. 4.14



ESTACION : MUSEO

FIG. 4.15

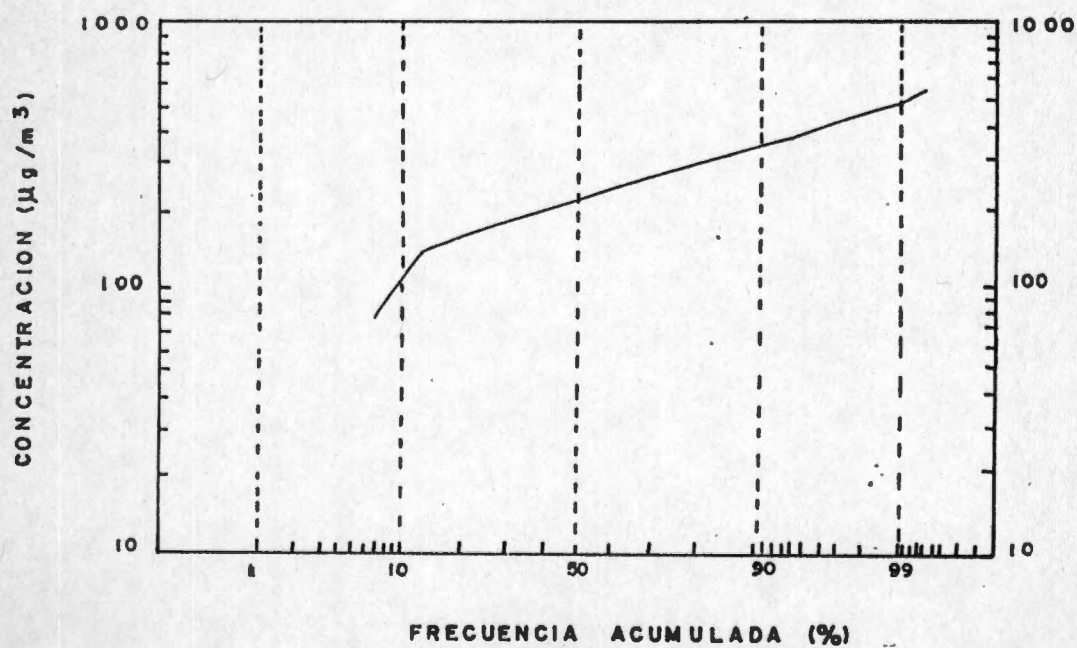


TABLA No. 4.1 Resultado del Análisis de frecuencias.

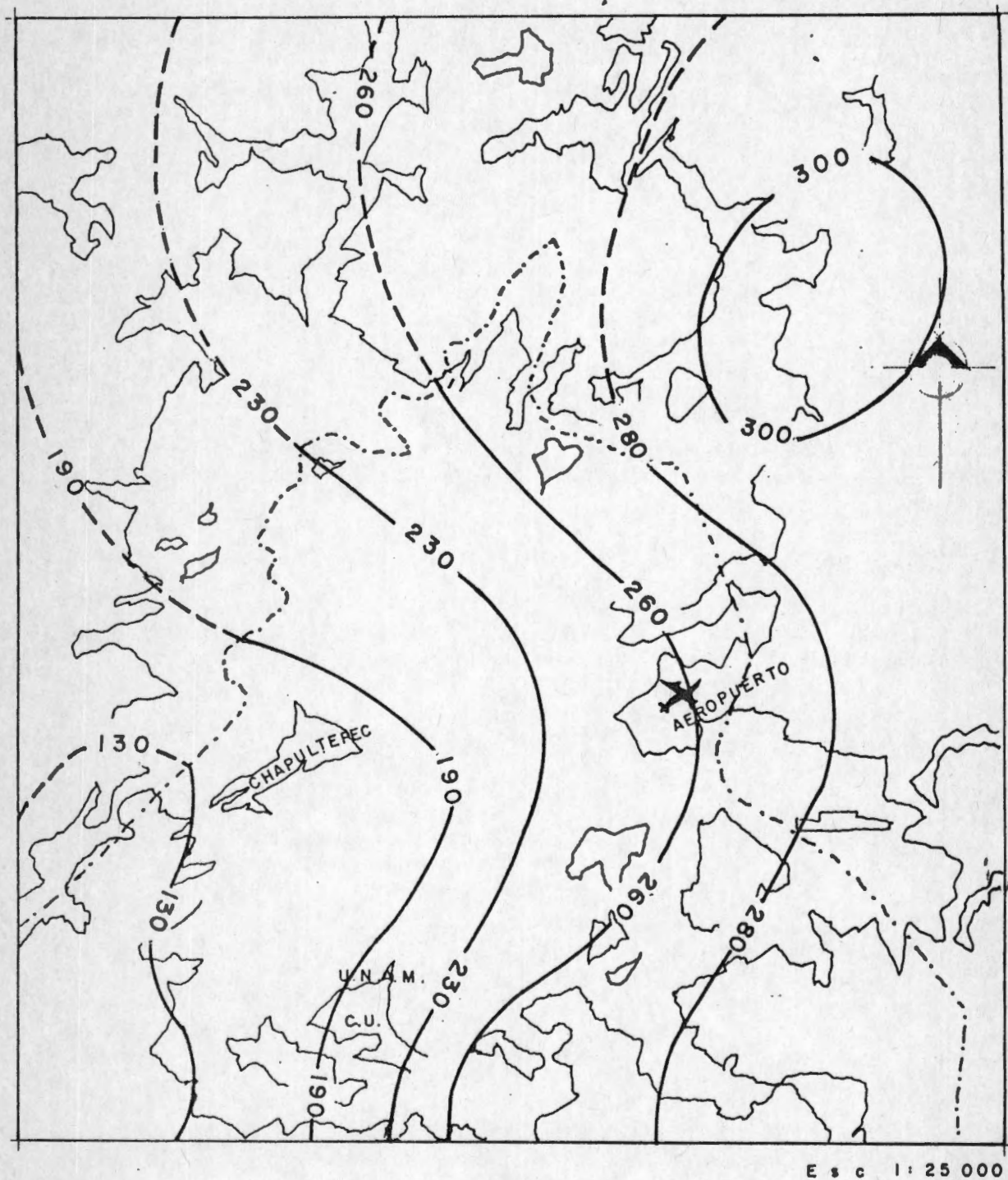
<i>Estación</i>	<i>Frecuencia (%) con que se excede la norma de calidad del aire</i>	<i>Coefficiente de correlación</i>
Felipe Angeles	28	.98
La Presa	51	.98
Vicentina	32	.98
Portales	25	.97
Las Lomas	5	.98
Xalostoc	90	.95
Sria. de Hacienda	40	.84
Museo	33	.94
La Villa	43	.96
Mariano Escobedo	46	.87
Taxqueña	49	.91
Nezahualcoyotl	54	.96
Cuchilla	53	.97
Aeropuerto	39	.98

demás valores que se muestran en la tabla citada. Sin embargo, resulta obvio, en primer lugar, que el porcentaje de veces que en toda la zona de estudio se rebasó la norma de calidad del aire es en general alto y, en segundo lugar, que los valores obtenidos en estaciones situadas hacia el este y noreste del valle corresponden a porcentajes sumamente altos e inesperados, tanto por la magnitud de las cantidades que representan, como por la región del valle que está siendo afectada, ya que la impresión general de la población es que las zonas sur y suroeste son las que reciben los más altos niveles de contaminación.

En las figuras 4.16 y 4.17 se presentan los resultados correspondientes a la distribución espacial de las concentraciones de PST en el valle, tanto como líneas de isoconcentración de los promedios geométricos anuales, como líneas de isofrecuencia con que se excede la norma de calidad del aire. En estas figuras se observan que las zonas más contaminadas se encuentran hacia el norte, este y sureste de la ciudad; mientras que las regiones situadas hacia el oeste presentan una calidad del aire menos deteriorada en lo que a partículas suspendidas se refiere. La distribución de las isolíneas se ajustan bien al patrón de los vientos predominantes en el valle y permiten identificar que los sitios más contaminados corresponden a los lugares que en los últimos diez años han tenido un crecimiento acelerado y anárquico. Es de hacer notar como el contraste entre los niveles de contaminación por partículas que se observa en Las Lomas y Ciudad Netzahualcoyotl, por ejemplo, coincide con las grandes diferencias

CURVAS DE ISOCONCENTRACION DE PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) PROMEDIO GEOMETRICO ANUAL .

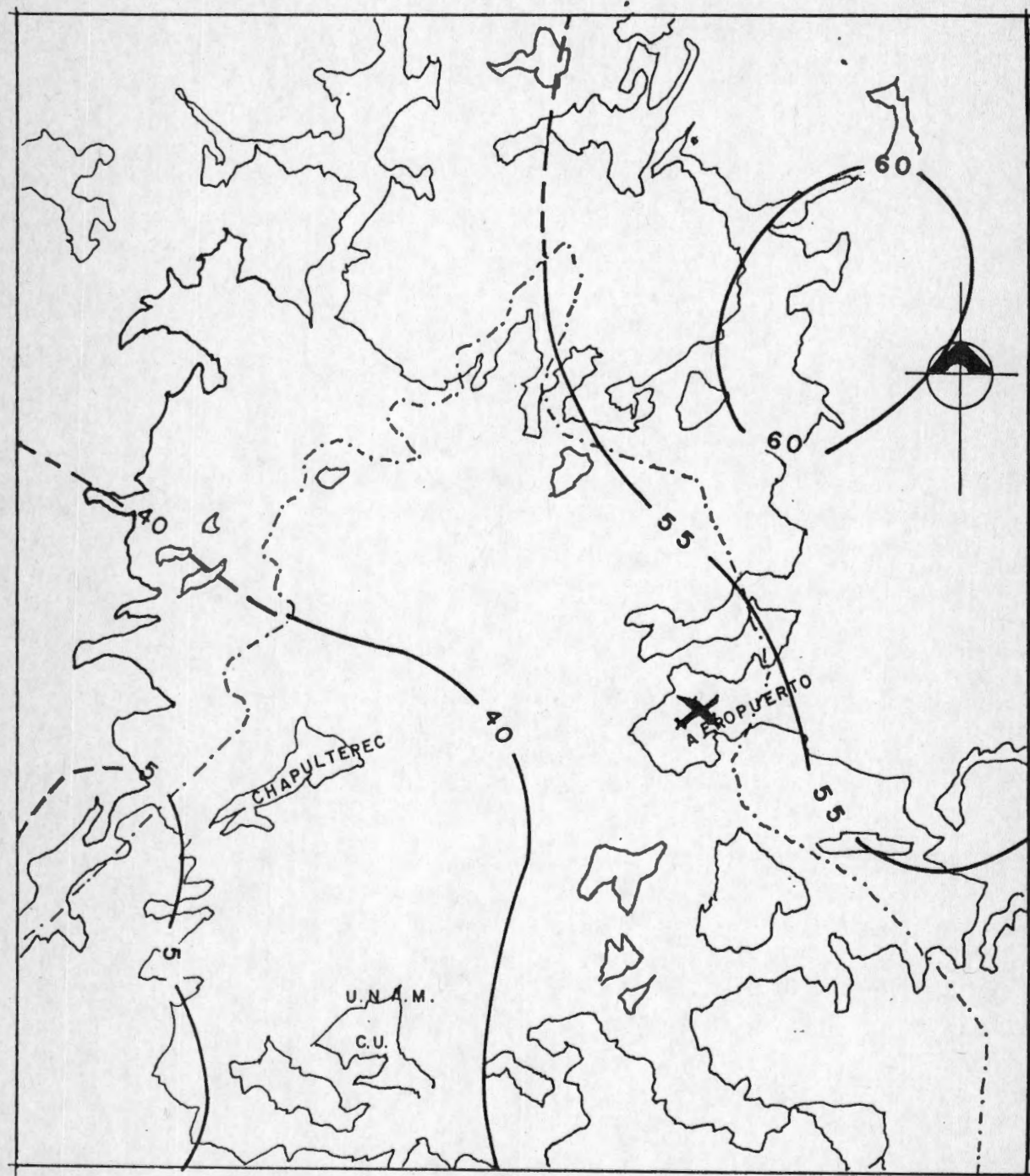
FIG. 4.16




 Limite D.F. - Edo. de México .

CURVAS DE ISOFRECUENCIA (%), CON QUE SE EXCEDE LA NORMA MEXICANA DE PST.

FIG. 4.17



Esc 1:25 000

----- Limite D.F. - Edo. de México .

socio-económicas y de dotación de servicios de la población que las habita.

En México no existe una norma de calidad del aire para PST referida a periodos anuales que permita comparar los valores que se muestran en la figura 4.16 con cantidades de referencia. Por tal motivo se decidió utilizar la norma de calidad del aire promulgada en los Estados Unidos de Norte América. La norma establece un valor de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio geométrico anual, el cual se rebasó en todo el Valle de México durante los 7 años estudiados, como puede observarse en dicha figura, alcanzándose niveles de contaminación promedio anuales muy superiores a la norma mencionada, aún en la región occidental del Valle de México.

En la figura 4.18 se muestra la representación tridimensional de la calidad del aire que imperó en el Valle de México durante un periodo de 7 años. En esta figura el eje vertical representa la frecuencia con que se excedió la norma de calidad de aire de partículas suspendidas durante ese periodo.

4.2 Estimación preliminar de tendencias

Con el objeto de estudiar las tendencias que han seguido las concentraciones de PST en la zona del Valle de México, se seleccionaron, de la lista que se presenta a continuación, las estaciones de muestreo que han generado información durante más de 5 años consecutivos.

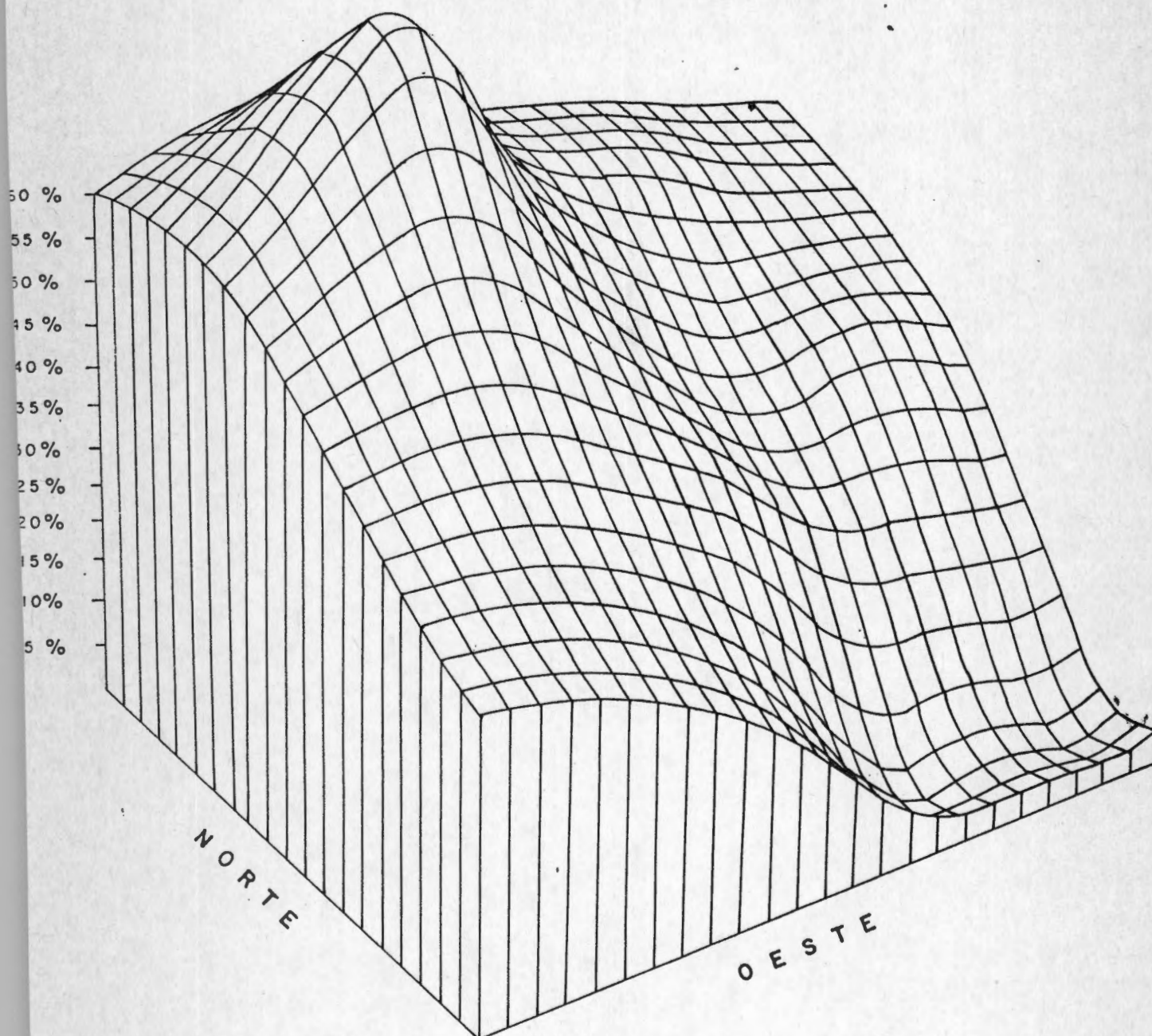
AEROPUERTO	1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
NEZAHUALCOYOTL	1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
PORTALES	1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
VILLA	1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.

CUCHILLA	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
FELIPE ANGELES	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
LA PRESA	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
MUSEO	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
TAXQUEÑA	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983.
VICENTINA	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
LOMAS	1977, 1978, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
MARIANO ESCOBEDO	1977, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
SRA. DE HACIENDA	1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
XALOSTOC	1980, 1981, 1982, 1983, 1984.
VALLEJO	1976, 1977, 1978, 1979.
C F E (MUSEO)	1982, 1983, 1984.
D E P F I (UNAM)	1980, 1981, 1982.
NAUCALPAN	1976, 1977.
SATELITE	1979, 1980.
ZACATENCO	1983, 1984.
BELLAVISTA	1976.
CIECCA (SARH)	1976.
COM	1976.
HANGARES	1976.
HUIPULCO	1976.
IZTAPALAPA	1976.
MINERIA	1982.
MIXCOAC	1976.
POPOTLA	1976.
SANTA ANITA	1976.
SANTA MONICA	1976.
S M A (SSA)	1976.

REPRESENTACION TRIDIMENSIONAL DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION POR PARTICULAS SUSPENDIDAS EN EL VALLE DE MEXICO .

(FRECUENCIA CON QUE SE EXCEDE A LA NORMA MEXICANA DE P S T .)

FIG. 4.18,



TLALNEPANTLA	1976.
TLALPAN	1976.
UNAM	1976
ZOCALO	1976.

El estudio de las tendencias consistió en un análisis de regresión simple mediante la técnica estadística de los mínimos cuadrados; sin embargo, debido a la existencia de algunos datos faltantes se decidió efectuar un tratamiento preliminar de la información.

4.2.1 Tendencias anuales

En la Tabla 4.2. se presentan los promedios anuales de las concentraciones de PST de todas la estaciones en donde se generaron datos durante periodos mayores a 5 años. Las Tablas 4.3 y 4.4 contienen los resultados de las estimaciones de los parámetros de regresión, así como un comentario sobre la posible tendencia obtenida.

En estas Tablas se puede notar que en la estación La Presa, situada al norte de la zona de estudio (ver la figura 4.1), la calidad del aire se ha deteriorado más rápidamente que en otros sitios de la ciudad, aproximadamente a una tasa del +19.0 % anual. Es importante mencionar que en ese sitio el nivel de contaminación se incrementó de 208 a 521 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre 1977 y 1984. En contraste, en la estación Taxqueña, el promedio anual de la concentración tuvo una variación insignificante, manteniéndose ésta en un intervalo de 254 a 318 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mismo periodo.

Por otro lado, la estación Xalostoc tenía los niveles más altos de contaminación al inicio de su periodo de

**TABLA No. 4.2 Promedios Anuales de las Concentraciones de P.S.T
entre 1976 y 1984.**

<i>Estación</i>	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Aeropuerto	208	145	233	273	201	235	298	286	332
Nezahualcoyotl	412	239	263	406	379	331	369	429	628
Portales	192	199	185	240	182	195	203	209	205
Villa	263	160	197	297	296	280	298	314	367
Cuchilla	DND	255	252	353	307	302	345	337	399
Felipe Angeles	DND	299	179	241	137	186	221	221	328
La Presa	DND	208	258	385	302	262	361	432	521
Museo	DND	151	171	253	251	252	244	232	256
Taxqueña	DND	254	221	305	267	303	292	291	318
Vicentina	DND	244	272	331	246	278	297	331	368
Lomas	DND	94	103	DND	153	142	160	160	178
Mariano Escobedo	DND	165	DND	295	257	294	286	294	384
Secretaria Hacienda	DND	DND	DND	DND	196	220	218	256	246
Xalostoc	DND	DND	DND	DND	931	551	531	527	576

DND = dato no disponible.

TABLA No. 4.3. Parámetros de las Líneas de Regresión de los Promedios Anuales de P.S.T.

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto	9	161.4	+16.9	Incremento +10.5% anual
Nezahualcoyotl	9	253.1	+26.2	Incremento +10.4% anual
Portales	9	193.2	+1.5	Incremento +0.8% anual
Villa	9	252.8	+4.4	Incremento +1.7% anual
Cuchilla	8	227.8	+20.2	Incremento +8.9% anual
Felipe Angeles	8	205.0	+4.8	Incremento +2.3% anual
La Presa	8	183.1	+35.0	Incremento +19.0% anual
Museo	8	172.0	+12.0	Incremento +7.% anual
Taxqueña	8	235.8	+9.4	Incremento +4.0% anual
Vicentina	8	237.3	+13.0	Incremento +5.5% anual
Lomas	7	92.1	+10.9	Incremento +11.8% anual
Mariano Escobedo	7	246.9	+15.7	Incremento +6.4% anual
Secretaria Hacienda	5	186.4	+13.6	Incremento +7.3% anual
Xalostoc	5	443.9	+26.5	Incremento +6.% anual

**TABLA No.4.4. Coeficientes de Correlación de las Líneas de
Regresión de los Promedios Anuales de P.S.T.**

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>Covariancias (r)</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto	9	+0.808	Regular Correlación
Nezahualcoyotl	9	+0.637	Mala Correlación
Portales	9	+0.233	Mala Correlación
Villa	9	+0.193	Mala Correlación
Cuchilla	8	+0.991	Buena Correlación
Felipe Angeles	8	+0.187	Mala Correlación
La Presa	8	+0.830	Regular Correlación
Museo	8	+0.717	Regular Correlación
Taxqueña	8	+0.724	Regular Correlación
Vicentina	8	+0.721	Regular Correlación
Lomas	7	+0.926	Buena Correlación
Mariano Escobedo	7	+0.687	Mala Correlación
Secretaria Hacienda	5	+0.898	Buena Correlación
Xalostoc	5	+0.759	Regular Correlación

observación (1980), con una concentración promedio anual de $443.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que la estación Las Lomas era la más limpia con sólo $92.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La confianza estadística que tienen las tendencias observadas y que se refleja a través del coeficiente de correlación (r), muestra una buena correlación ($r > 0.850$) en las estaciones Cuchilla, La Presa, Las Lomas y Secretaría De Hacienda; regular ($0.700 < r < 0.850$) en la estaciones Aeropuerto, Museo, Taxqueña, Vicentina y Xalostoc; y mala ($r < 0.700$) en las estaciones Mariano Escobedo, Nezahualcoyotl, Portales, Felipe Angeles y Villa.

En las Figuras 4.19 a la 4.32 se muestran gráficamente las variaciones de los promedios anuales en cada estación, así como de la líneas de regresión correspondientes a cada serie de datos proporcionados.

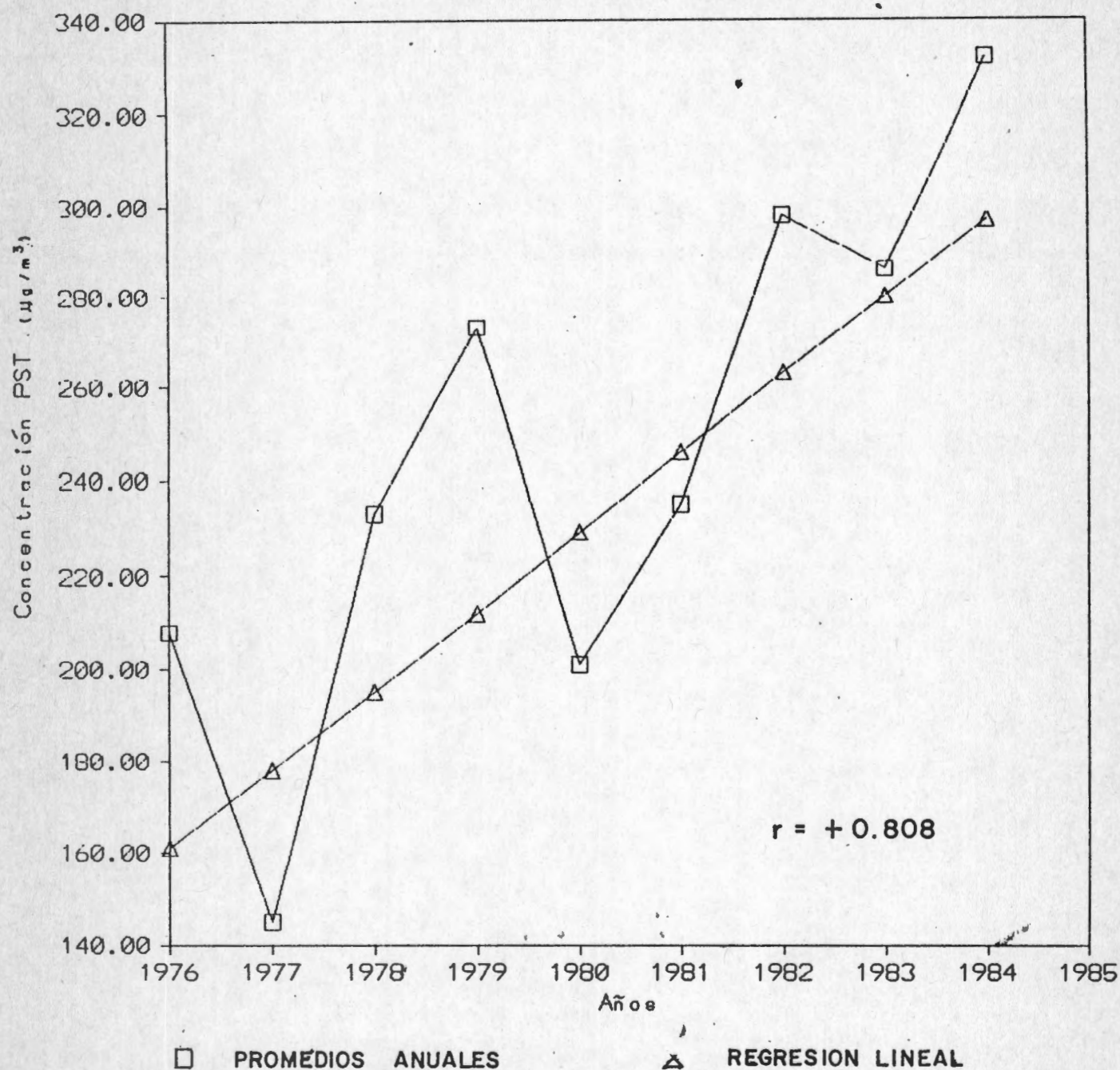
Las tendencias obtenidas en la estación Aeropuerto y su línea de regresión, se muestran gráficamente en la Figura 4.19. Si se toma esta estación como representativa de la zona oriente de la ciudad, el deterioro de la calidad del aire en lo que a PST se refiere, prácticamente a sufrido una degradación del 50%, en un periodo de 8 años, pasando de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1976 hasta $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1984, con una rapidez de cambio de +10.5 % anual.

De manera similar las Figuras 4.21, 4.22, 4.26, 4.28, y 4.29 presentan las tendencias correspondientes a las estaciones Cuchilla, La Presa, Las Lomas, Secretaria de Hacienda y Xalostoc, respectivamente. Todos los grupos de datos muestran coeficientes de correlación suficientemente altos para permitira aseverar que la calidad del aire en estas zonas de la ciudad se

TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T .

ESTACION: AEROPUERTO

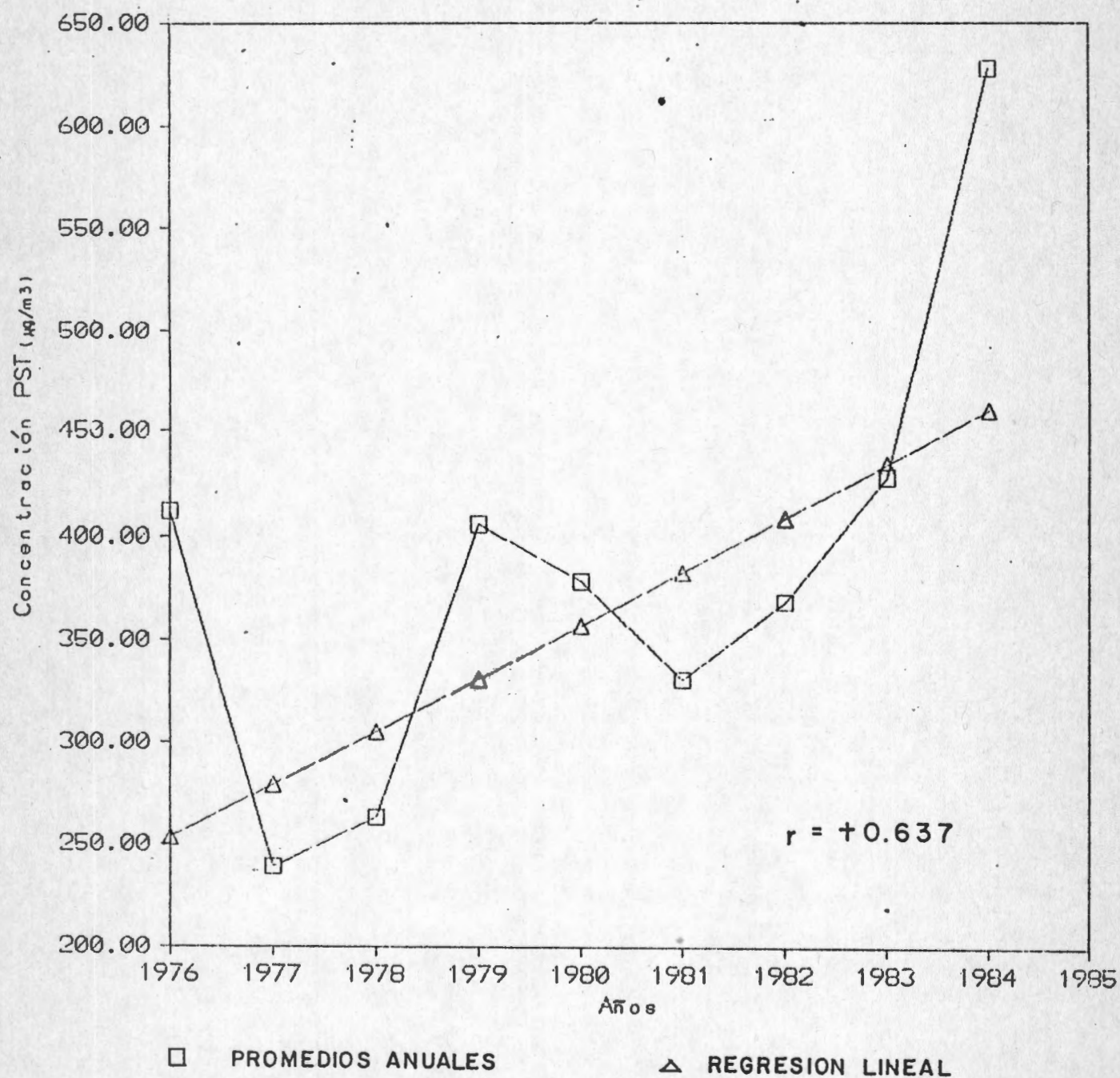
FIG. 4.19



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T .

ESTACION : NEZAHUALCOYOTL

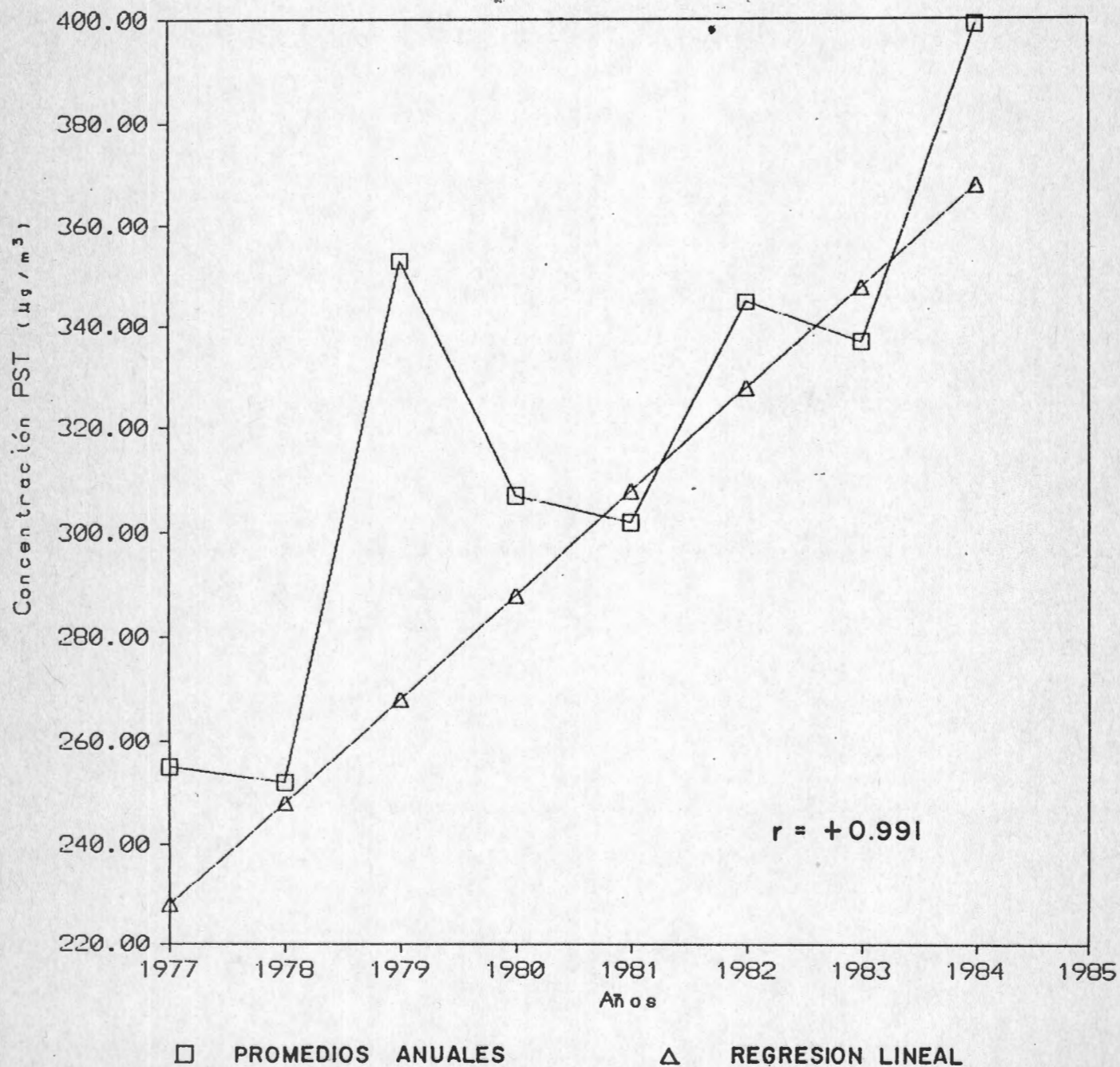
FIG. 4.20



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T .

ESTACION : CUCHILLA

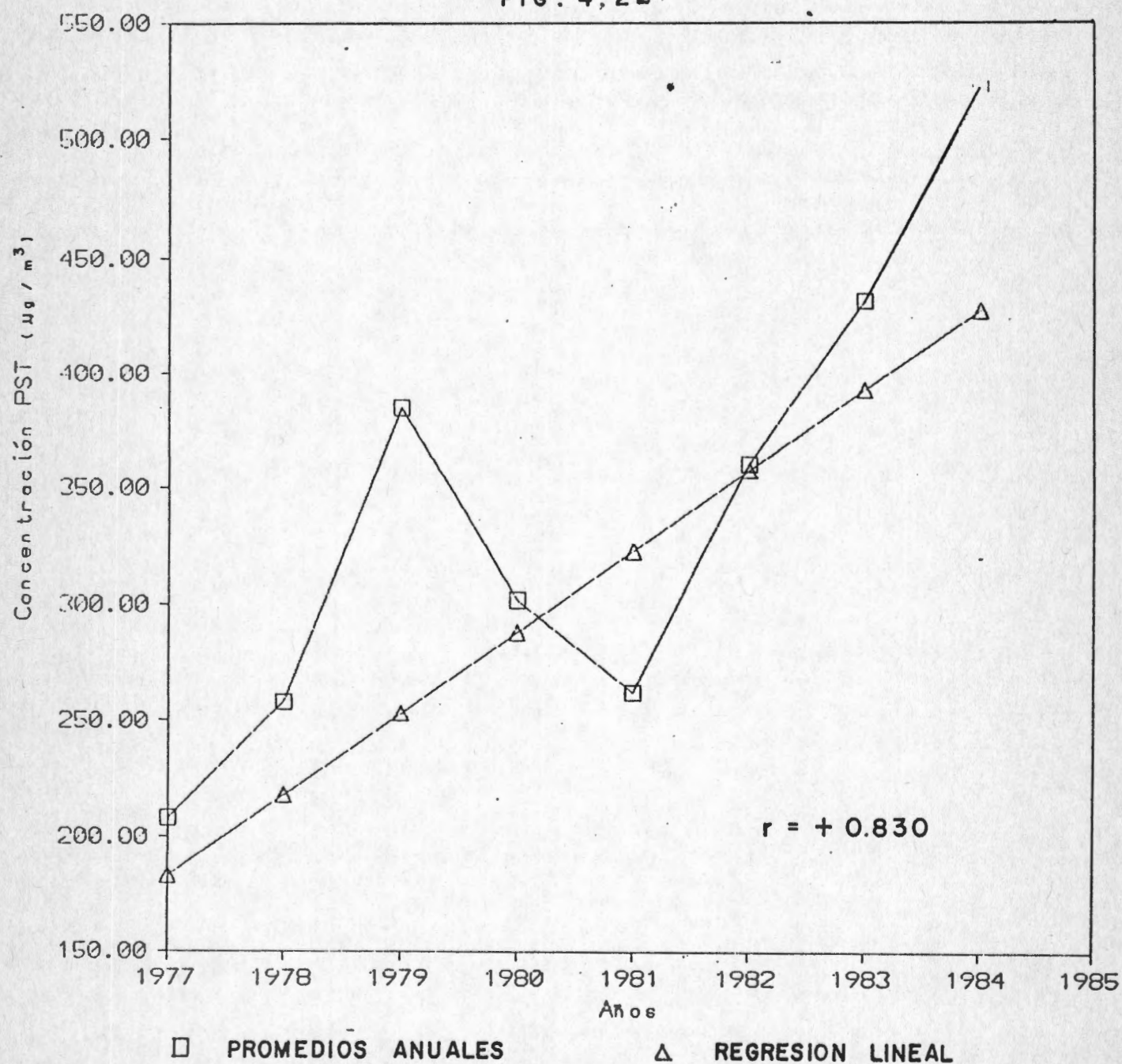
FIG. 4.21



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T .

ESTACION: LA PRESA

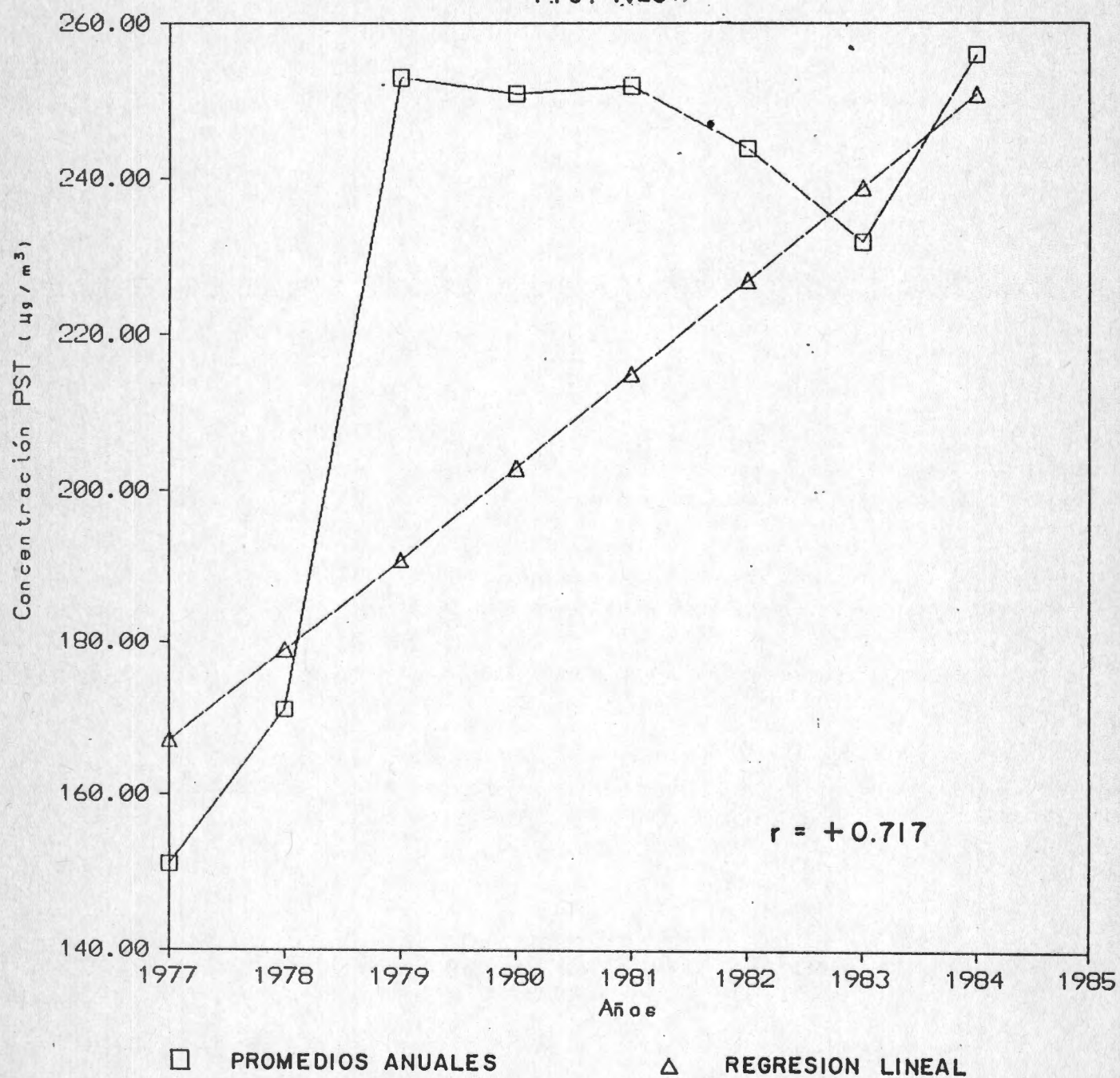
FIG. 4, 22



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T .

ESTACION: MUSEO

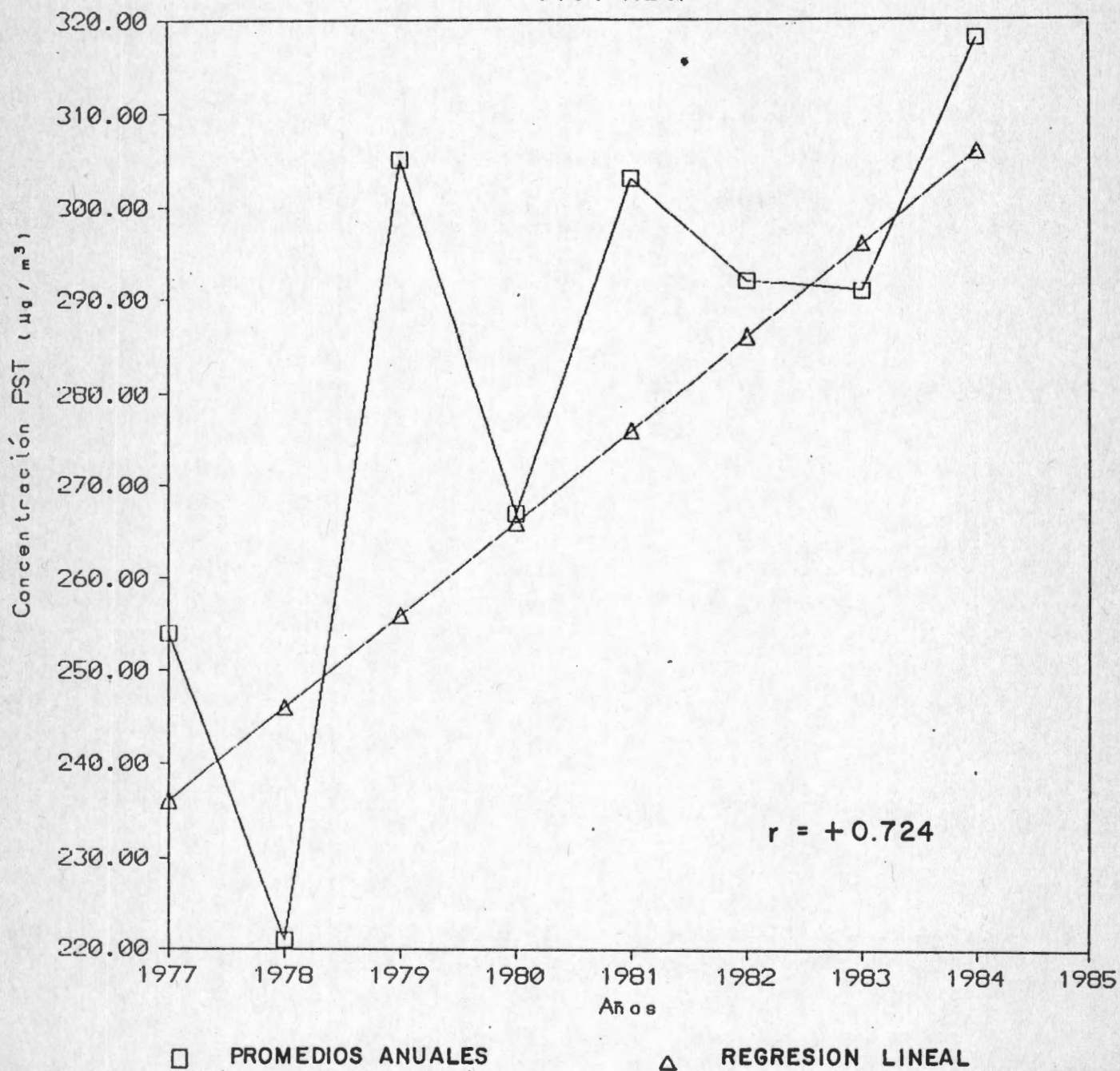
FIG. 4.23



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S.T .

ESTACION : TAXQUENA

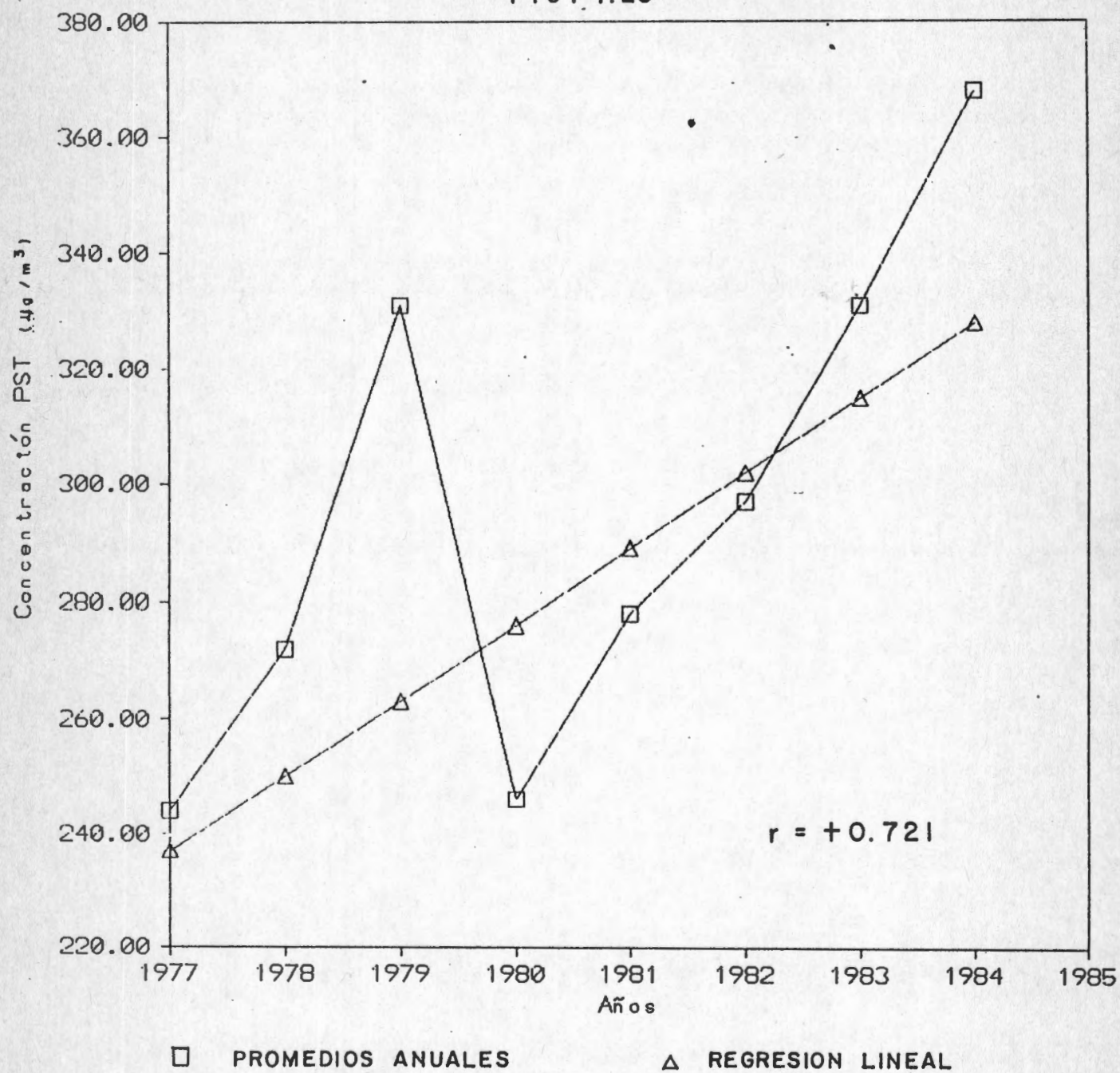
FIG. 4.24.



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T .

ESTACION : VICENTINA

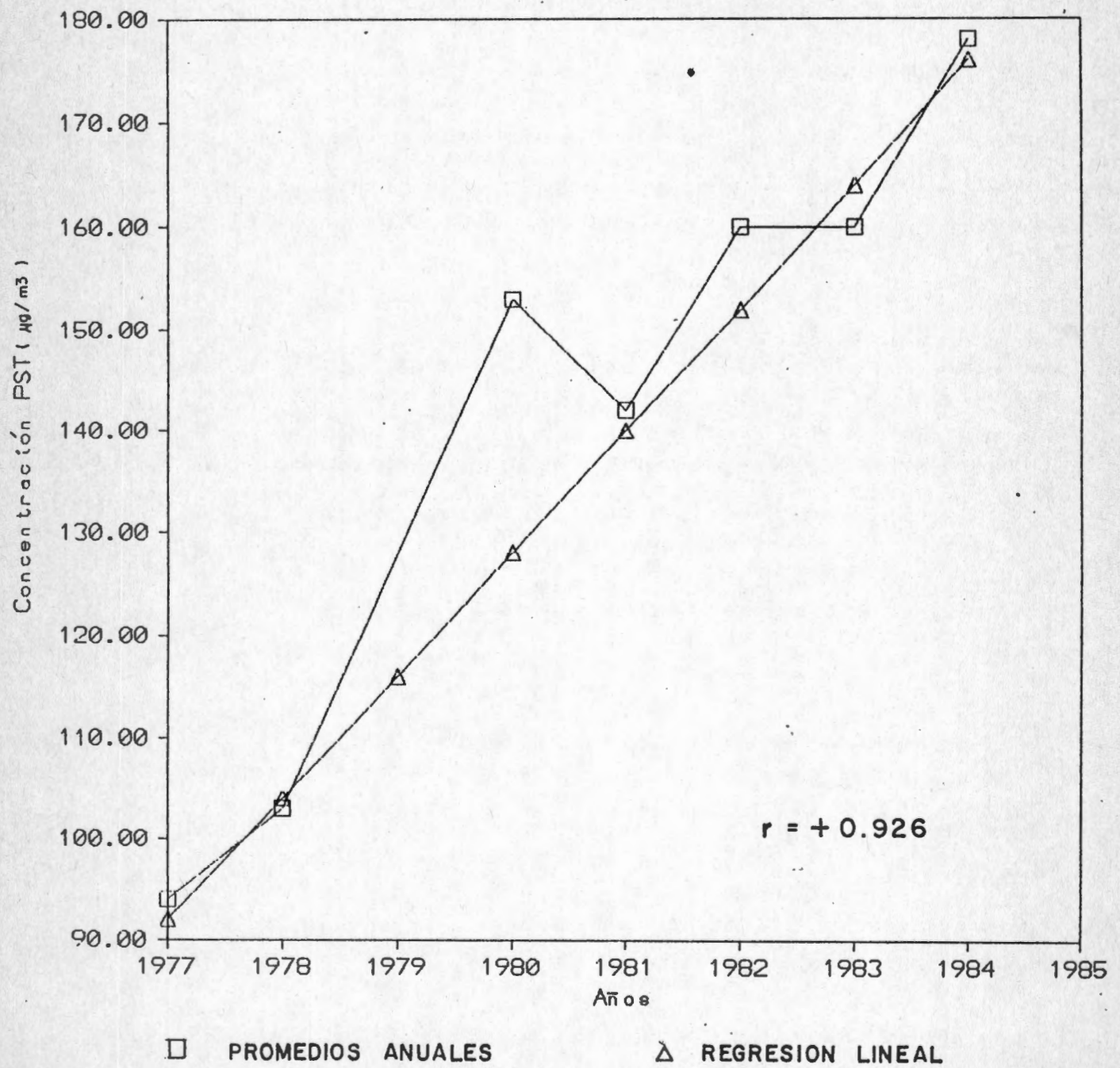
FIG. 4.25



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T .

ESTACION : LOMAS

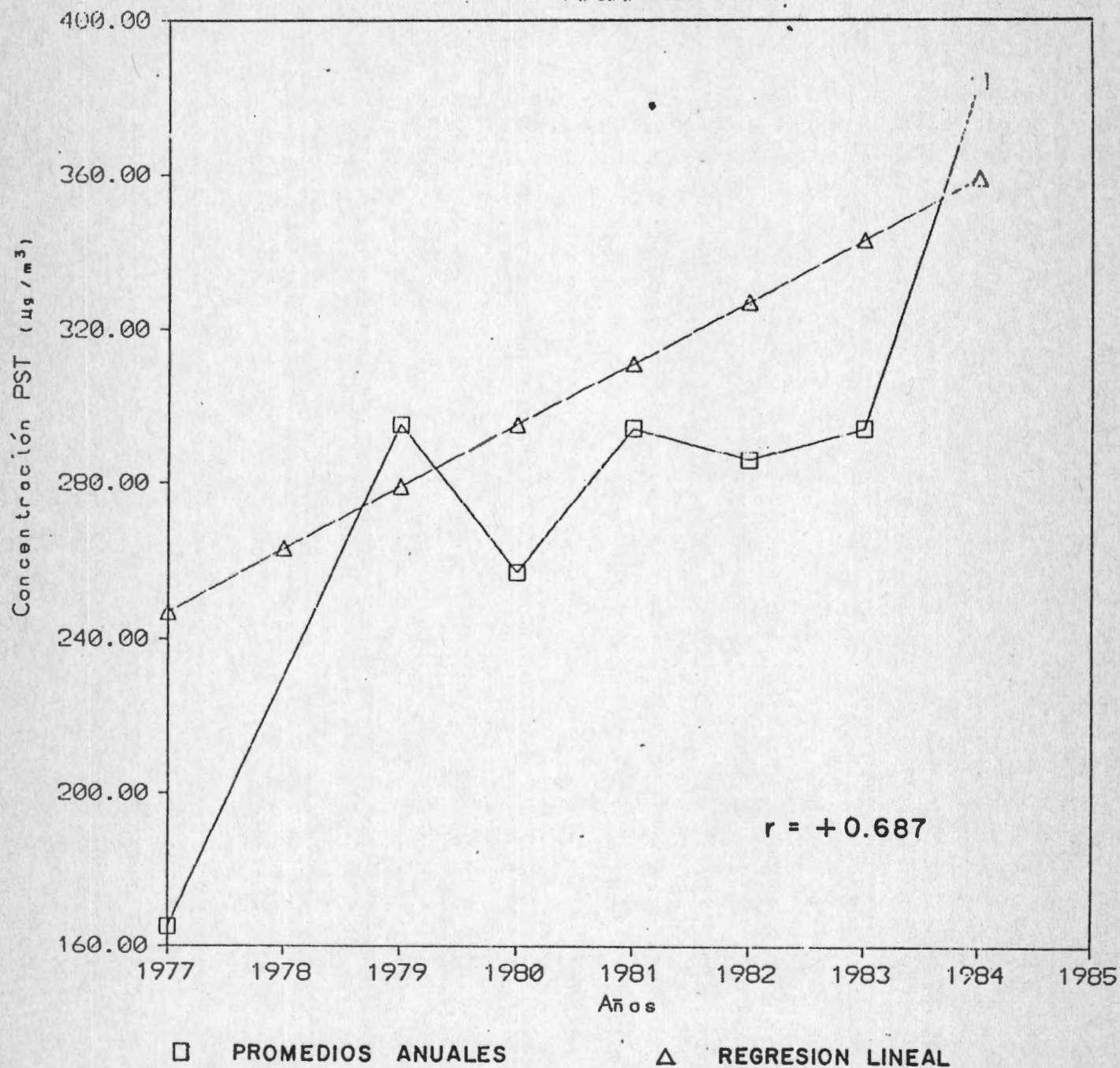
FIG. 4.26



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T .

ESTACION : MARIANO ESCOBEDO

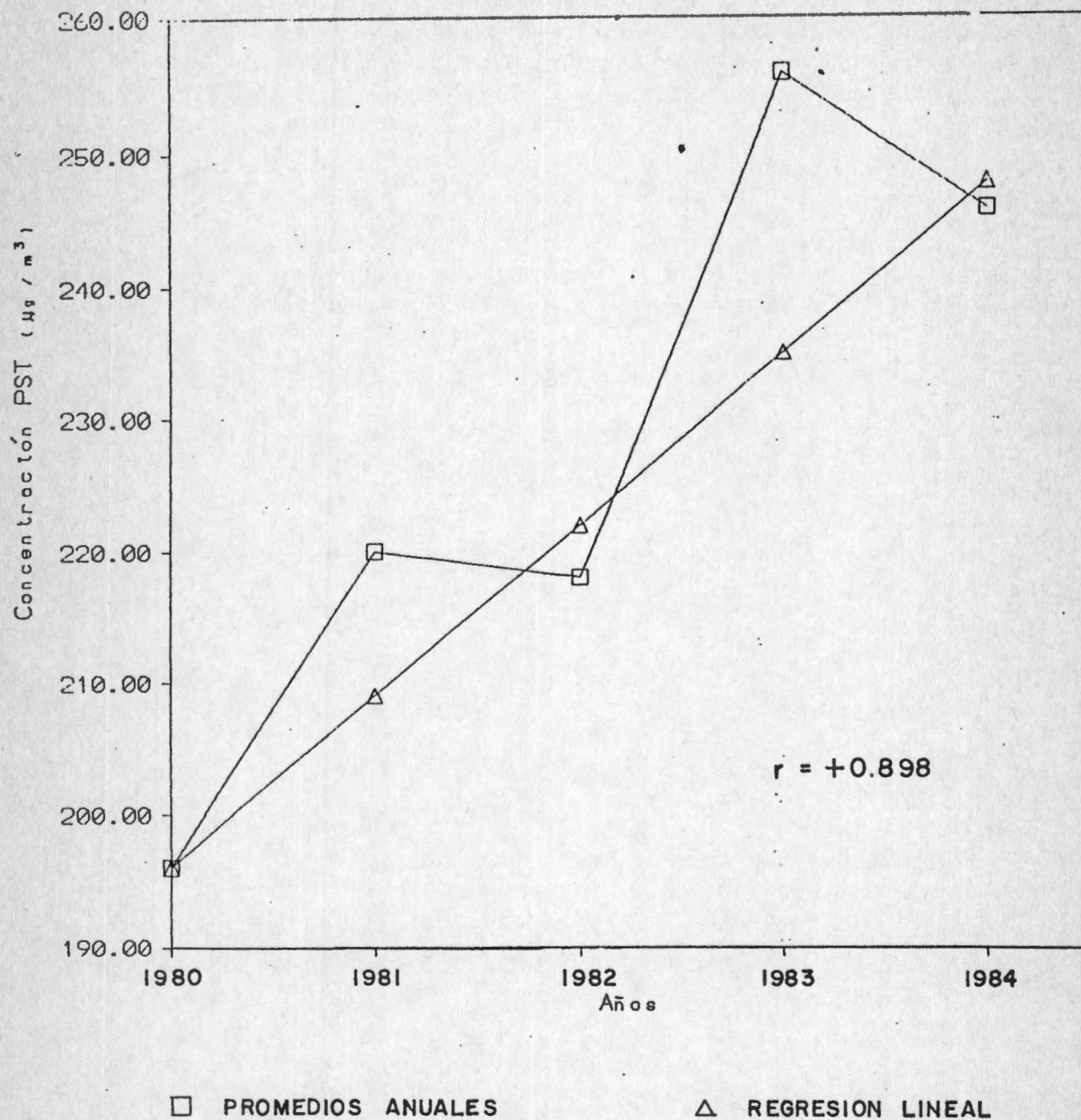
Fig. 4.27



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T .

ESTACION : SECRETARIA DE HACIENDA

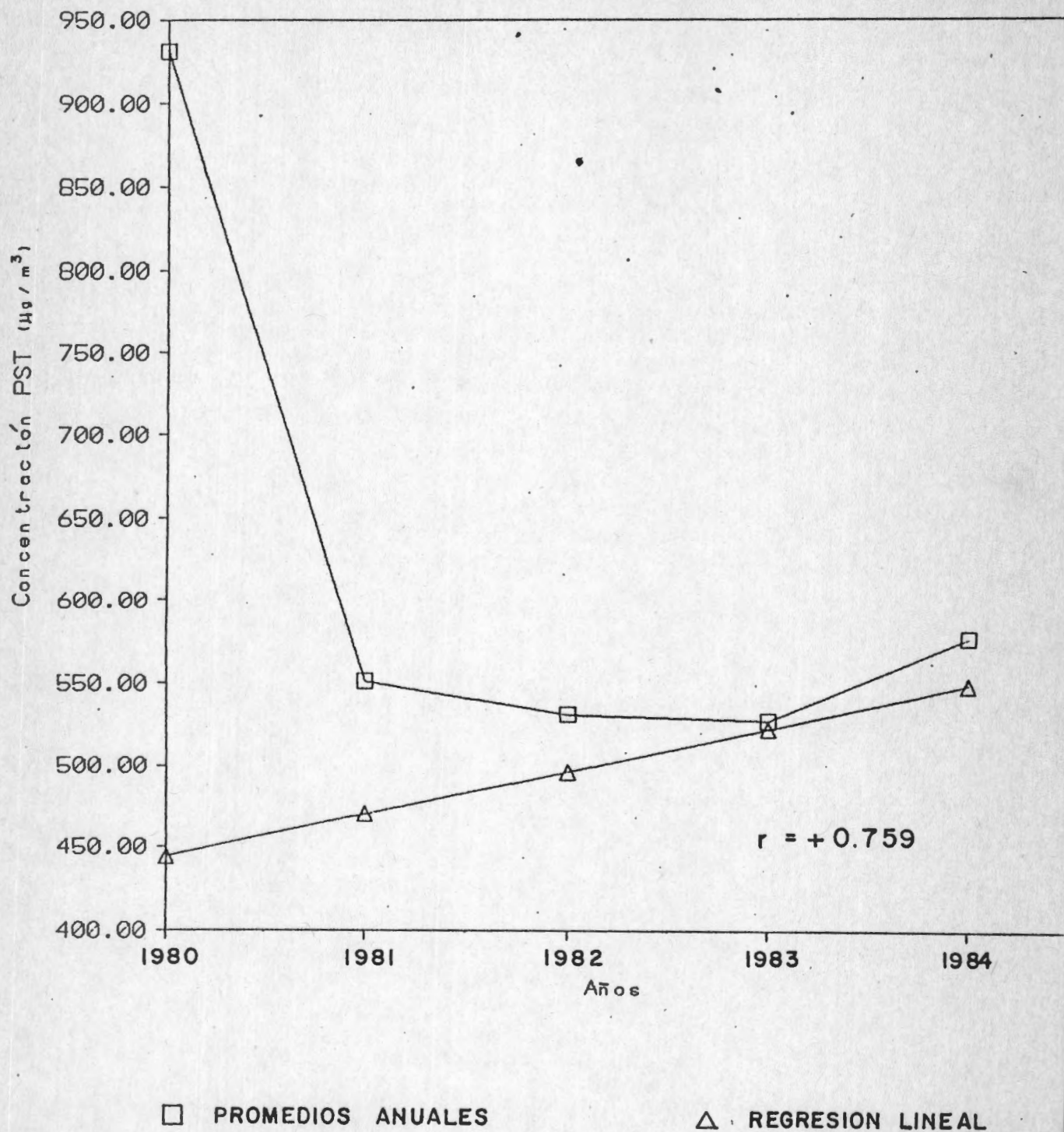
FIG. 4.28



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T ..

ESTACION : XALOSTOC

FIG. 4.29

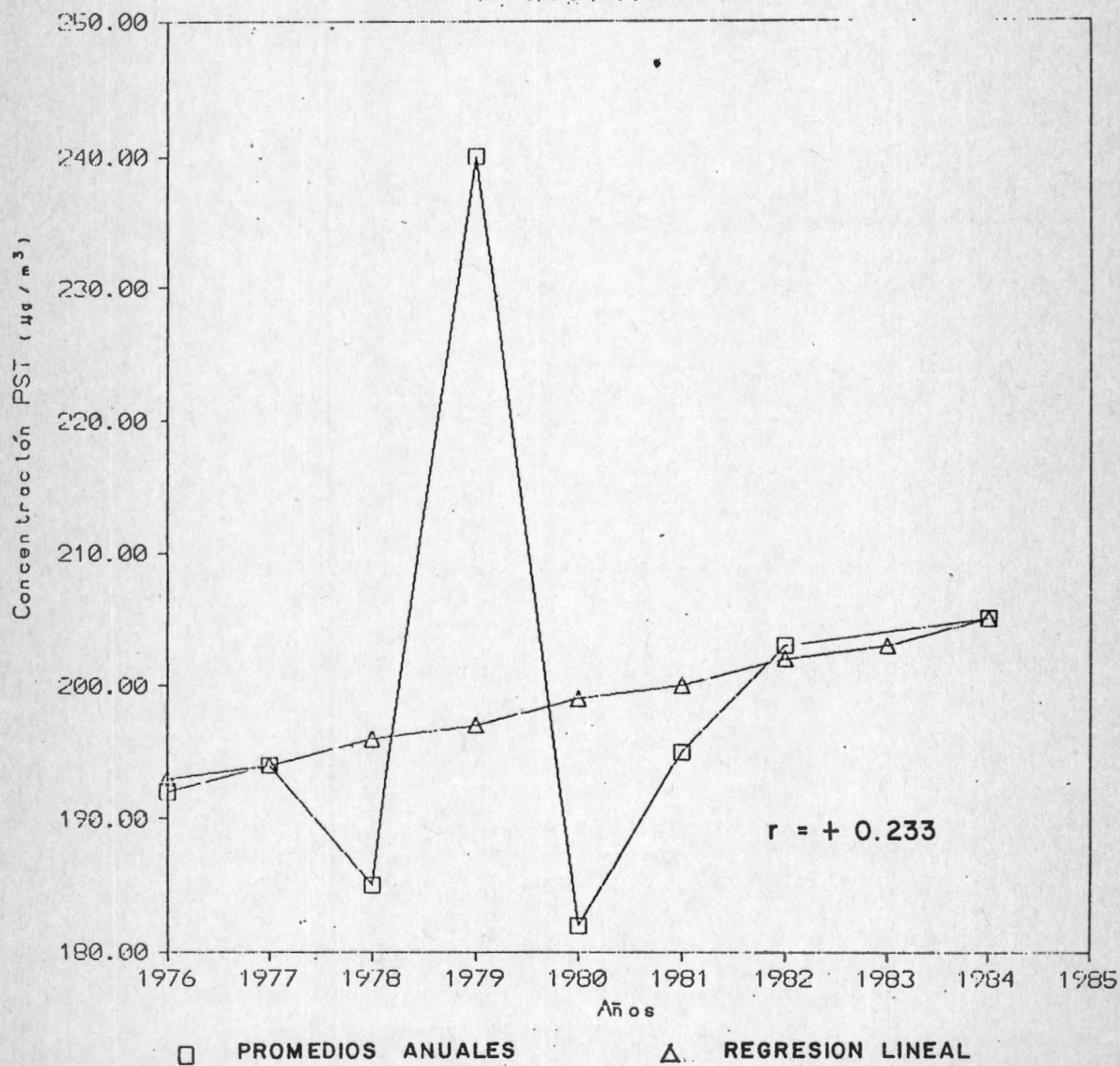


TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE

P . S T .

ESTACION : PORTALES

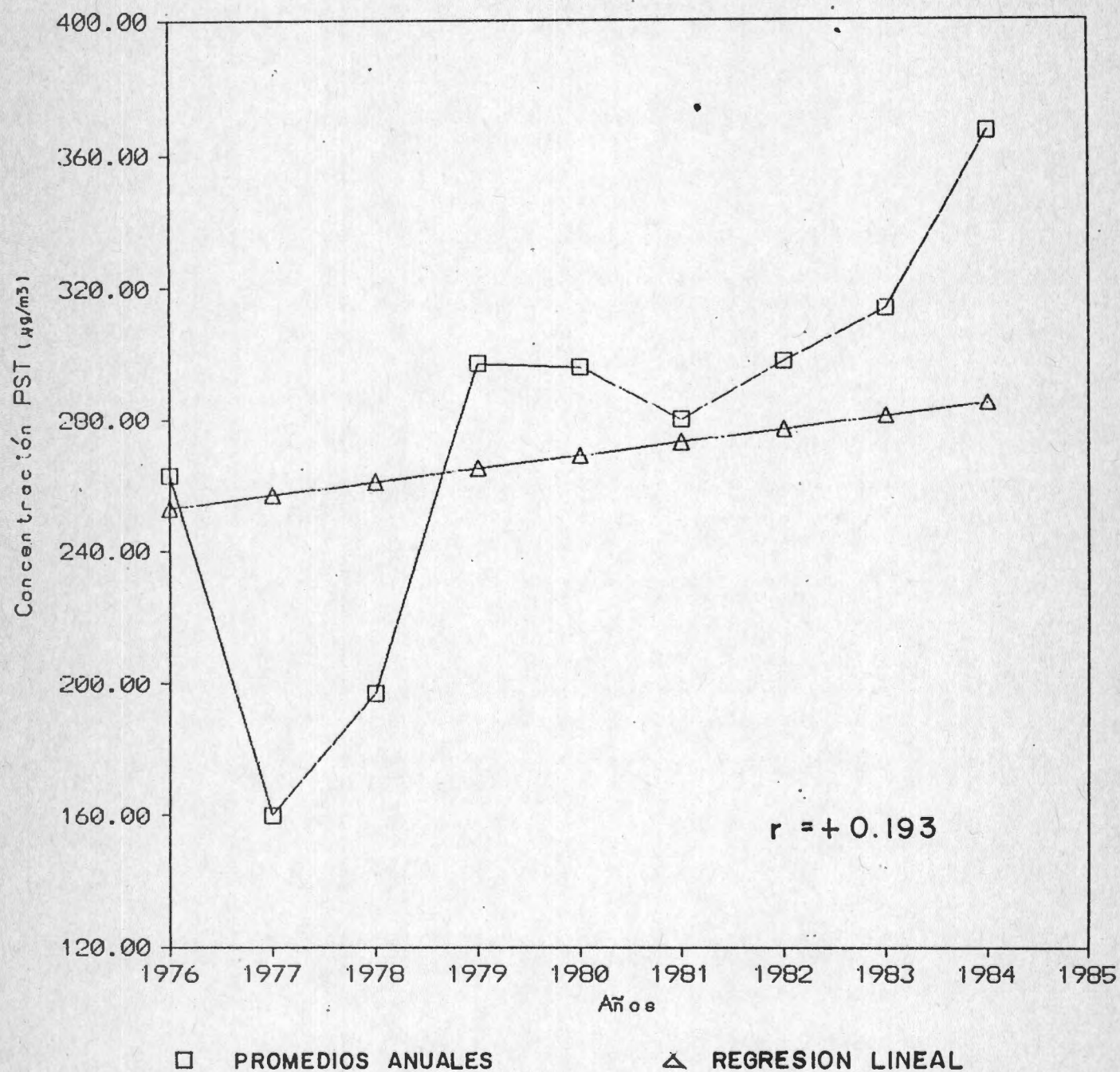
FIG. 4.30



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE P S T .

ESTACION : VILLA

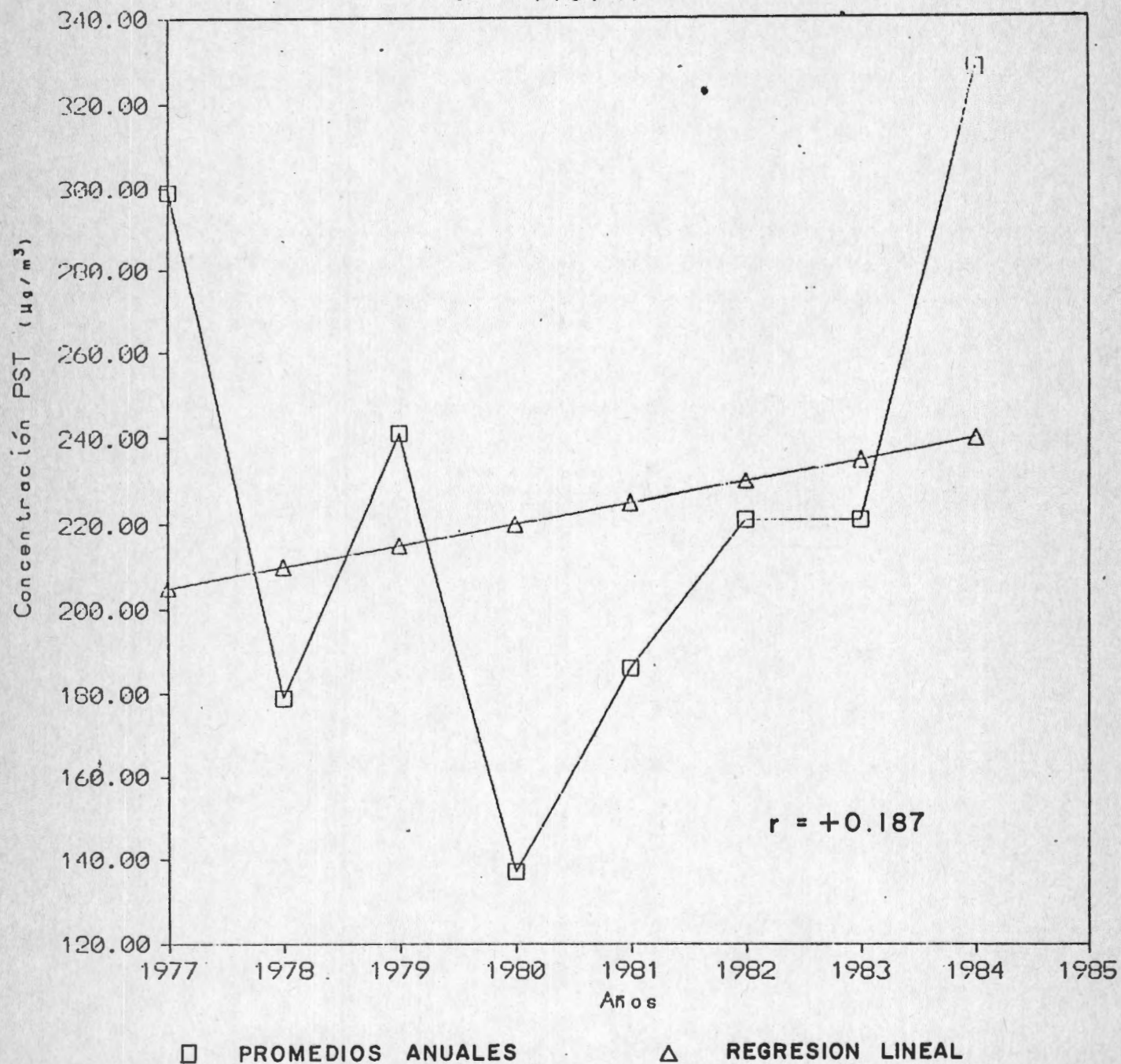
FIG. 4.31



TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE
P S T .

ESTACION: FELIPE ANGELES

FIG. 4.32



ha venido deteriorando en el periodo de 7 años mencionado a un ritmo promedio de aproximadamente 10 % anual. Cabe resaltar dos series de datos en este grupo de estaciones: La estación La Presa situada la norte de la zona de estudio , en donde el crecimiento de los niveles de contaminación ha sido exagerado (cerca del 19 % anual), y la estación Taxqueña , en donde la calidad del aire ha sufrido un deterioro de aproximadamente 4.0 % anual.

Las estaciones Portales, La Villa, Felipe Angeles, Nezahualcoyotl, y Mariano Escobedo, representadas en las Figuras 4.30, 4.31, 4.32, 4.20, y 4.27, respectivamente, muestran valores de los coeficientes de correlación demasiado bajos, por lo que es dudosa cualquier conclusión que se extraiga a partir de dichas series de datos.

En la siguiente etapa del estudio se intentarán verificar las observaciones previamente mencionadas utilizando datos de informes recientes provenientes de la SEDUE y de otros estudios que han sido publicados en los últimos años.

4.2.2. Otras tendencias

Además del estudio de las tendencias anuales, se realizaron estimaciones de las tendencias estacionales y semestrales tomando los siguientes periodos:

primer semestre (enero a junio)	Tablas 4.5, 4.6 y 4.7.
segundo semestre (julio a diciembre)	Tablas 4.8, 4.9 y 4.10.
estación de primavera (abril a junio)	Tablas 4.11, 4.12 y 4.13.
estación de verano (julio a septiembre)	Tablas 4.14, 4.15 y 4.16.
estación de otoño (octubre a diciembre)	Tablas 4.17, 4.18 y 4.19.

estación de invierno (enero a marzo) Tablas 4.20, 4.21 y 4.22.

Sin embargo, en ningún caso se observaron coeficientes de correlación altos que permitieran proponer un comportamiento específico con un grado de confiabilidad aceptable.

TABLA No 4.5 Promedios de P.S.T. del Primer Semestre
(Enero a Junio) entre 1976 y 1984.

<i>Estación</i>	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Aeropuerto	221	136	270	300	238	239	344	301	332
Nezahualcoyotl	567	DND	341	464	DND	434	448	506	628
Portales	254	DND	197	260	182	193	254	225	205
Villa	292	154	204	313	226	316	366	330	367
Cuchilla	DND	DND	301	371	DND	372	402	389	399
Felipe Angeles	DND	DND	144	268	DND	125	273	248	322
La Presa	DND	DND	333	445	302	255	473	488	521
Museo	DND	DND	185	278	254	295	279	254	256
Taxqueña	DND	DND	251	295	287	319	330	327	318
Vicentina	DND	DND	357	387	207	301	365	369	368
Lomas	DND	DND	124	DND	DND	151	209	190	178
Mariano Escobedo	DND	157	DND	328	246	302	347	300	384

DND = Dato no disponible.

TABLA No. 4.6 Parámetros de las Líneas de Regresión de P.S.T.

Durante el Primer Semestre.

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto	9	180.1	+16.9	Incremento +9.4 % anual
Villa	9	189.1	+19.3	Incremento +10.2 % anual
Nezahualcoyotl	8	442.9	+8.2	Incremento +1.8 % anual
Portales	8	193.2	+1.5	Incremento +0.8 % anual
La Presa	7	328.9	+10.0	Incremento +3.0 % anual
Museo	7	236.9	+4.5	Incremento +1.9 % anual
Taxqueña	7	259.9	+11.0	Incremento +4.2 % anual
Vicentina	7	279.7	+3.2	Incremento +1.1 % anual
Mariano Escobedo	7	269.1	+13.9	Incremento +5.1 % anual
Cuchilla	6	333.6	+8.6	Incremento +2.6 % anual
Felipe Angeles	6	172.5	+12.8	Incremento +7.4 % anual
Lomas	5	92.1	+10.9	Incremento +11.8 % anual

**TABLA No. 4.7 Coeficientes de Correlación de las Líneas de
Regresión de P.S.T. Durante el Primer Semestre.**

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>Covariancias (r)</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto	9	+0.719	Regular Correlación
Nezahualcoyotl	9	+0.278	Mala Correlación
Villa	9	+0.710	Regular Correlación
Portales	8	+0.214	Mala Correlación
La Presa	7	+0.255	Mala Correlación
Museo	7	+0.339	Mala Correlación
Taxque\$	7	+0.840	Regular Correlación
Vicentina	7	+0.190	Mala Correlación
Mariano Escobedo	7	+0.556	Mala Correlación
Cuchilla	6	+0.669	Mala Correlación
Felipe Angeles	6	+0.475	Mala Correlación
Lomas	5	+0.682	Mala Correlación

**TABLA No. 4.8. Promedios de P.S.T. Durante el Segundo
Semestre (Julio a Diciembre) entre 1976 y 1984.**

<i>Estación</i>	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Aeropuerto	198	147	209	273	201	235	252	268	DND
Nezahualcoyotl	258	239	213	335	379	257	299	345	DND
Villa	232	161	192	283	309	257	218	293	DND
Portales	131	194	179	207	DND	196	157	182	DND
Cuchilla	DND	255	221	316	307	239	294	291	DND
Felipe Angeles	DND	299	169	210	137	188	184	175	DND
La Presa	DND	208	206	296	DND	265	260	360	DND
Museo	DND	151	161	224	251	240	215	184	DND
Taxqueña	DND	254	202	323	261	297	266	240	DND
Vicentina	DND	244	221	277	255	261	252	284	DND
Lomas	DND	94	77	DND	153	140	125	130	DND
Mariano Escobedo	DND	167	DND	255	261	288	234	288	DND

DND = Dato no disponible.

TABLA No. 4.9. Parámetros de la Líneas de Regresión de
P.S.T. durante el Segundo Semestre.

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto	8	175.5	+4.6	Incremento +2.6 % anual
Nezahualcoyotl	8	245.4	+9.0	Incremento +3.7 % anual
Villa	8	204.3	+7.8	Incremento +3.8 % anual
Cuchilla	7	255.8	+4.2	Incremento +1.6 % anual
Felipe Angeles	7	232.2	-8.3	Decremento -5.3 % anual
Museo	7	205.5	-0.4	Decremento -0.2 % anual
Portales	7	169.9	+1.6	Incremento +0.9 % anual
Taxqueña	7	254.7	+2.1	Incremento +0.8 % anual
Vicentina	7	242.5	+3.4	Incremento +1.4 % anual
La Presa	6	208.6	+12.7	Incremento +6.1 % anual
Lomas	6	87.8	+8.0	Incremento +9.1 % anual
Mariano Escobedo	6	259.5	+1.6	Incremento +0.6 % anual

TABLA No. 4.10. Coeficientes de Correlación de las
Líneas de Regresión de P.S.T. Durante el Segundo Semestre.

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>Covariancias (r)</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto	8	+0.631	Mala Correlación
Nezahualcoyotl	8	+0.395	Mala Correlación
Villa	8	+0.440	Mala Correlación
Cuchilla	7	+0.314	Mala Correlación
Felipe Angeles	7	-0.433	Mala Correlación
Museo	7	-0.026	Mala Correlación
Portales	7	+0.196	Mala Correlación
Taxqueña	7	+0.119	Mala Correlación
Vicentina	7	+0.611	Mala Correlación
La Presa	6	+0.638	Mala Correlación
Lomas	6	+0.655	Mala Correlación
Mariano Escobedo	6	+0.148	Mala Correlación

TABLA No. 4.11 Promedios de P.S.T. en la Temporada de
Primavera (Abril a Junio) entre 1976 y 1984.

Estación	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Aeropuerto	190	136	324	276	187	239	292	311	388
Nezahualcoyotl	341	DND	222	407	DND	366	325	513	DND
Villa	197	154	161	264	226	242	315	321	395
Portales	208	DND	206	235	182	193	190	255	85
Cuchilla	DND	DND	319	353	DND	305	257	409	723
Felipe Angeles	DND	DND	146	236	DND	125	212	251	DND
La Presa	DND	DND	386	350	298	455	346	510	575
Museo	DND	DND	158	259	227	251	217	267	209
Taxqueña	DND	DND	205	278	287	318	304	349	261
Vicentina	DND	DND	329	321	217	255	255	401	274
Lomas	DND	DND	98	DND	DND	102	174	218	128
Mariano Escobedo	DND	157	DND	279	234	280	267	309	412

DND = Dato no disponible.

TABLA No. 4.12. Parámetros de las Líneas de Regresión
de P.S.T. Durante la Temporada de Primavera.

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto	9	159.0	+20.3	Incremento +12.7 % anual
Villa	9	121.4	+26.3	Incremento +21.7 % anual
Portales	8	226.3	-6.4	Decremento -2.8 % anual
La Presa	7	316.9	+22.3	Incremento +7.0 % anual
Mariano Escobedo	7	209.0	+25.0	Incremento +11.9 % anual
Museo	7	210.0	+3.8	Incremento +1.8 % anual
Taxqueña	7	239.3	+11.7	Incremento +4.9 % anual
Vicentina	7	289.5	+0.8	Incremento +0.3 % anual
Cuchilla	6	267.0	+28.3	Incremento +10.6 % anual
Nezahualcoyotl	6	303.7	+11.7	Incremento +3.8 % anual
Felipe Angeles	5	173.4	+4.6	Incremento +2.6 % anual
Lomas	5	87.2	+12.4	Incremento +14.2 % anual

**TABLA No.4.13. Coeficiente de Correlación de las
Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Primavera.**

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>Covariancias (r)</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto	9	+0.700	Regular Correlación
Villa	9	+0.904	Buena Correlación
Portales	8	-0.375	Mala Correlación
La Presa	7	+0.592	Mala Correlación
Mariano Escobedo	7	+0.765	Regular Correlación
Museo	7	+0.268	Mala Correlación
Taxqueña	7	+0.551	Mala Correlación
Vicentina	7	+0.034	Mala Correlación
Cuchilla	6	+0.486	Mala Correlación
Nezahualcoyotl	6	+0.422	Mala Correlación
Felipe Angeles	5	+0.266	Mala Correlación
Lomas	5	+0.610	Mala Correlación

TABLA No.4.14. Promedios de P.S.T. Temporada de Verano
(Julio a Septiembre) entre 1976 y 1984 .

Estación	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Aeropuerto	183	117	DND	142	158	179	179	144	DND
Nezahualcoyotl	170	159	134	193	170	188	204	135	DND
Portales	117	DND	DND	155	DND	157	132	118	DND
Villa	179	136	159	203	176	192	200	211	DND
Cuchilla	DND	DND	132	149	185	202	221	163	DND
Felipe Angeles	DND	DND	110	147	137	133	125	93	DND
La Presa	DND	130	72	121	DND	152	152	156	DND
Museo	DND	145	135	168	172	192	181	151	DND
Taxqueña	DND	234	164	325	225	274	229	169	DND
Vicentina	DND	178	130	189	167	188	211	142	DND
Lomas	DND	89	77	DND	105	115	86	90	DND
Mariano Escobedo	DND	149	DND	194	196	253	188	215	DND

DND = Dato no disponible.

TABLA No.4.15. Parámetros de las Líneas de Regresión
de P.S.T. Durante la Temporada de Verano.

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>Observaciones</i>	
Nezahualcoyotl	8	164.2	+1.0	Incremento	+0.6 % anual
Villa	8	151.9	+7.4	Incremento	+4.9 % anual
Aeropuerto	7	151.0	+1.4	Incremento	+0.9 % anual
Museo	7	149.2	+3.2	Incremento	+2.1 % anual
Taxqueña	7	253.0	-4.8	Decremento	-1.9 % anual
Vicentina	7	167.7	+1.1	Incremento	+0.7 % anual
Cuchilla	6	154.6	+4.6	Incremento	+3.0 % anual
Felipe Angeles	6	101.1	-5.0	Decremento	-5.0 % anual
La Presa	6	101.7	+6.4	Incremento	+6.3 % anual
Lomas	6	89.7	+0.9	Incremento	+1.0 % anual
Mariano Escobedo	6	202.5	+1.9	Incremento	+0.9 % anual
Portales	5	118.1	+2.3	Incremento	+1.9 % anual

TABLA No.4.16. Coeficientes de Correlación de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Verano.

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>Covariancias (r)</i>	<i>Observaciones</i>
Nezahualcoyotl	8	+0.112	Mala Correlación
Villa	8	+0.717	Regular Correlación
Aeropuerto	7	+0.152	Mala Correlación
Museo	7	+0.398	Mala Correlación
Taxqueña	7	-0.132	Mala Correlación
Vicentina	7	+0.145	Mala Correlación
Cuchilla	6	+0.396	Mala Correlación
Felipe Angeles	6	-0.753	Regular Correlación
La Presa	6	+0.587	Mala Correlación
Lomas	6	+0.200	Mala Correlación
Mariano Escobedo	6	+0.152	Mala Correlación
Portales	5	+0.298	Mala Correlación

TABLA No.4.17. Promedios de P.S.T. en la Temporada de Otono

(Octubre a Diciembre) entre 1976 y 1984 .

Estación	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Aeropuerto	227	192	209	297	244	297	318	348	DND
Nezahualcoyotl	345	312	277	505	489	336	384	490	DND
Portales	146	194	180	229	DND	244	177	241	DND
Villa	274	199	215	339	380	319	250	398	DND
Cuchilla	DND	255	225	349	364	294	373	365	DND
Felipe Angeles	DND	299	204	265	DND	211	239	312	DND
La Presa	DND	293	210	416	DND	355	363	564	DND
Museo	DND	156	183	265	294	284	254	264	DND
Taxqueña	DND	271	231	322	292	325	302	316	DND
Vicentina	DND	303	224	321	317	322	284	397	DND
Lomas	DND	99	DND	DND	170	167	161	169	DND
Mariano Escobedo	DND	196	DND	294	298	326	275	364	DND

DND = Dato no disponible.

**TABLA No.4.18. Parámetros de las Líneas de Regresión
de P.S.T. Durante la Temporada de Otoño.**

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto	8	196.1	+14.1	Incremento +7.2 % anual
Nezahualcoyotl	8	328.3	+12.8	Incremento +3.9 % anual
Villa	8	225.9	+15.1	Incremento +6.7 % anual
Cuchilla	7	256.7	+13.6	Incremento +5.3 % anual
Museo	7	190.9	+11.6	Incremento +6.1 % anual
Portales	7	170.5	6.21	Incremento +3.6 % anual
Taxqueña	7	254.1	+10.0	Incremento +3.9 % anual
Vicentina	7	266.5	+9.6	Incremento +3.6 % anual
Felipe Angeles	6	249.0	+1.3	Incremento +0.5 % anual
La Presa	6	253.5	+25.2	Incremento +9.9 % anual
Mariano Escobedo	6	286.4	+7.0	Incremento +2.4 % anual
Lomas	5	127.5	+5.7	Incremento +4.5 % anual

**TABLA No.4.19. Coeficientes de Correlación de las Líneas de
Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Otoño.**

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>Covariancias (r)</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto.	8	+0.736	Regular Correlación
Nezahualcoyotl	8	+0.416	Mala Correlación
Villa	8	+0.586	Mala Correlación
Cuchilla	7	+0.603	Mala Correlación
Museo	7	+0.584	Mala Correlación
Portales	7	+0.530	Mala Correlación
Taxqueña	7	+0.642	Mala Correlación
Vicentina	7	+0.494	Mala Correlación
Felipe Angeles	6	+0.085	Mala Correlación
La Presa	6	+0.612	Mala Correlación
Mariano Escobedo	6	+0.380	Mala Correlación
Lomas	5	+0.607	Mala Correlación

**TABLA No.4.20. Promedios de P.S.T. en la Temporada de Invierno
(Enero a Marzo) entre 1976 y 1984 .**

<i>Estación</i>	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Aeropuerto	277	DND	256	319	389	231	400	279	328
Nezahualcoyotl	781	DND	459	528	DND	574	570	498	628
Portales	298	DND	195	274	DND	DND	333	202	220
Villa	381	DND	245	385	DND	438	419	339	352
Cuchilla	DND	DND	294	372	DND	472	447	342	353
Felipe Angeles	DND	DND	253	292	DND	DND	348	245	322
La Presa	DND	DND	322	515	342	DND	580	468	506
Museo	DND	DND	211	293	324	344	359	240	263
Taxqueña	DND	DND	297	302	DND	DND	361	307	329
Vicentina	DND	DND	363	435	170	420	454	337	396
Lomas	DND	DND	167	DND	DND	191	254	172	183
Mariano Escobedo	DND	DND	DND	341	411	332	439	292	371

DND = Dato no disponible.

TABLA No.4.21. Parámetros de las Líneas de Regresión
de P.S.T. Durante la Temporada de Invierno.

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>Observaciones</i>	
Aeropuerto	8	284.0	+5.2	Incremento	+1.8 % anual
Museo	7	281.5	+2.0	Incremento	+0.7 % anual
Nezahualcoyotl	7	609.1	-6.7	Decremento	-1.1 % anual
Vicentina	7	348.1	+4.4	Incremento	+1.3 % anual
Villa	7	348.7	+3.4	Incremento	+1.0 % anual
Cuchilla	6	360.0	+4.5	Incremento	+1.3 % anual
La Presa	6	380.7	+16.6	Incremento	+4.4 % anual
Mariano Escobedo	6	354.3	-2.9	Decremento	-0.8 % anual
Portales	6	271.5	-3.5	Decremento	-1.3 % anual
Felipe Angeles	5	274.0	+4.0	Incremento	+1.5 % anual
Lomas	5	183.7	+2.4	Incremento	+1.3 % anual
Taxqueña	5	298.0	+5.3	Incremento	+1.8 % anual

TABLA No.4.22. Coeficientes de Correlación de las Líneas de Regresión de P.S.T. Durante la Temporada de Invierno.

<i>Estación</i>	<i>n</i>	<i>Covariancias (r)</i>	<i>Observaciones</i>
Aeropuerto	8	+0.250	Mala Correlación
Museo	7	+0.099	Mala Correlación
Nezahualcoyotl	7	-0.182	Mala Correlación
Vicentina	7	+0.120	Mala Correlación
Villa	7	+0.170	Mala Correlación
Cuchilla	6	+0.193	Mala Correlación
La Presa	6	+0.471	Mala Correlación
Mariano Escobedo	6	-0.099	Mala Correlación
Portales	6	-0.217	Mala Correlación
Felipe Angeles	5	+0.296	Mala Correlación
Lomas	5	+0.180	Mala Correlación
Taxqueña	5	+0.053	Mala Correlación

CAPITULO 5

ANALISIS DE FRECUENCIAS Y DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO Y CONTAMINANTES GASEOSOS

Los resultados que a continuación se presentan se obtuvieron utilizando datos proporcionados por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, los cuales abarcan un periodo de dos años (1986-1987), y fueron complementados con diferentes fuentes de información, entre las cuales se incluyen artículos de revistas técnicas y ponencias presentadas en diferentes congresos nacionales e internacionales.

Con la información proporcionada por la SEDUE y para cada una de las estaciones que integran la red automática de monitoreo, se procesaron los datos de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3) y plomo (Pb)

mediante un análisis estadístico que consistió en establecer la distribución espacial y temporal de las concentraciones de los estos contaminantes, así como su distribución de probabilidades.

5.1. Plomo

En la actualidad existe gran preocupación por la presencia de elementos tóxicos en aerosoles urbanos, en particular, por lo que se denominan "metales pesados". De los diferentes metales pesados que típicamente contaminan el aire de las atmósferas urbanas, el plomo ha recibido especial atención debido a su peligrosidad como agente tóxico y a que, una de las principales fuentes de emisión de este elemento en países cuyas gasolinas contienen plomo, es el automóvil. En México el contenido de plomo en la gasolina ha variado considerablemente en años recientes, como resultado de diferentes políticas en torno al octanaje de la gasolina, de manera que resulta interesante conocer como se han modificado las concentraciones de este elemento en el aire de la Ciudad de México, y de qué manera están impactando la calidad del aire que se respiran en el valle.

En nuestro país no existe una norma de calidad del aire en lo que a plomo se refiere; por lo tanto, para los propósitos del presente estudio y con el fin de evaluar los niveles de plomo existentes, se decidió utilizar como norma el valor $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual corresponde a la norma de calidad del aire de Estados Unidos de América, referida como un promedio geométrico trimestral.

Los datos que se tomaron para el análisis de las concentraciones de plomo y que se presentan a continuación, fueron

proporcionados por SEDUE, para el periodo de 1986-87, Bravo *et al* (1981), Salazar *et al* (1981), Grana (1982), Velázquez (1982) y Fuentes *et al* (1981). En la Tabla 5.1, se proporcionan los valores de concentración promedio trimestral para las zonas suroeste y noroeste del área metropolitana del Valle de México. Es interesante notar como la concentración de plomo en el aire ha disminuido notoriamente como consecuencia de la reformulación de la gasolina en el periodo de 1981-1987, la cual ha variado su contenido de plomo desde valores superiores a los 2 ml/gal a menos de 1 ml/gal en la actualidad. Como consecuencia de ello, las concentraciones de plomo en el aire ambiente, se han reducido a menos del 50 % de los valores que existían en el año de 1981.

Si se considera que a medida que los periodos de muestreo son más prolongados los valores promedios de las concentraciones tienden a decrecer, y de acuerdo con los datos de la Tabla 5.1, se puede concluir que el niveles de contaminación en el Valle de México son inferiores con respecto a ciudades como Milan y Caracas (tabla 5.2).

En 1981, Salazar *et al*, reportaron un valor promedio geométrico para un periodo de 14 meses, (julio 79-agosto 80), de $0.947 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Comparando este valor con el reportado para la ciudad de Caracas (1981), resulta del orden de la mitad. En cambio, con respecto a Bombay, India, donde el tráfico vehicular es muy inferior al de la ciudad de México, las concentraciones actuales son tres veces mayores a las detectadas en esa ciudad hindú.

En la figura 5.1 se graficaron las variaciones de

**TABLA No. 5.1. Concentraciones Promedio Trimestrales de
Plomo en las zonas de SO y NO del Valle de México.**

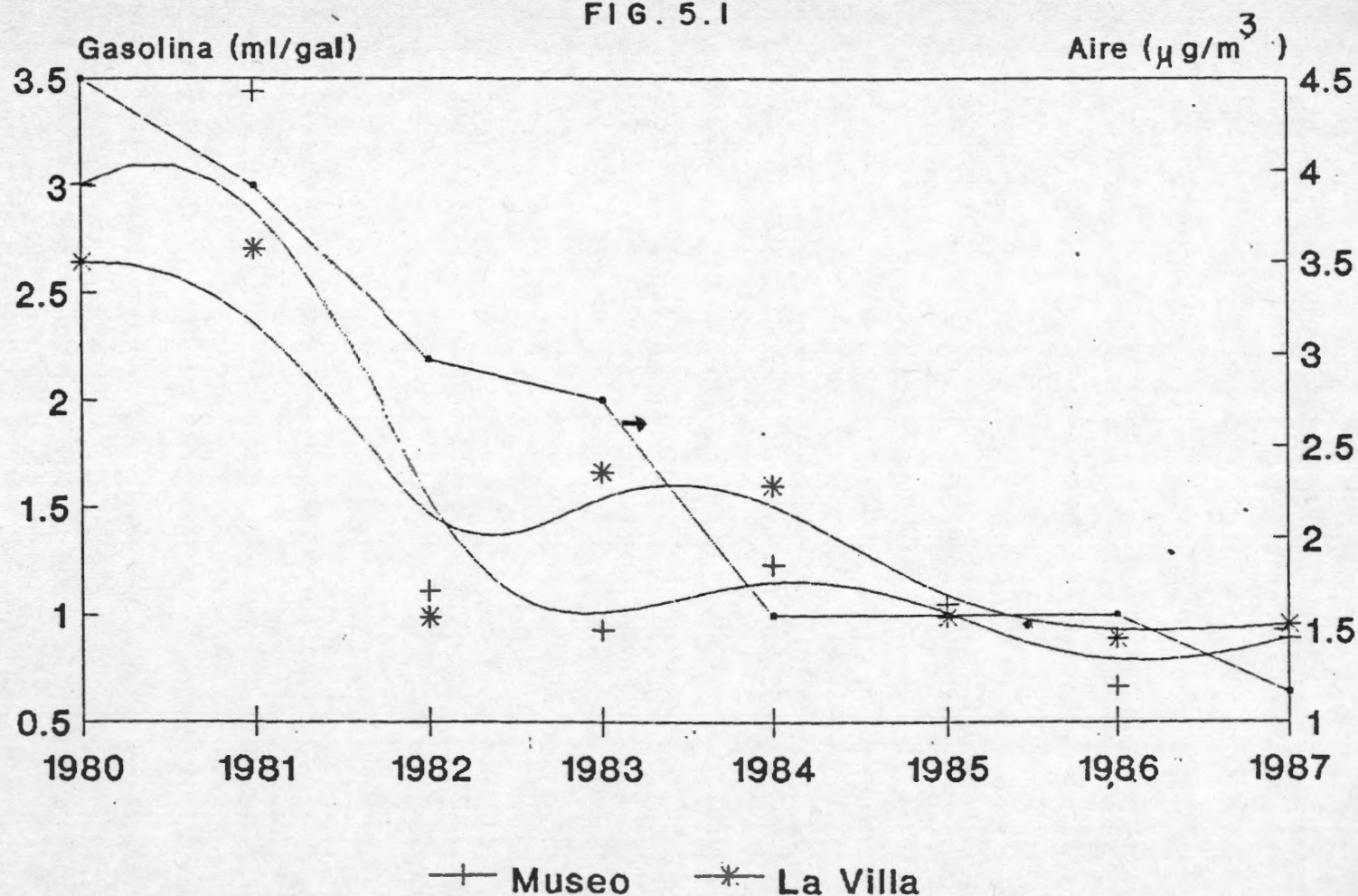
<i>FUENTE</i>	<i>ZONA</i>	<i>PERIODO</i>	<i>Plomo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>
Fuentes <i>et al</i>	SO	nov 80/feb 81	2.550
SEDUE	SO	nov 86/ene 87	1.033
Grana	NO	nov 81/ene 82	2.632
SEDUE	NO	nov 86/ene 87	0.963

**TABLA No. 5.2. Promedios Geométricos anuales de Plomo
para algunas ciudades del Mundo.**

<i>CIUDAD</i>	<i>PERIODO</i>	<i>MEDIA GEOMETRICA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>
Caracas	1 año	1.8
Sao Paulo	1 semana	1.1
Johannesburg	3 semanas	0.9
Bombay	10 meses	0.33
Milán	3 años	1.0
Pasadena	1 mes	2.1

Concentracion de Pb en gasolina y aire Valle de Mexico (1980 - 1987)

FIG. 5.1



concentración de plomo en la gasolina y en el aire. Las concentraciones de plomo en aire, se obtuvieron a partir de los datos publicados por Bravo (1980-85) y por SEDUE (1986-87), y las concentraciones de plomo en gasolina, por Bravo *et al.* En esta gráfica se observa la existencia de una relación directa entre ambas concentraciones; este hecho, al menos para las zonas de monitoreo a que se refiere la información, reafirma la hipótesis que atribuye este tipo de contaminación a las emisiones vehiculares. Es interesante hacer notar cómo la reducción del contenido de plomo en la gasolina repercutió en una mejoría de la calidad del aire. La concentración de plomo en el aire ambiente se abatió desde casi $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta valores de alrededor de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y en la gasolina desde 3.5 ml/gal hasta alrededor de 1 ml/gal, lo que representa una reducción de aproximadamente 62.5 %, como consecuencia de una disminución del 71 % en el contenido de plomo de la gasolina en el periodo mencionado.

En la figura 5.2 se presentan las fluctuaciones mensuales de las concentraciones de plomo. Como puede apreciarse en dicha figura, hacia el final de la época de lluvias, entre julio y septiembre, se observa una reducción significativa en los niveles de plomo. En contraste, se observa un notable incremento en la época de estiaje. Este hecho demuestra que las lluvias tienen una influencia notable en remover contaminantes del aire, en especial aquellos que están presentes en forma de partículas, como es el caso del plomo. En las gráficas que se muestran en las figuras 5.3 y 5.4, se presentan los valores de las concentraciones del plomo correspondientes a las zonas de Tacuba (año 1982) y Ciudad

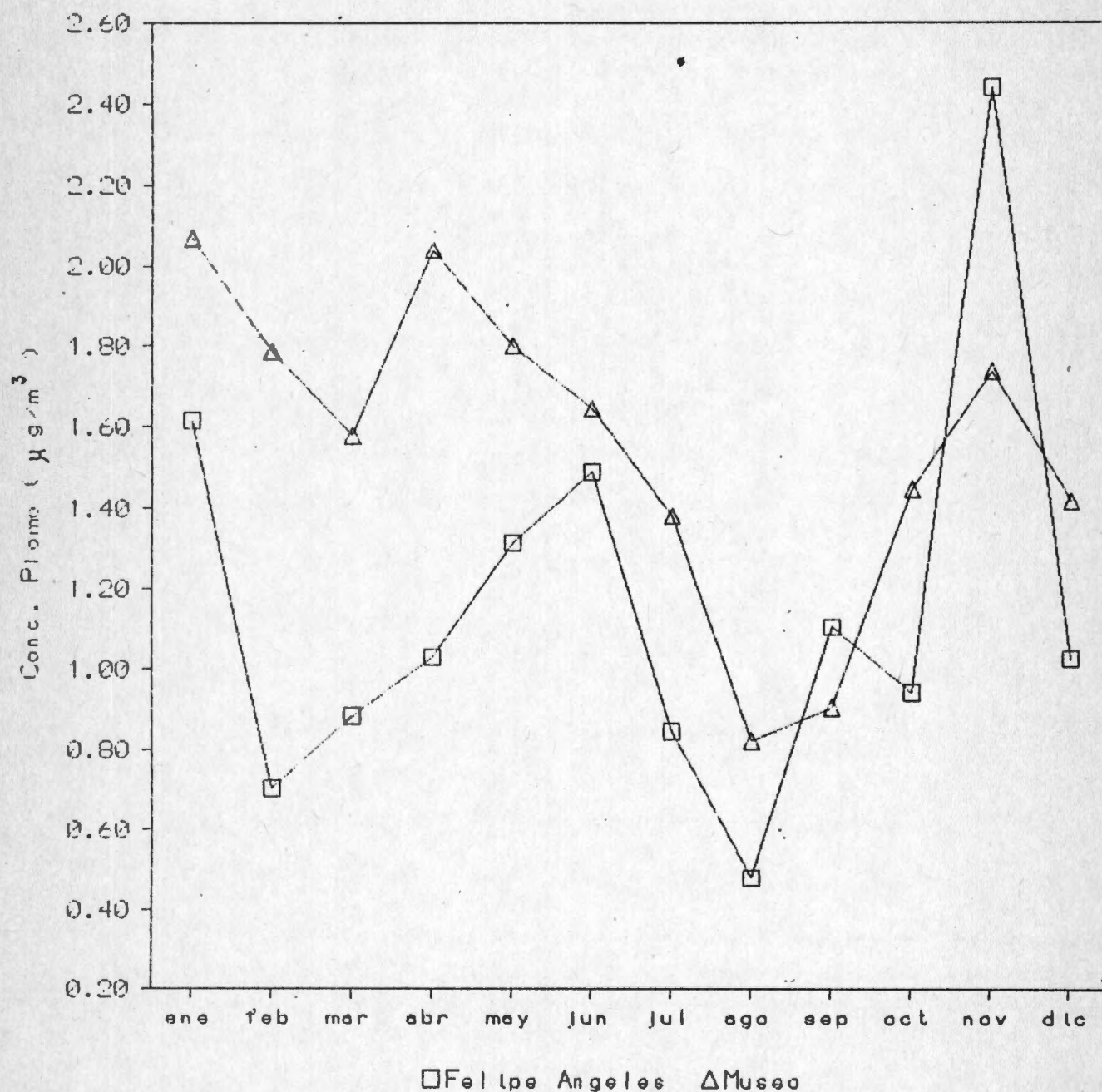
Universitaria (noviembre 1980-1981), respectivamente. En ambos casos se observa un "pico" a mediados de la semana, hecho que podría asociarse a un incremento de la actividad vehicular en esas zonas durante esos días.

Por otra parte, si se analizan datos más recientes (años 1986-87) y como se puede apreciar en la figura 5.5, resulta interesante ver que en la zona sur de la ciudad el contenido de plomo en la atmósfera alcanza un máximo los días sábado; mientras que en la zona norte existe un moderado aumento a mediados de la semana. En el primer caso esto se debe posiblemente al notable incremento de la densidad vehicular los días viernes por la tarde y sábados por la mañana. Como se observa en esas figuras, los domingos los niveles de contaminación bajan comparativamente a los otros días de la semana.

La figura 5.6 muestra las líneas de isoconcentración de plomo en el área metropolitana de la Ciudad de México. Como los vientos del norte son predominantes, y siendo ésta la zona con mayor contenido de plomo atmosférico, se observa una disminución de la concentración de plomo hacia el sur de la ciudad debido al proceso de dilución de los contaminantes a lo largo de su trayectoria y su sedimentación. Es interesante notar que el patrón de distribución de plomo en la ciudad es muy similar al de las partículas suspendidas, lo que hace muy probable que dicho patrón sea el mismo que siguen otros metales pesados, de manera que las zonas del Valle de México más limpias en términos metales pesados estarían situadas al suroeste de la región, tal y como ocurre con las partículas suspendidas. Por supuesto que esta

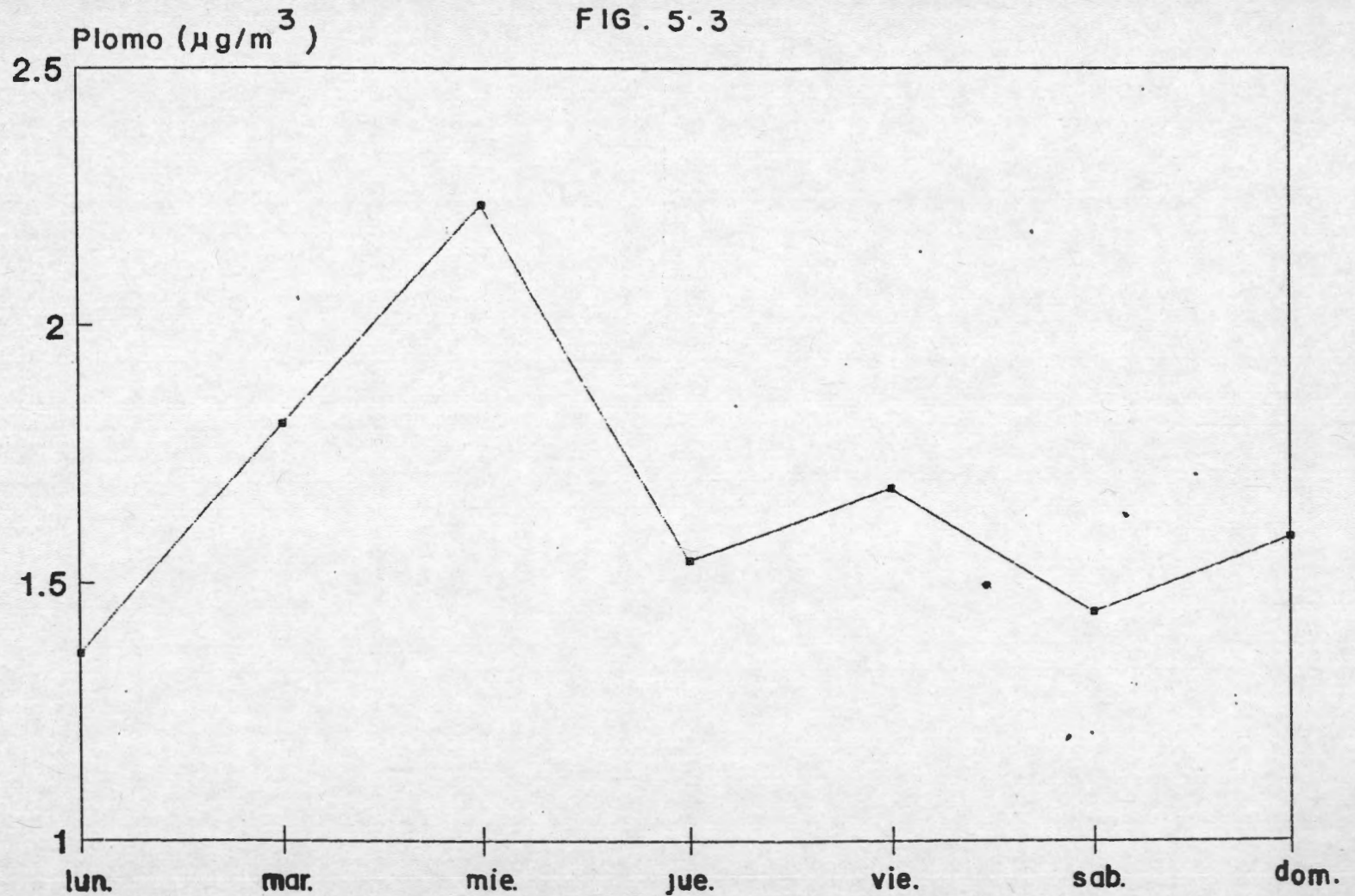
VARIACION MENSUAL DE LAS CONCENTRACIONES DE
PLOMO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) EN EL VALLE DE MEXICO.
(1986).

FIG. 5.2



Concentracion de Plomo en aire segun dia de la semana

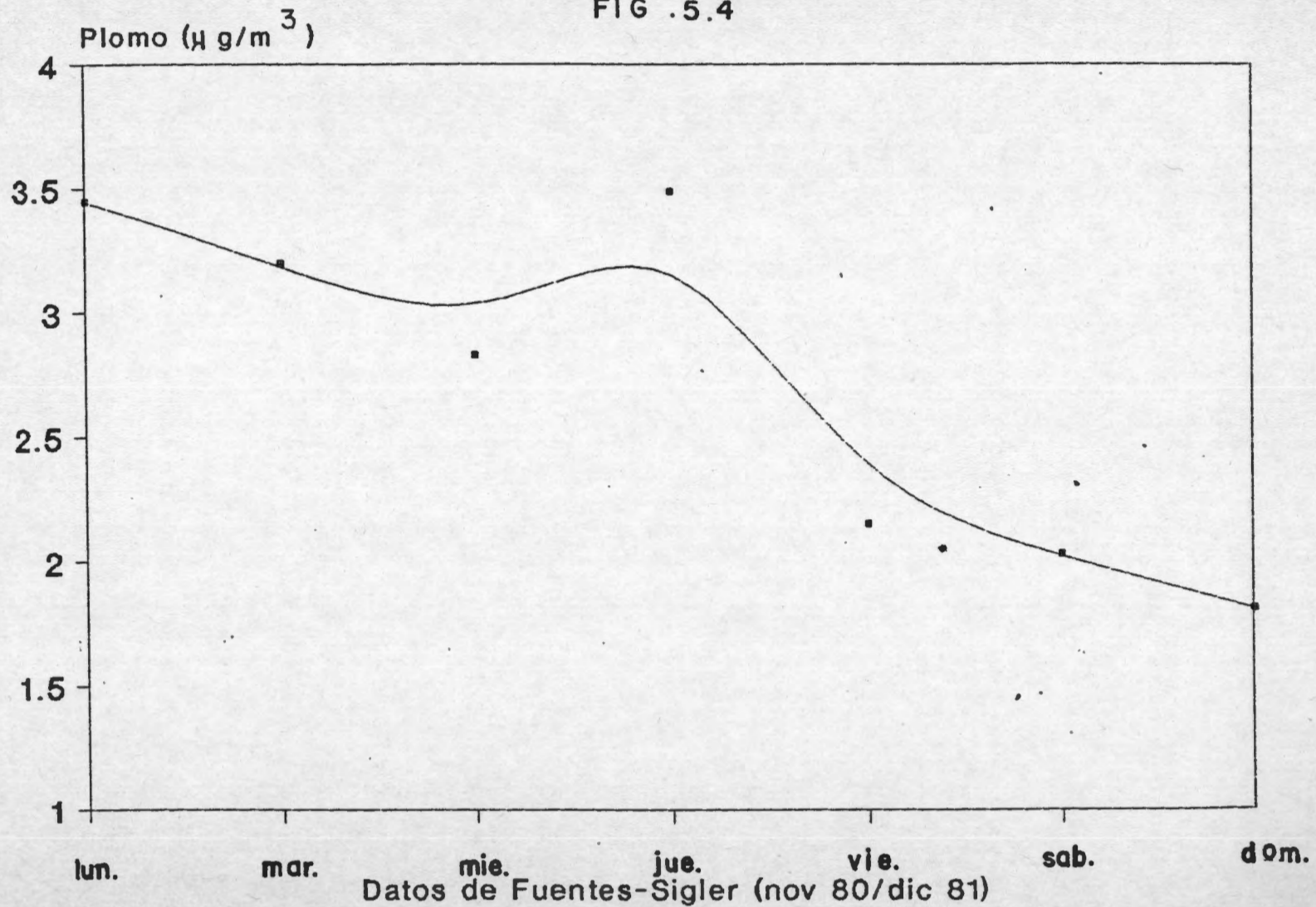
FIG. 5.3



Datos de la E.N.C.B - I.P.N (1982)

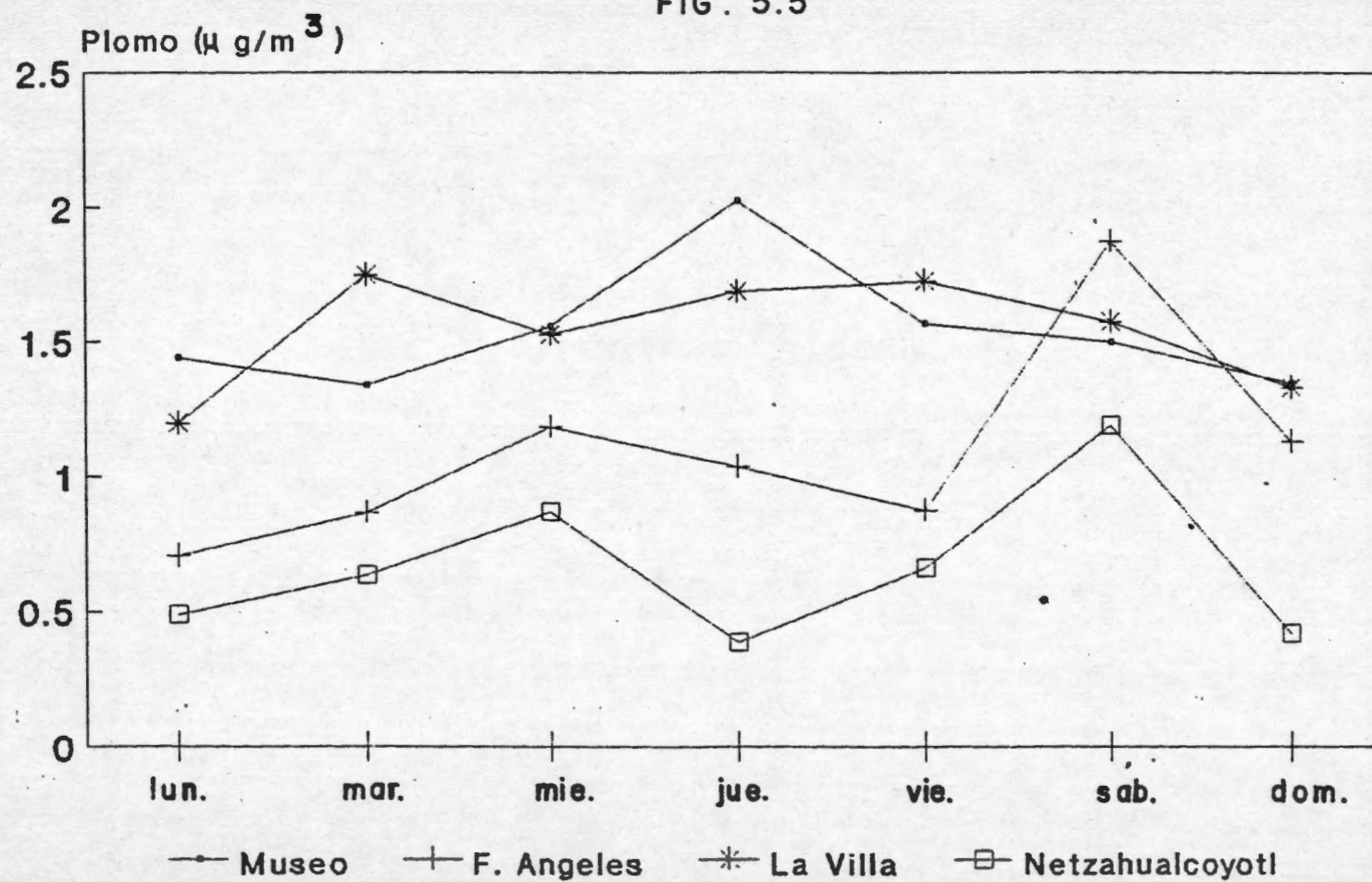
Concentracion de Pb en aire segun el dia de la semana en C.U

FIG .5.4



Concentracion de plomo segun dia de la semana (datos de SEDUE)

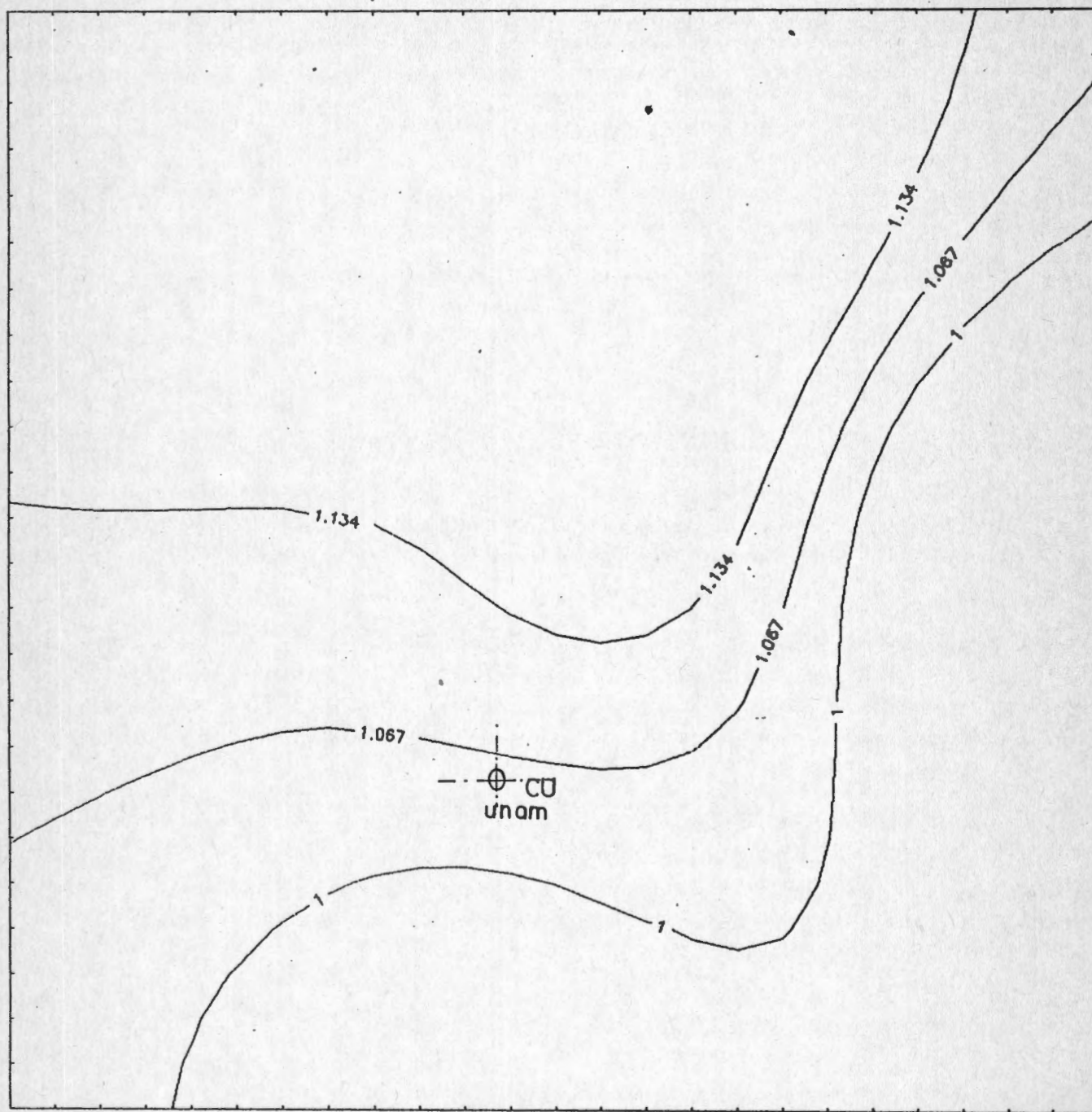
FIG. 5.5



Valle de Mexico, 1986-87

LINEAS DE ISOCONCENTRACION DE PLOMO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) EN EL
VALLE DE MEXICO. PROMEDIO GEOMETRICO ANUAL (1986)

FIG . 5.6



hipótesis tendría que ser confirmada mediante la observación periódica de otros metales pesados en toda la zona de estudio.

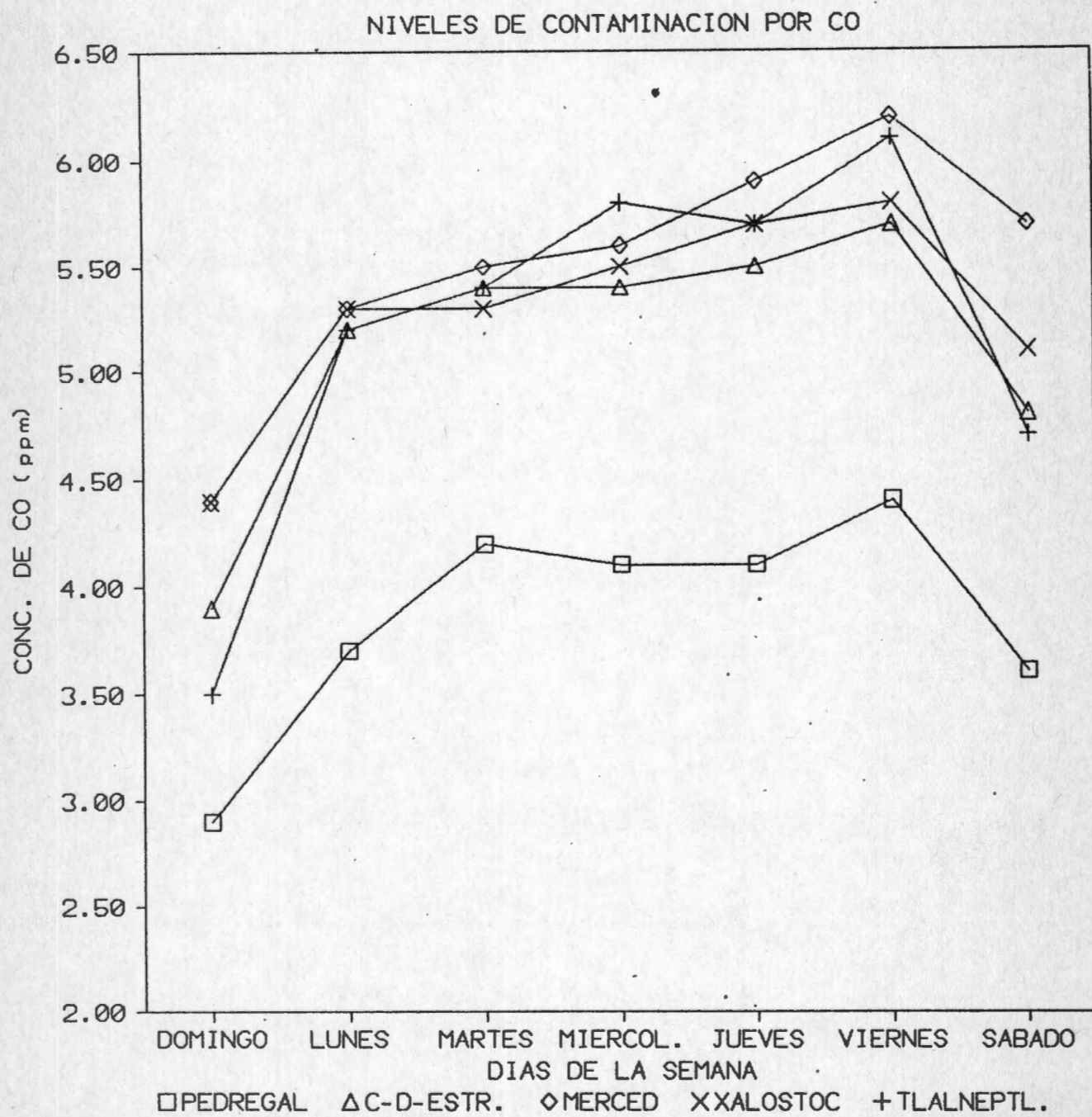
5.2. Monóxido de carbono.

Las fuentes principales de monóxido de carbono en la Ciudad de México son los vehículos automotores, contribuyendo éstos con más del 90 % de la emisiones totales que se efectúan en la zona. Lo anterior significa que las variaciones temporales y espaciales de este compuesto en el aire ambiente deben de seguir aproximadamente el patrón de fluctuación que establecen las fuentes móviles dentro del valle.

En la figura 5.7 se han graficado las concentraciones promedio correspondientes a los diferentes días de la semana. Se puede observar que en las cinco estaciones que integran la red de monitoreo automática, se presenta una disminución muy notoria en los niveles de contaminación los días sábado y domingo, especialmete en este último día. Esta reducción es de aproximadamente el 40 % respecto de los viernes, días en los cuales las concentraciones son mayores, en todo el área de estudio. Asimismo, en la misma figura es posible apreciar una marcada reducción en los niveles de contaminación en la zona del Pedregal, lo cual obviamente está asociado con una disminución sustancial en el volumen de tráfico vehicular que caracteriza a esa zona.

Es importante señalar que, de acuerdo a diversos estudios llevados a cabo respecto al comportamiento del CO en las cercanías de ejes de vialidad importantes, el CO tiende ha disminuir

FIG. 5.7

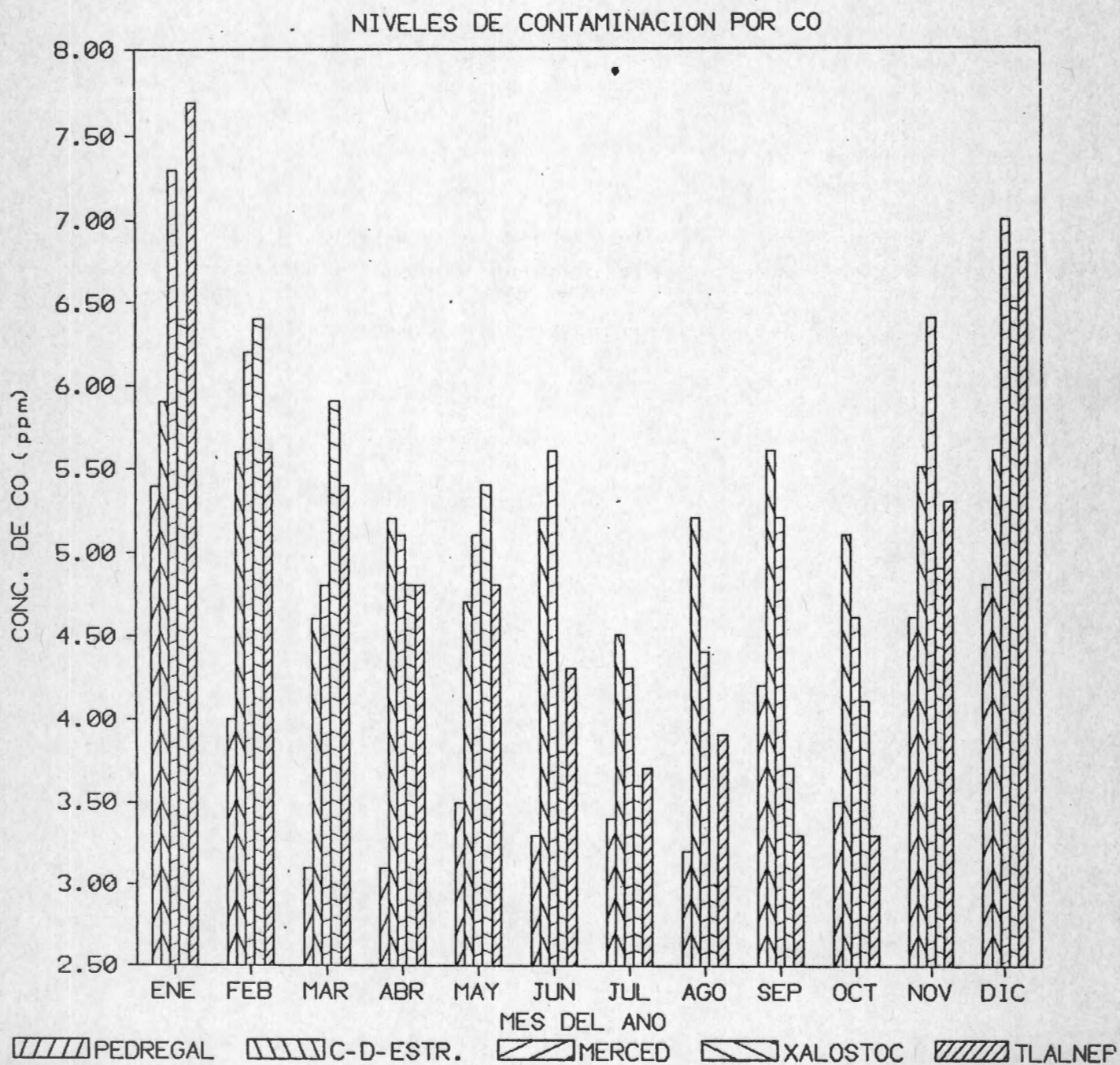


sustancialmente, después de unos cuantos de cientos de metros, sobre calles transversales a dichos ejes, de manera que alrededor de los 100 metros o más prácticamente se alcanza una concentración uniforme denominada "de fondo", la cual caracteriza a una región relativamente grande de la zona urbana local. Lo anteriormente mencionado permite efectuar extrapolaciones respecto a los niveles de contaminación que pueden existir en otras regiones de la ciudad que no están sujetas a monitoreos periódicos, como por ejemplo las áreas residenciales localizadas en Xochimilco, San Jerónimo, Las Aguilas, Las Lomas, Cd. Satélite y otras localizadas principalmente en la periferia de la ciudad, las cuales seguramente tienen niveles de CO similares a las que caracteriza al la zona aledaña al Pedregal.

En la figura 5.8 se muestran los promedios mensuales de CO. Los meses invernales sin lugar a dudas presentan las niveles de contaminación más altos, particularmente el mes de enero y diciembre, en ese orden. Por otra parte, los meses de verano corresponden a la temporada más limpia del año, en especial el mes de julio. Por supuesto que estos resultados están asociados a una mayor capa de mezcla y ventilación natural que caracteriza a la temporada de verano y que inciden en los niveles de contaminación de la ciudad con una dilución muy significativa.

Las figura 5.9 a la 5.13, presentan la distribución de frecuencias de las concentraciones de CO en las estaciones previamente mencionadas. La norma de calidad del aire se muestra en estas figuras claramente, con el objeto de servir de base de comparación. Es interesante observar que ésta se rebasa unicamente

FIG. 5.8

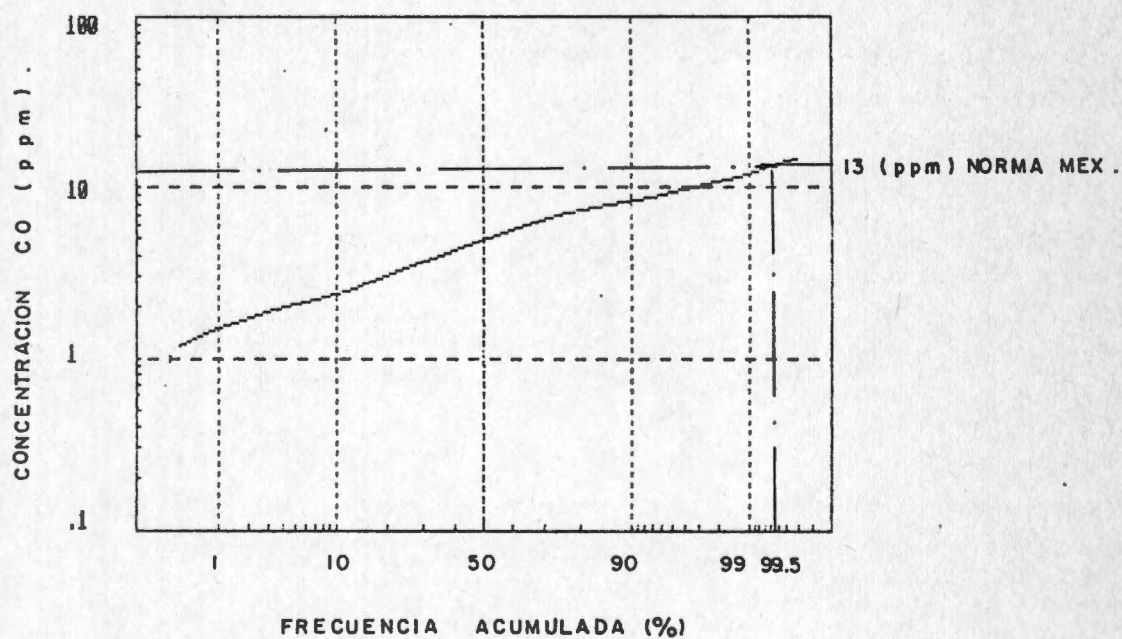


DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE CO.

(PERIODO 86 - 87)

ESTACION : TLALNEPANTLA

FIG . 5.9

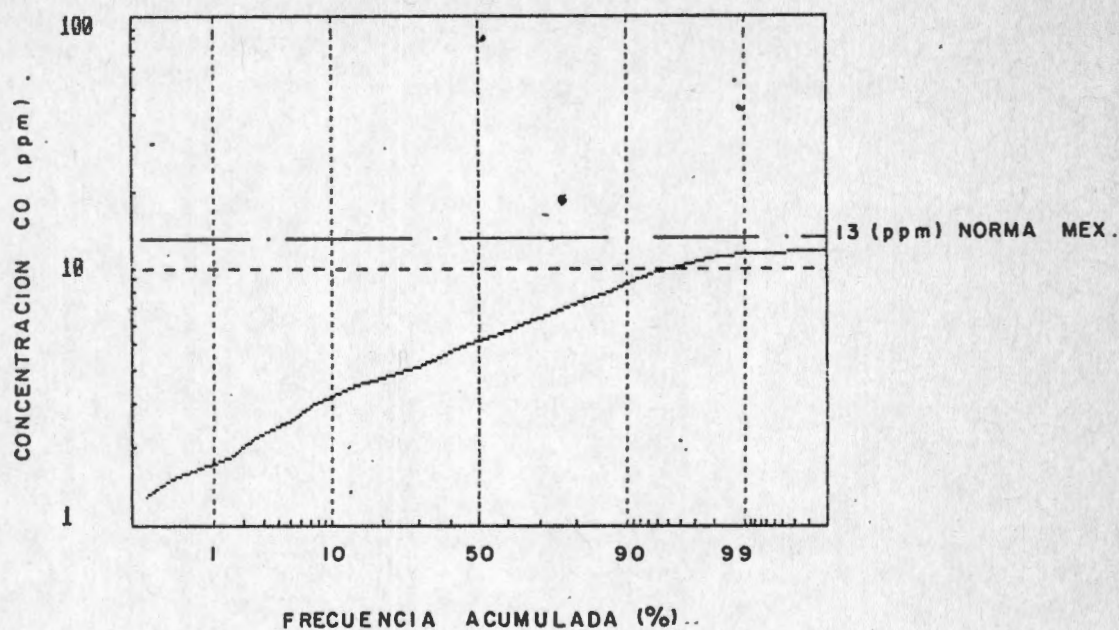


DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE CO.

(PERIODO 86 - 87)

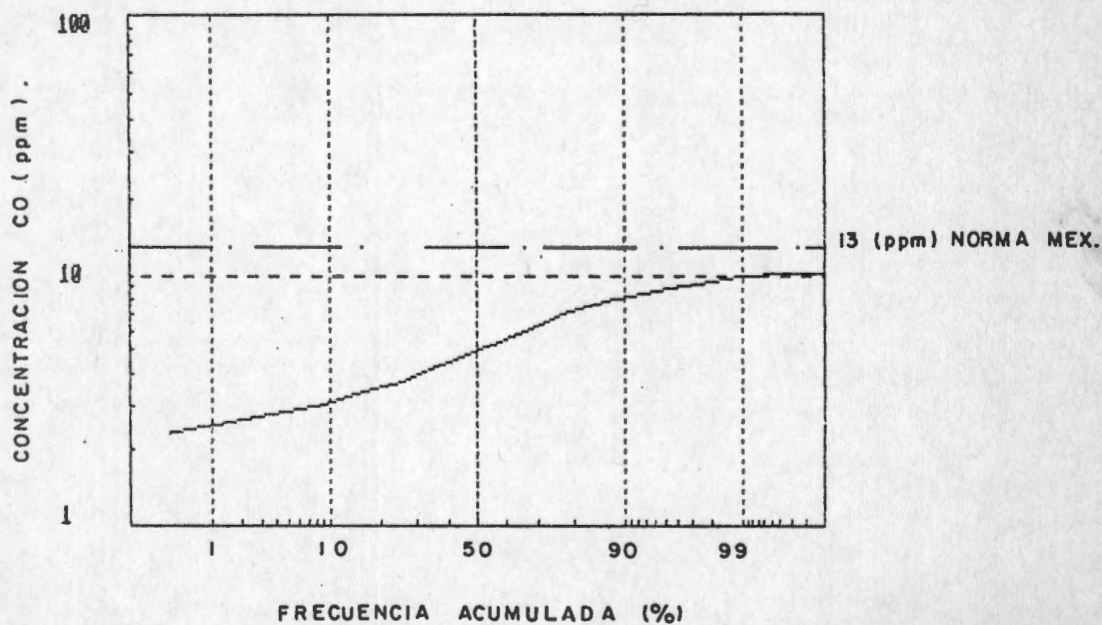
ESTACION : MERCED

FIG. 5.10



ESTACION : XALOSTOC

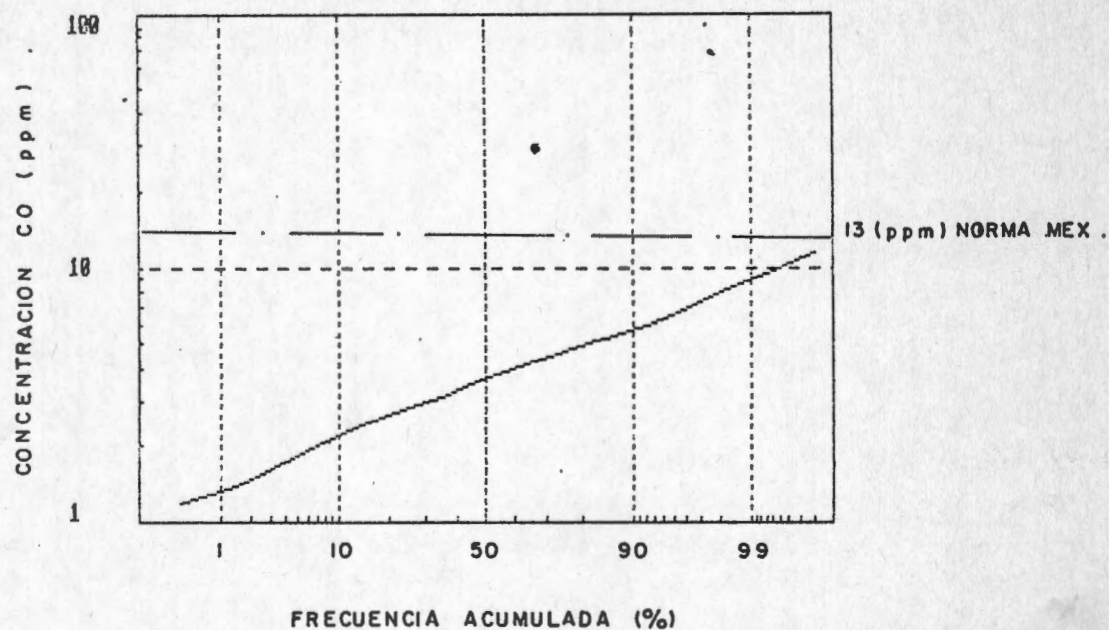
FIG. 5.11



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE CO .
(PERIODO 86 - 87)

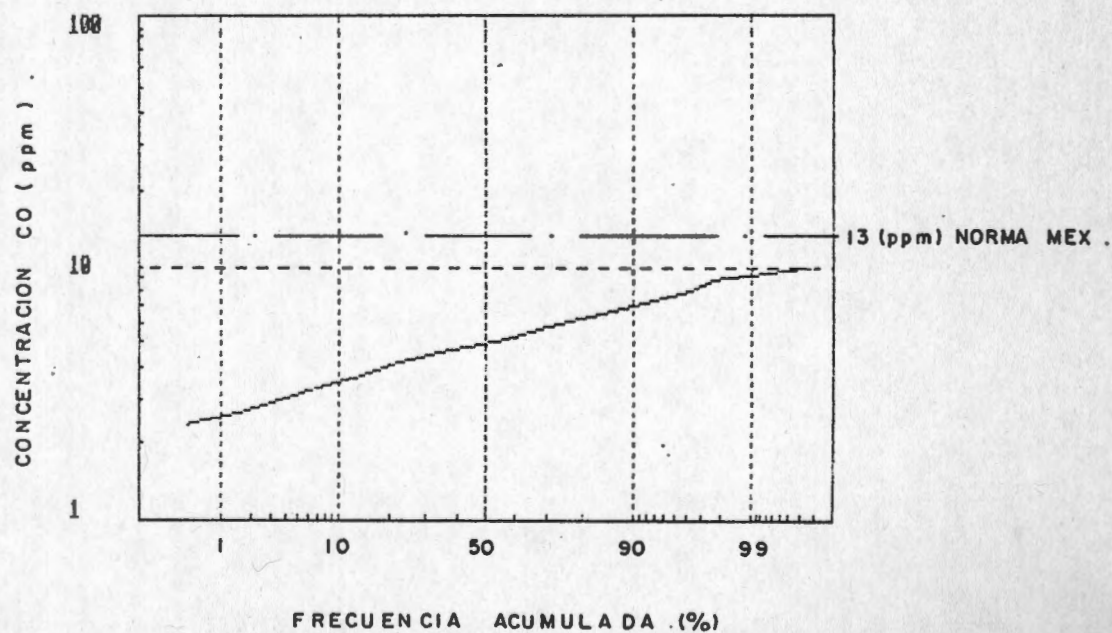
ESTACION : PEDREGAL

FIG. 5.12



ESTACION : CERRO DE LA ESTRELLA

FIG. 5.13



en la zona de Tlalnepantla, considerando concentraciones promedio de 8 horas, que son las que establece la norma mexicana de calidad del aire. En realidad el porcentaje de veces que se excede el valor de la norma en esta región de la ciudad es relativamente bajo, y hace posible aseverar que el CO no representa un problema de contaminación de importancia en el Valle de México, si se considera su impacto en los habitantes del valle desde una perspectiva global; sin embargo, y de acuerdo a diversos estudios realizados para evaluar los niveles de contaminación en las cercanías de ejes de vialidad importantes, estos niveles son superiores en dichos lugares y representan un peligro mayor a personas que por el tipo de labores que realizan se encuentran constantemente expuestas al CO, como por ejemplo policías y vendedores ambulantes.

5.3. Dióxido de Azufre

En el caso de la Ciudad de México la presencia de dióxido de azufre se debe, en general, a la combustión de diversos derivados del petróleo con un alto contenido de azufre, principalmente en industrias y algunos servicios, como baños públicos y panaderías, los cuales utilizan como combustible al combustóleo, siendo una fuente importante del SO_2 .

En la figura 5.14 se observa la variación por día de la semana de las concentraciones de SO_2 . De manera similar al comportamiento del CO, los niveles de contaminación mínimos ocurren los domingos y sábados, existiendo en general poca variación los otros días de la semana, con excepción del comportamiento observado en la zona de Xalostoc, en donde el día

FIG. 5.14

NIVELES DE CONTAMINACION POR SO₂

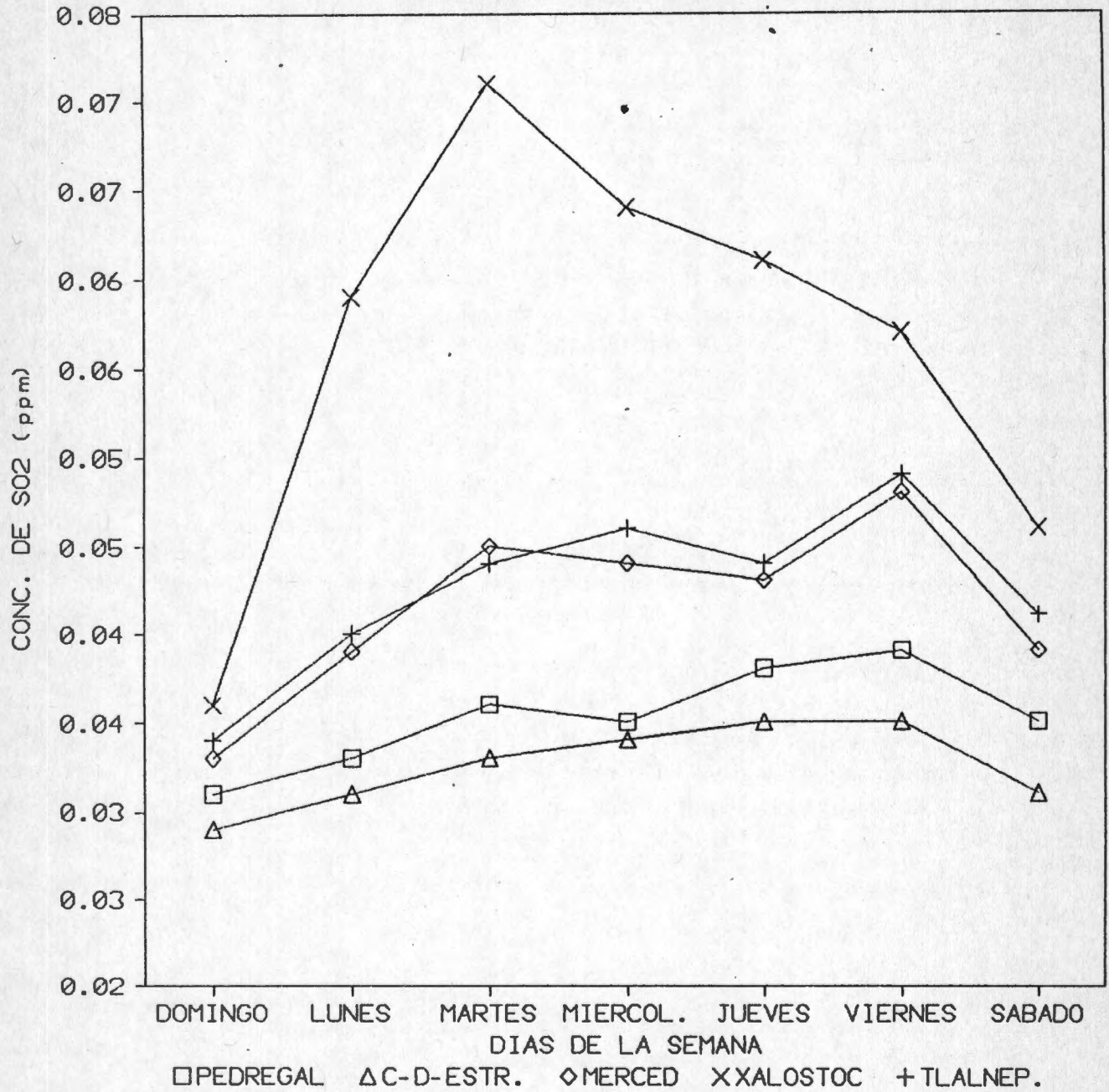
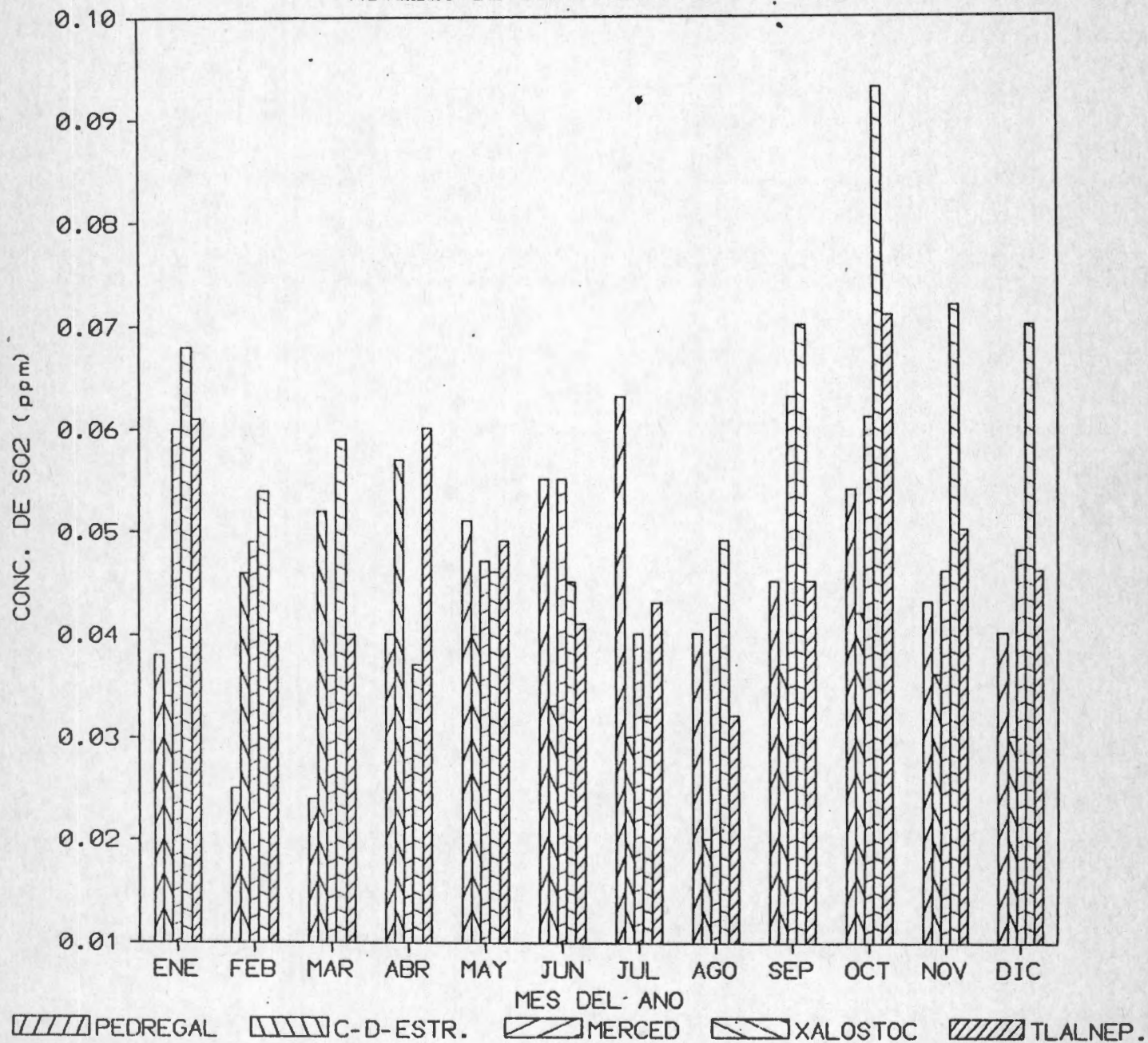


FIG. 5.15

NIVELES DE CONTAMINACION POR SO₂



más crítico corresponde al martes. Este comportamiento "anómalo" podría explicarse mediante un efecto local asociado al arranque, el día lunes, de numerosos servicios y pequeñas industrias que permanecen sin actividad el fin de semana; de manera que el fenómeno que se observa el martes posiblemente se deba a un efecto de acumulación del SO_2 .

La variación mensual de este contaminante es similar a la que se anotó para el CO, como se ilustra en la figura 5.15, observándose, aunque menos marcadamente, que en este último caso, se presenta una disminución de los niveles de contaminación durante la época de verano, por lo que los procesos naturales de remoción dada por la lluvia en esos meses.

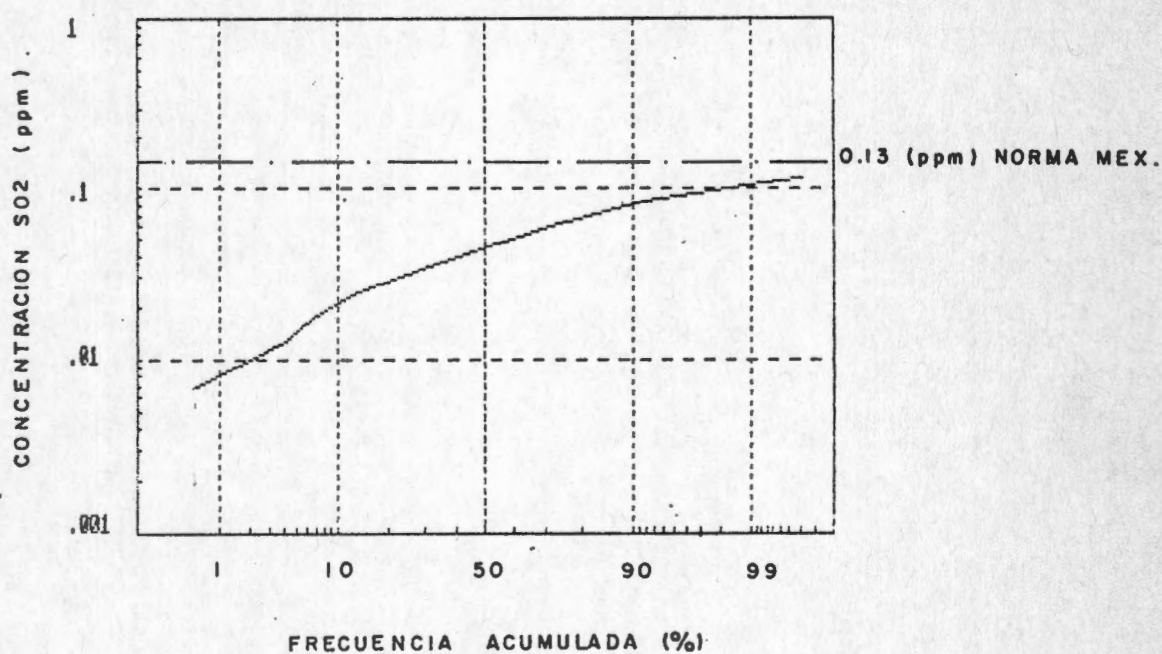
Las distribuciones de frecuencias que se presentan de la figuras 5.16 a la 5.20 muestran que la única zona de la ciudad donde se excede el valor de la norma de calidad del aire, es el área de Xalostoc, en donde ésta se rebasa el 2% de los días del año. Si bien estos resultados confirman el hecho conocido desde hace algunos años, de que en la Ciudad de México el SO_2 no constituye un problema de contaminación prioritario, es importante destacar, como se explica en el siguiente capítulo, su participación en la formación de sulfatos y eventualmente en la generación de lluvia ácida sobre sitios más alejados de la Ciudad de México, como por ejemplo los valles de Cuernavaca y de Puebla, los cuales se encuentran en las direcciones impactadas por el arrastre de la contaminación debido a los vientos dominantes que prevalecen en el Valle de México.

DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE SO₂.

(PERIODO 86 - 87)

ESTACION : TLALNEPANTLA

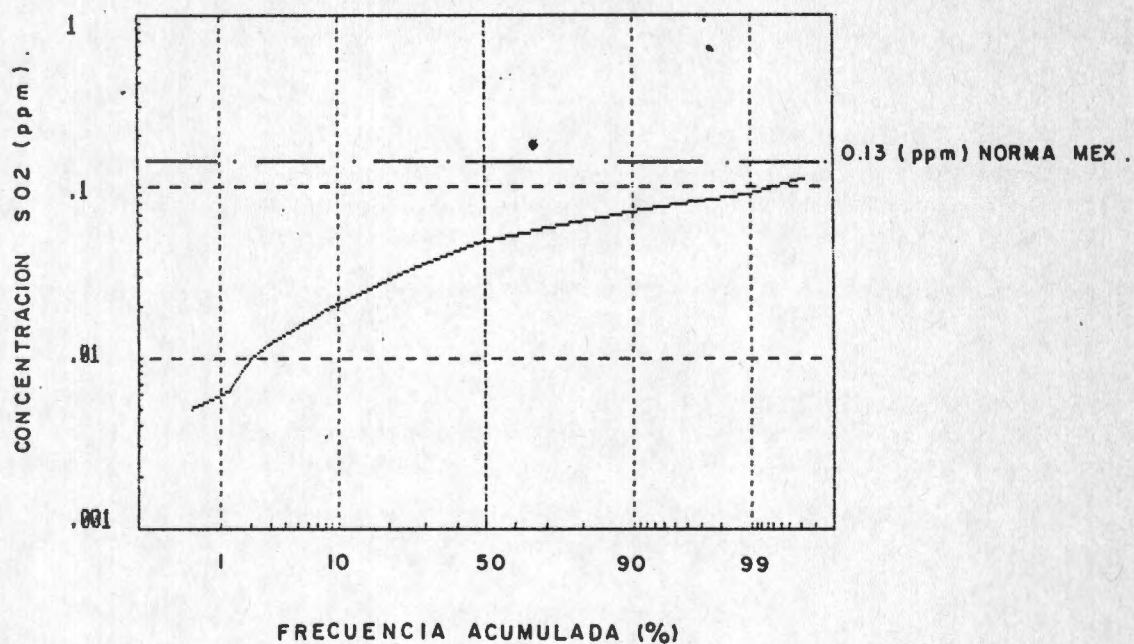
FIG . 5.16



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE SO₂ .
(PERIODO 86 - 87)

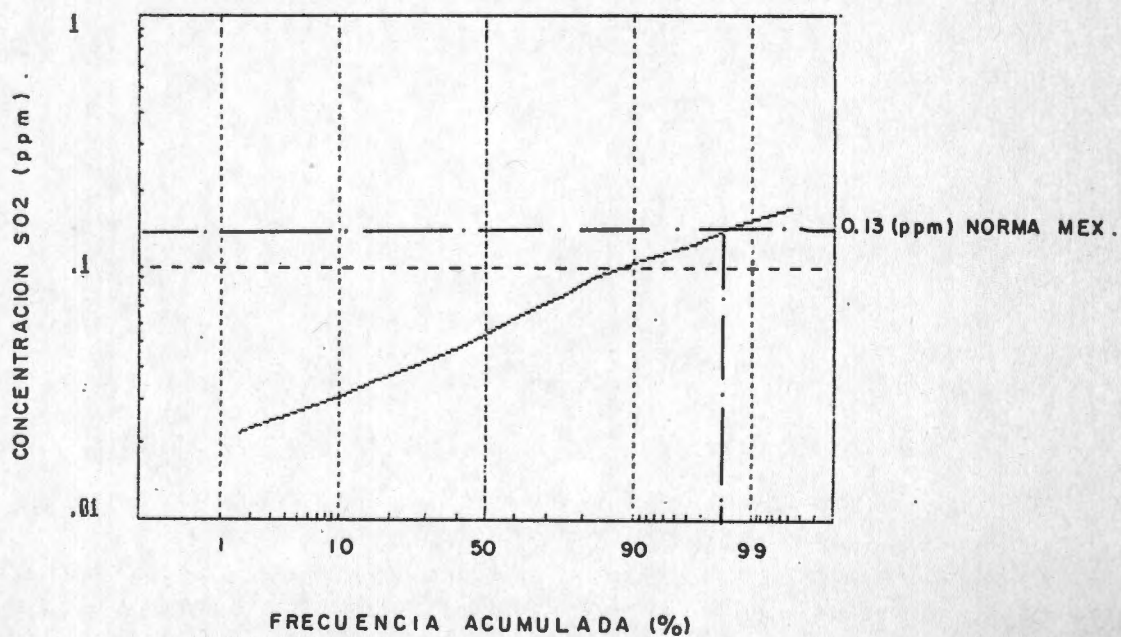
ESTACION : MERCED

FIG. 5.17



ESTACION : XALOSTOC

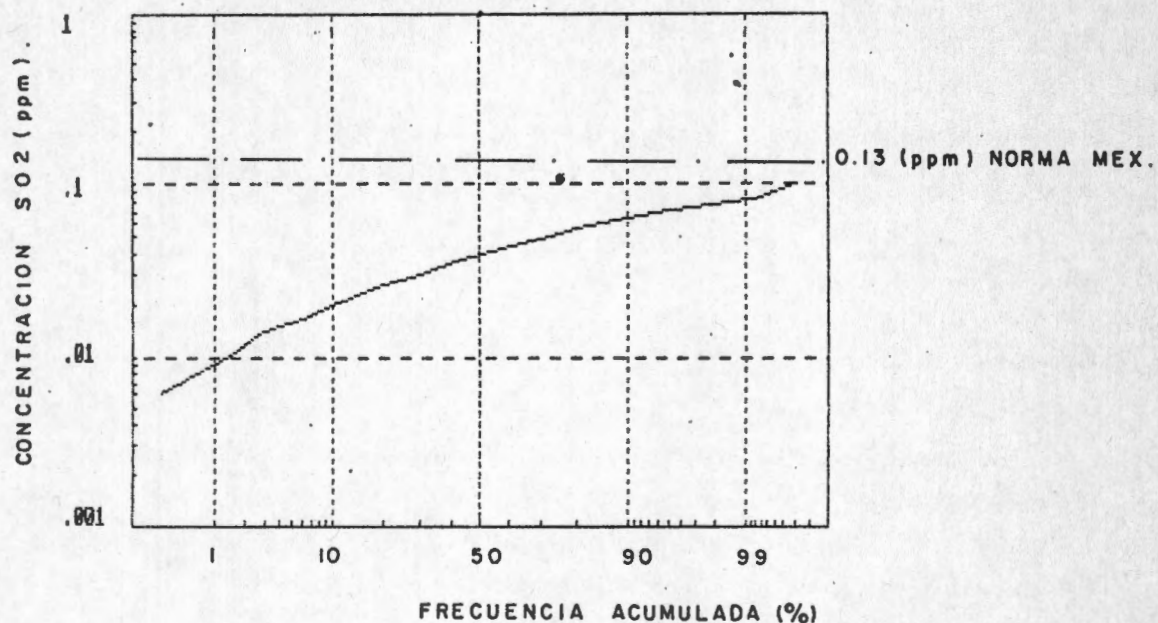
FIG. 5.18



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE SO₂.
(PERIODO 86 - 87)

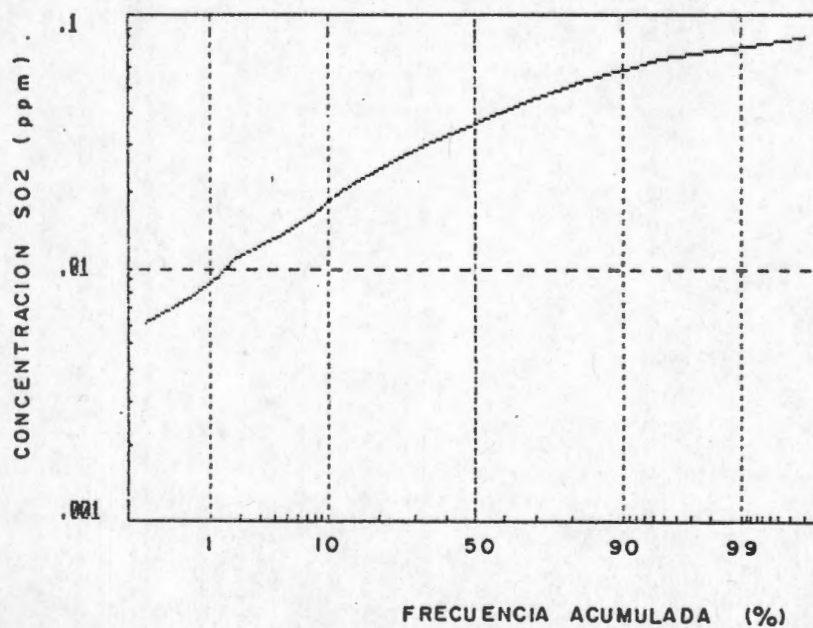
ESTACION : PEDREGAL

FIG. 5.19



ESTACION : CERRO DE LA ESTRELLA

FIG. 5.20



5.4. Ozono

El ozono es un contaminante denominado "secundario", debido a que es el resultado de diversas reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno, el oxígeno atmosférico y los hidrocarburos. En el caso de la zona metropolitana del Valle de México, su generación es incrementada por la mayor cantidad de radiación ultravioleta que incide a la altitud a la que está situado. Las concentraciones de ozono en el Valle de México tienen una marcada variación horaria y es similar a la reportada en la literatura. La actividad vehicular e industrial matutina genera emisiones considerables de NO_x e hidrocarburos reactivos y la acción de la radiación ultravioleta sobre esta masa de contaminantes primarios inicia la generación del ozono y otros oxidantes, de manera que alrededor del mediodía las concentraciones de ozono en la Ciudad de México alcanzan sus niveles máximos. Considerando lo anteriormente mencionado, los periodos mas adecuados para realizar actividades físicas corresponden a horas de la tarde o temprano por la mañana, especialmente si se realizan en sitios localizados en la periferia, hacia el oeste y sur de la ciudad.

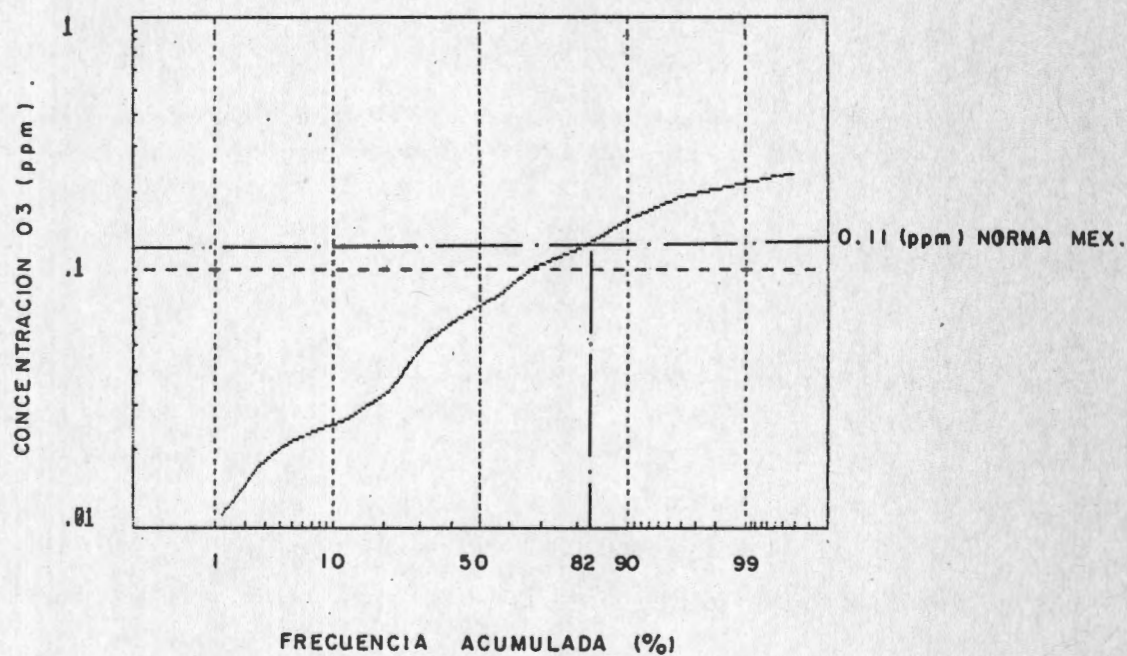
En contraste con las concentraciones que alcanzan los otros contaminantes gaseosos discutidos con anterioridad, el ozono tiende a mantenerse con niveles de contaminación sumamente altos en practicamente todo el Valle de México. Esto puede apreciarse claramente en la figuras 5.21 a la 5.25, las cuales contienen gráficas de la distribución de frecuencias de dicho contaminante en las zonas de Tlalnepatla, La Merced, Xalostoc, El Pedregal y El Cerro de la Estrella, respectivamente. En los cinco sitios

DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE O₃.

(PERIODO 86 - 87)

ESTACION : TLALNEPANTLA •

FIG. 5.21

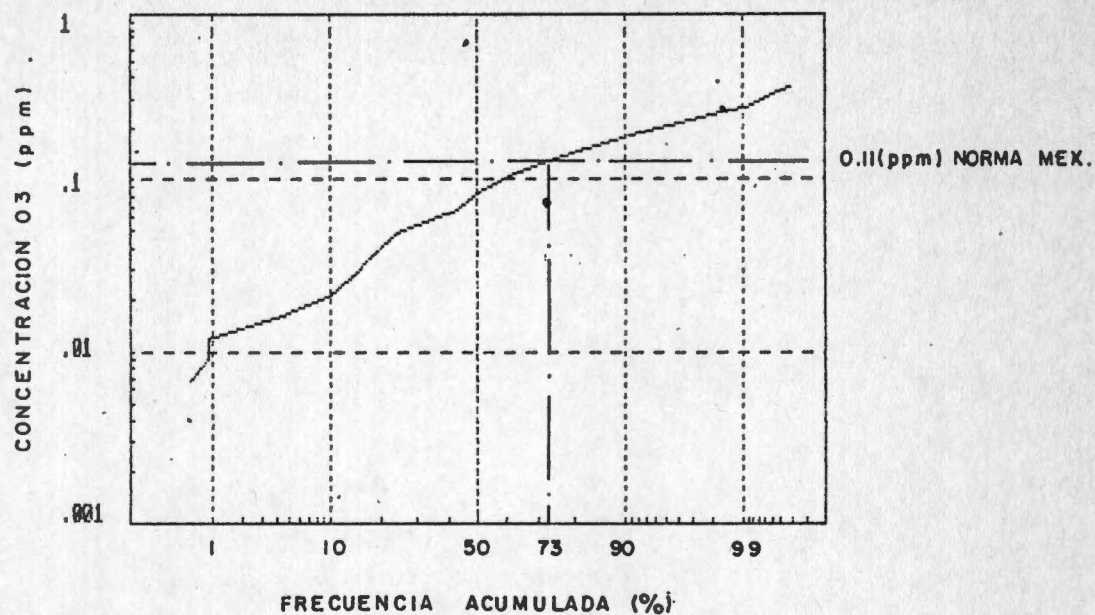


DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE O₃.

(PERIODO 86 - 87)

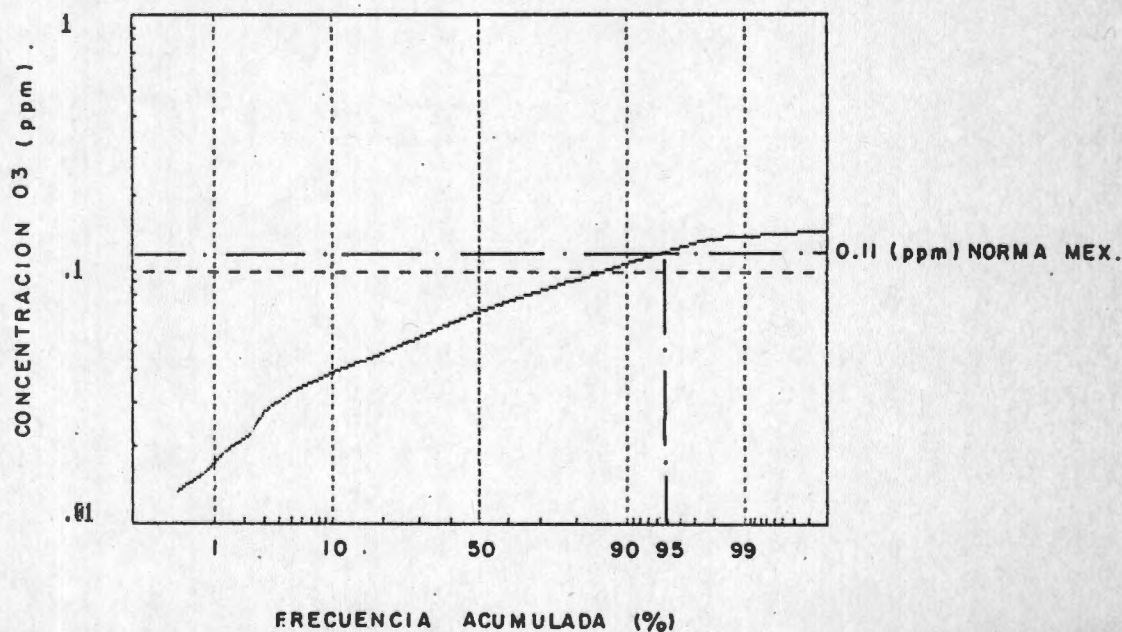
ESTACION : MERCED

FIG. 5.22



ESTACION : XALOSTOC

FIG. 5.23

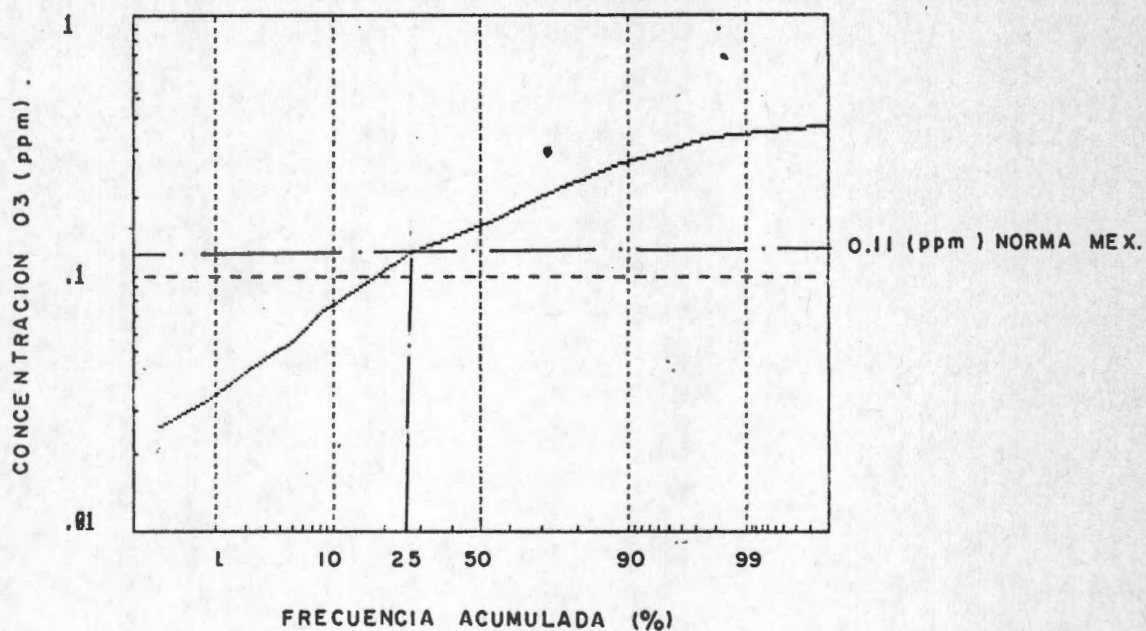


DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE O₃.

(PERIODO 86 - 87)

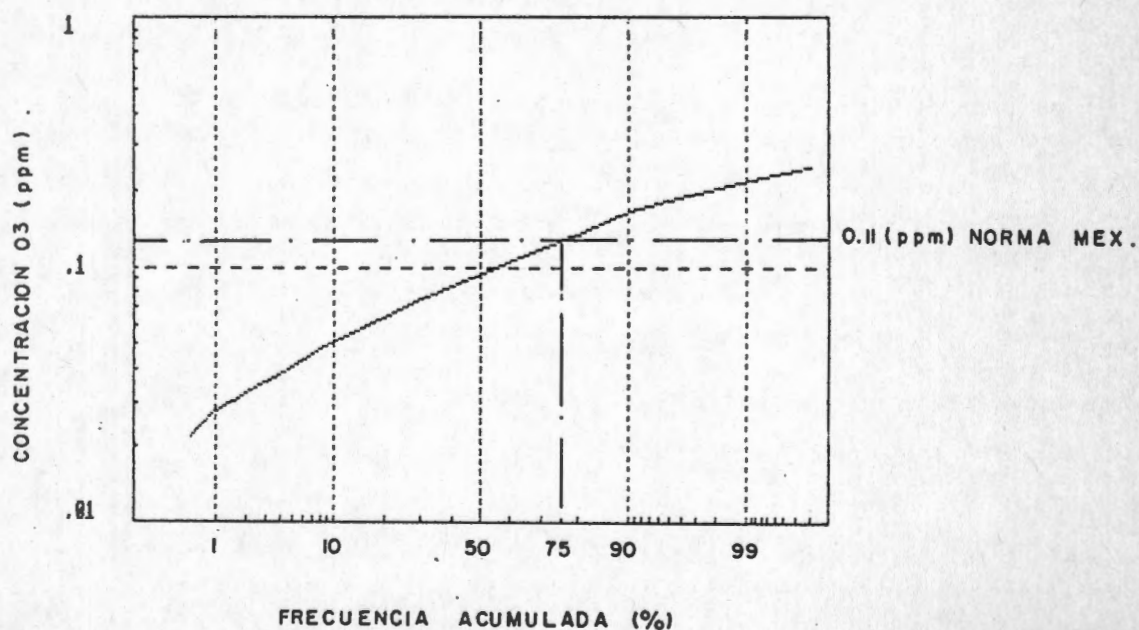
ESTACION : PEDREGAL

FIG. 5.24



ESTACION : CERRO DE LA ESTRELLA

FIG. 5.25



mencionados la norma de calidad del aire se excede desde un valor mínimo del 5% de los días del año, en Xalostoc, a un valor máximo del 75 % en El Pedregal. El porcentaje de veces que los niveles de contaminación diarios son superiores a la norma de calidad del aire en Tlalnepantla, La Merced y el Cerro de la Estrella es de 18 %, 27 % y 25 %, respectivamente, de manera que es posible identificar un gradiente de concentraciones que tienden a incrementarse en el eje de dirección NNE-SSW, es decir de Xalostoc a El Pederal. En este último lugar, el cual caracteriza a toda la zona suroeste del valle, las concentraciones horarias máximas diarias rebasan con cierta frecuencia durante el año niveles de hasta 3 veces (0.33 ppm) el valor la norma correspondiente (0.11 ppm).

El comportamiento de los niveles de contaminación diarios durante la semana, si bien permite identificar una ligera tendencia de las concentraciones a decrecer los domingos, no presenta un ciclo similar al de los otros compuestos analizados. Podría decirse que practicamente se mantiene en sus mismos niveles todos los días de la semana, tal y como se aprecia en la figura 5.26. Sin embargo, el análisis de fluctuaciones mensuales mostrado en la figura 5.27 permite observar un incremento de los niveles de contaminación durante los meses de estiaje, los cuales coinciden con la temporada de invierno, desde octubre a febrero. En contraste, las concentraciones son aproximadamente 40 % menores a partir del mes de abril y durante casi todo el verano, cuando existen mejores condiciones meteorológicas para dispersar y diluir los niveles de contaminación generados en el valle. Lo anterior no

FIG. 5.26

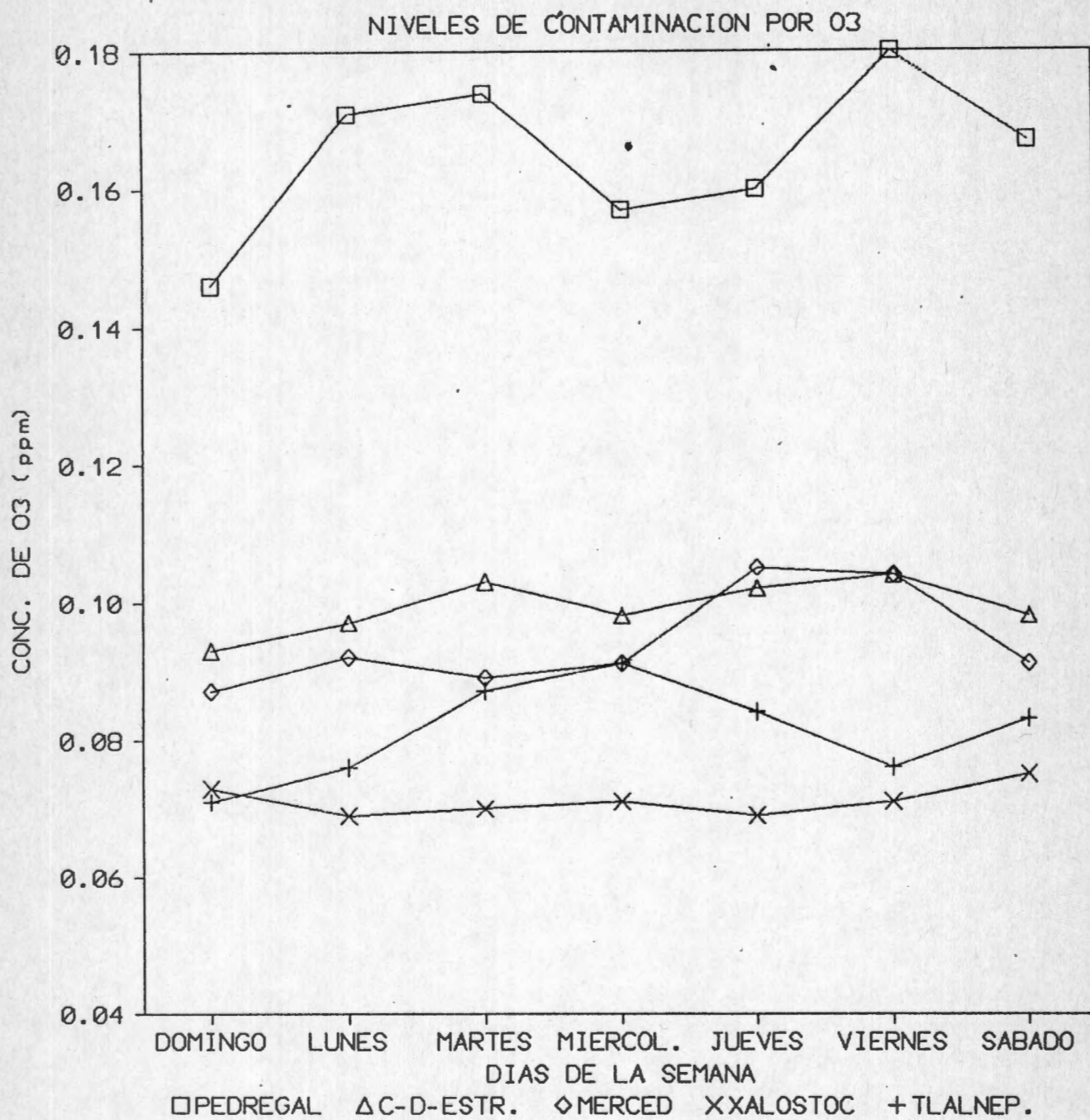
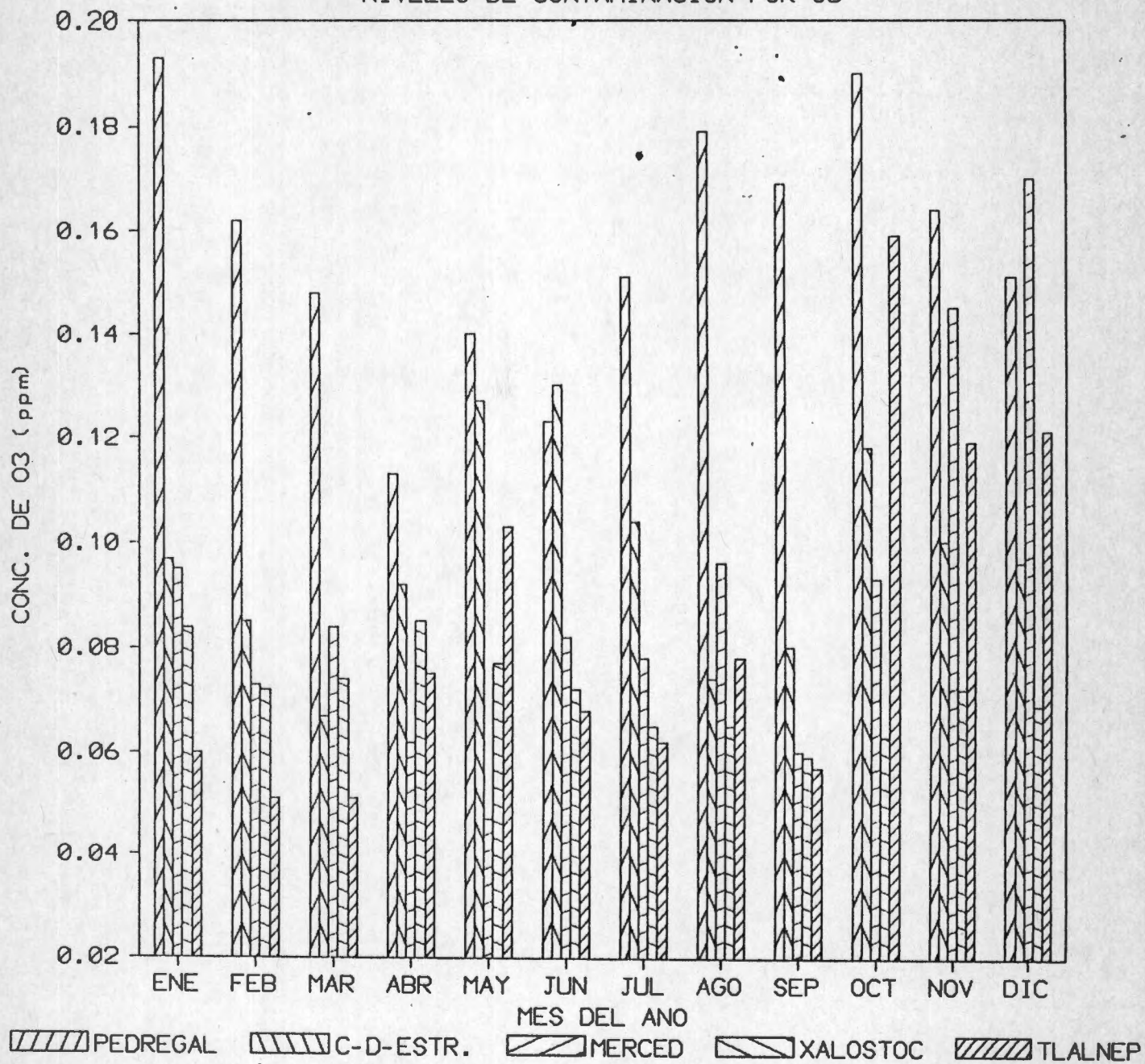


FIG. 5. 27

NIVELES DE CONTAMINACION POR O₃



significa que el ozono deje de ser un problema durante esta temporada, ya que aún persisten concentraciones, sobre todo en el suroeste del valle, que rebasan los valores límite establecidos en a norma mexicana de calidad del aire.

5.5. Oxidos de Nitrógeno

Las fuentes principales de óxidos de nitrógeno en el Valle de México son los procesos de combustión a altas temperaturas, entre las cuales destaca el motor de combustión interna y la combustión en hornos y calderas. Dichas fuentes liberan a la atmósfera principalmente monóxido de nitrógeno (NO), el cuál es uno de los precursores básicos de la niebla fotoquímica y dado su caracter reactivo su patrón de comportamiento diario es similar al del ozono, presentándose su valor horario máximo generalmente con varias horas de anticipación a la del ozono y desapareciendo posteriormente debido a su interacción con otros compuestos fotoquímicos. El otro compuesto que forma parte de los óxidos de nitrógeno, el dióxido de nitrógeno (NO₂) se forma en la atmósfera como consecuencia de la oxidación del NO y participa también en la masa de contaminantes fotoquímicos formados mediante reacciones que en el Valle de México han sido poco estudiadas.

El comportamiento del NO₂ en el Valle de México a través de los días de la semana es muy similar al de los otros contaminantes gaseosos, como se ilustra en la figura 5.28. Se presentan niveles relativamente altos todos los días de la semana, especialmente el viernes y posteriormente se observa una reducción significativa

FIG. 5.28

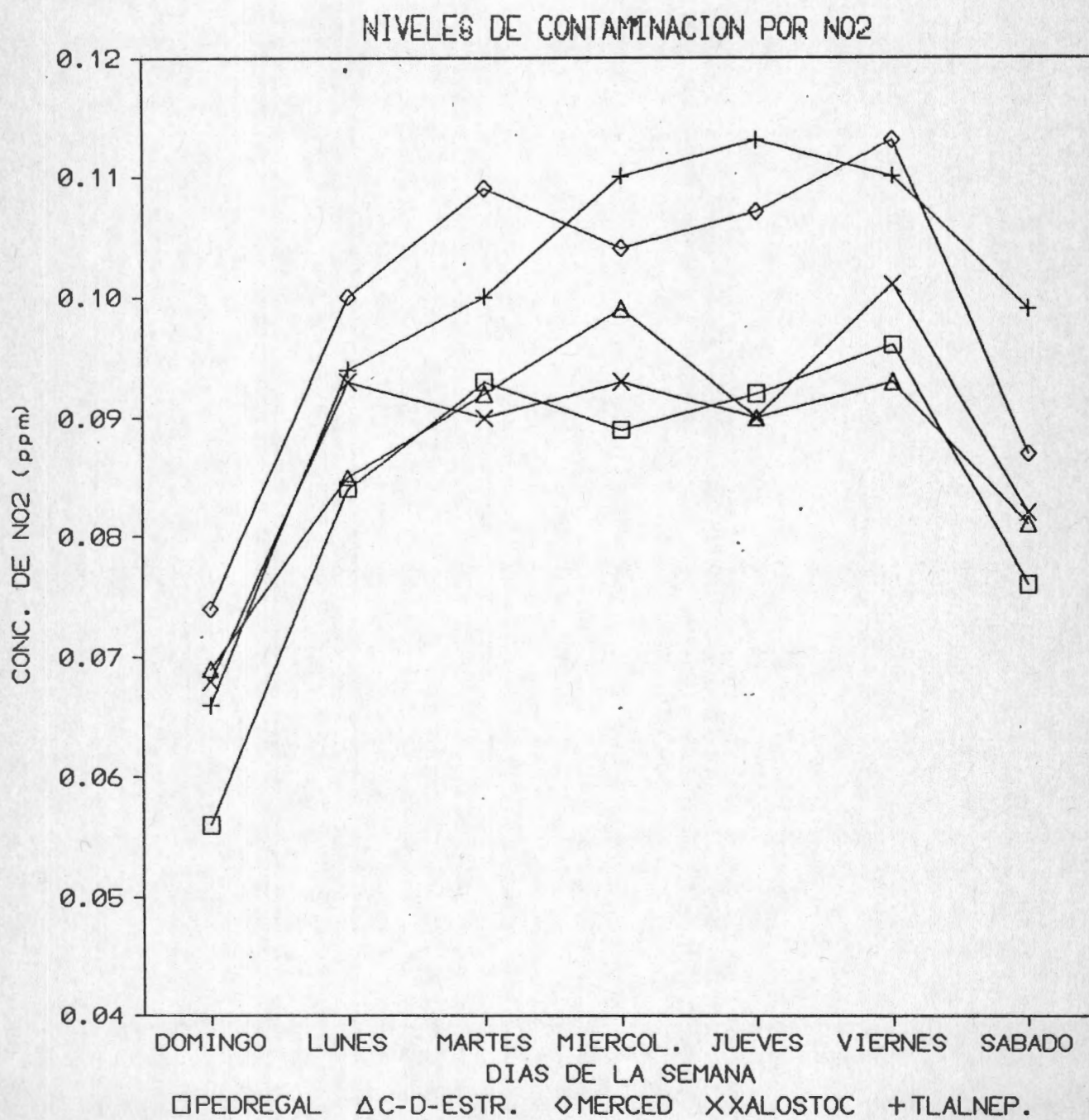
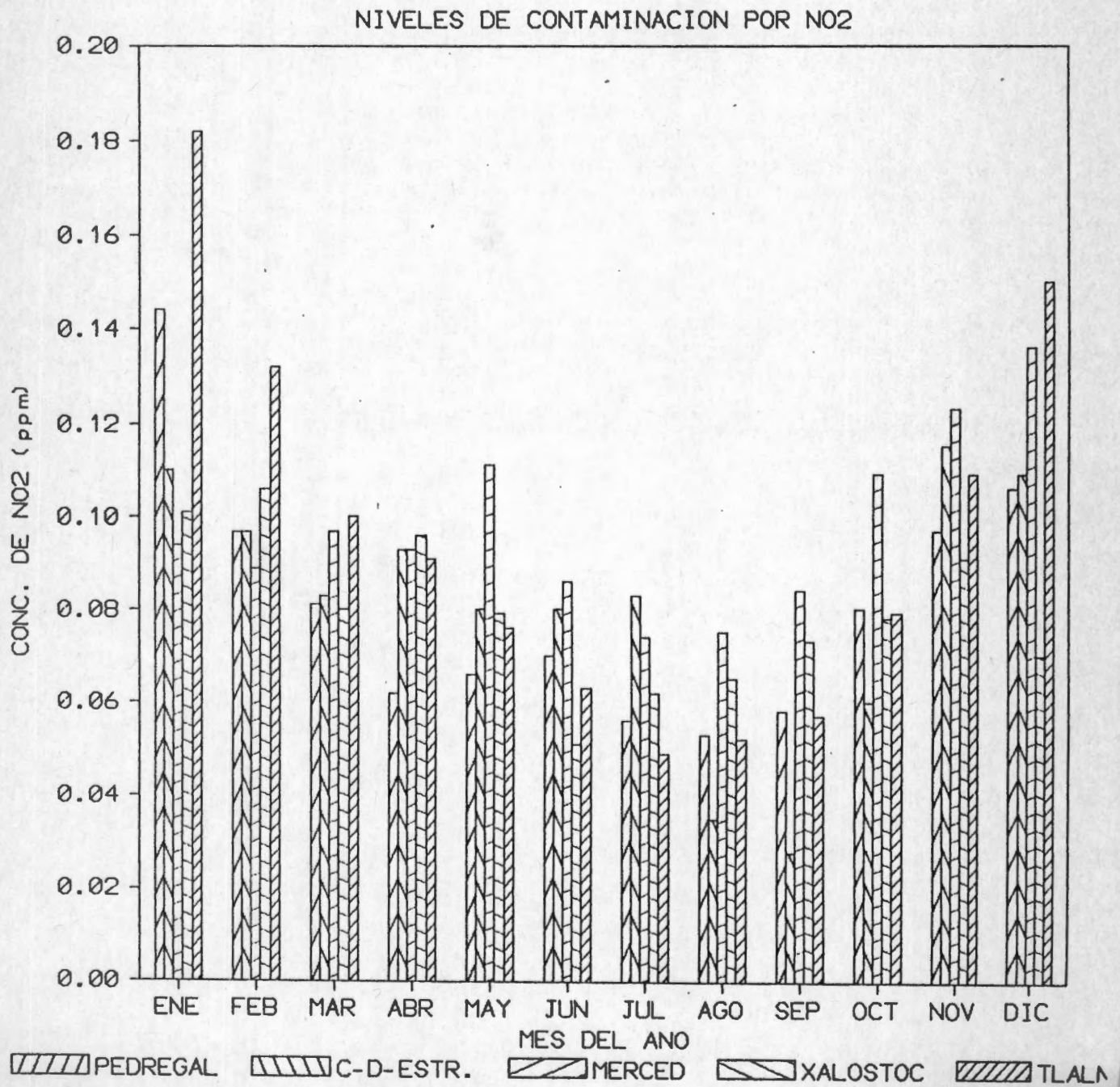


FIG. 5.29



durante el fin de semana, destacando el domingo por sus niveles menores. De manera similar, la variación mensual de este contaminante sigue aproximadamente el comportamiento de los otros compuestos estudiados; es decir, concentraciones relativamente bajas durante el verano y un incremento notable en la temporada invernal (figura 5.29). Las causas de este comportamiento son basicamente las mismas que las anotadas con anterioridad, en las discusiones referentes a los otros contaminantes.

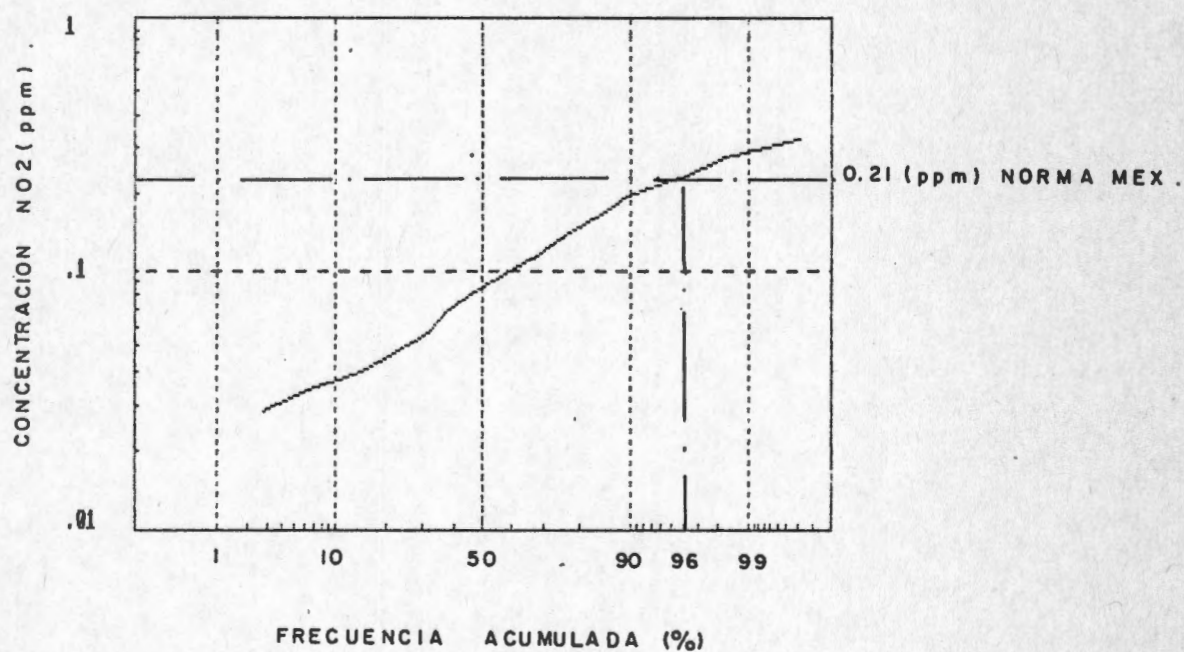
Como puede observarse en las figura de la 5.30 a la 5.34, las cuales muestran la distribucion de frecuencias del NO_2 en diferentes sitios del valle, las concentraciones de este compuesto rebasan la norma de calidad del aire aproximadamente el 5 % de los dias del año, presentándose los valores máximos (de alrededor de 0.3 ppm en una hora), en la zona de Tlalnepantla. Lo anterior sugiere que existen fuentes estacionarias de NO_2 en esta zona del valle , caracterizada por ser pricipalmente industrial, las cuales están contribuyendo de una manera significativa a su generación. Este resultado tiene cierta importancia de ser destacado, ya que está mostrando que además de las fuentes móviles que contaminan la atmósfera del valle y que dan lugar a la formación del ozono y a las cuales se les ha responsabilizado por la contaminación de origen fotoquímico, existen otras emisiones de origen industrial, situadas al norte de la región de estudio, precisamente viento arriba de ésta, las cuales contribuyen de manera importante a la formación de dicho compuesto, precursor del smog fotoquímico y por lo tanto, deberían ser atendidas con la prioridad que ameritan.

DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE NO₂.

(PERIODO 86 - 87.)

ESTACION: TLALNEPANTLA

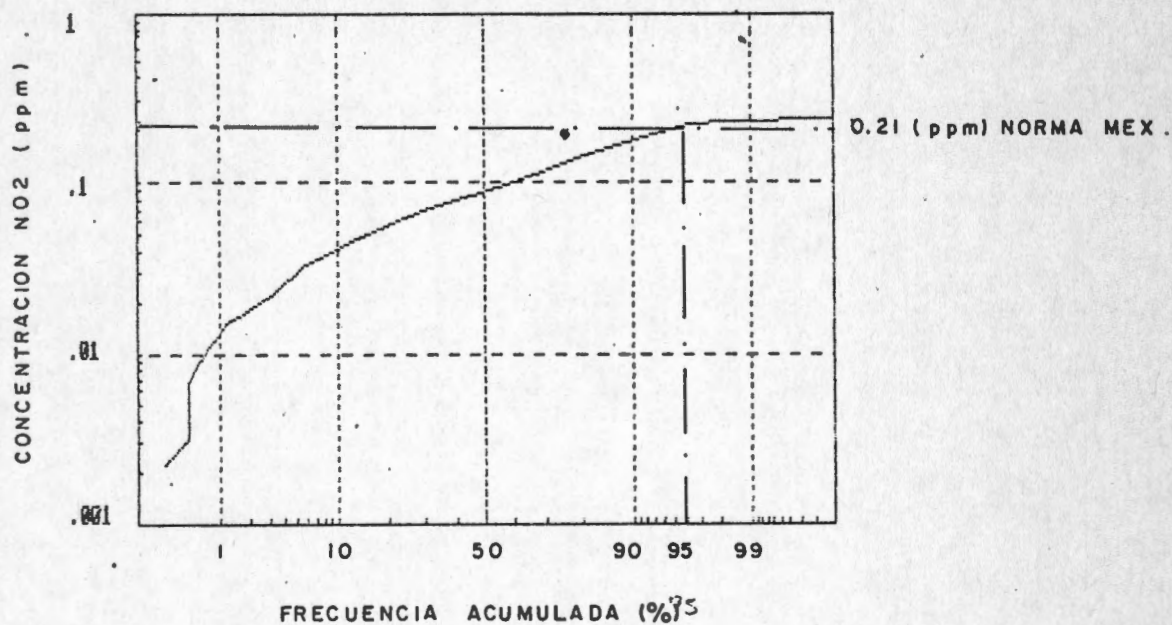
FIG. 5.30



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE NO₂.
(PERIODO 86 - 87)

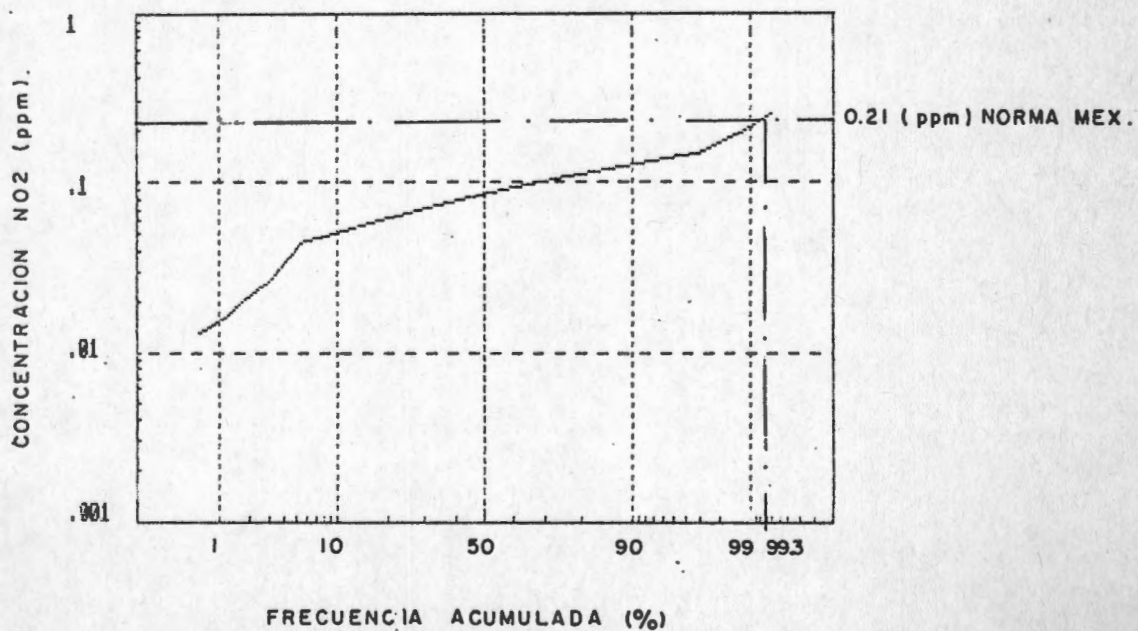
ESTACION : MERCED

FIG . 5.31



ESTACION : XALOSTOC

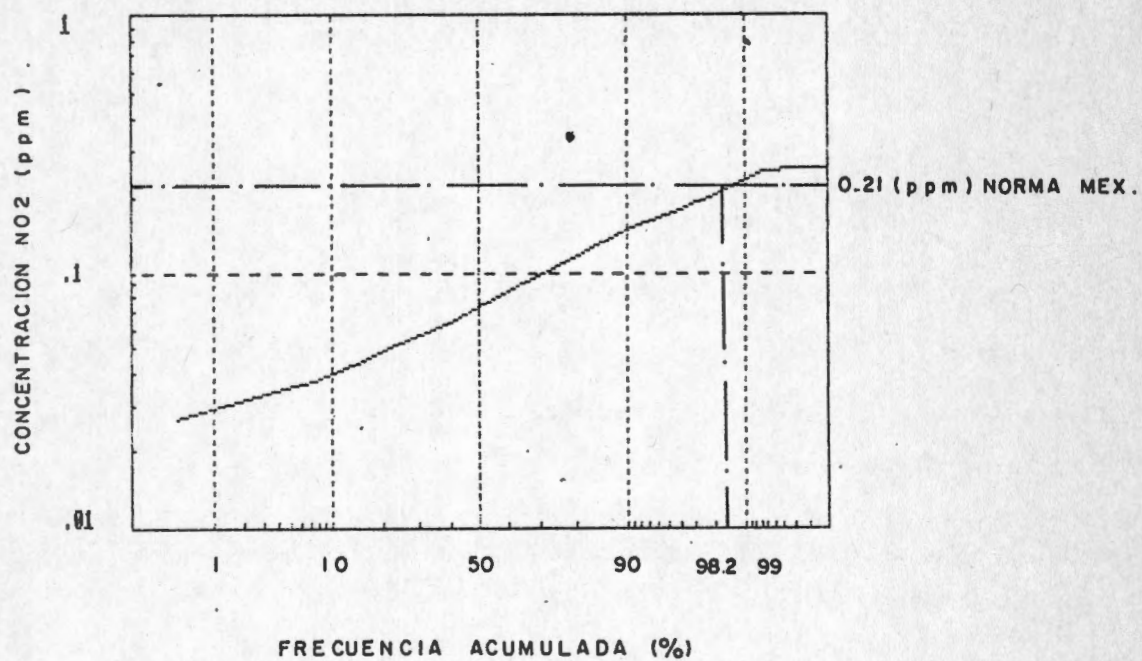
FIG . 5.32



DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE CONCENTRACIONES DE NO₂ .
(PERIODO 86 - 87)

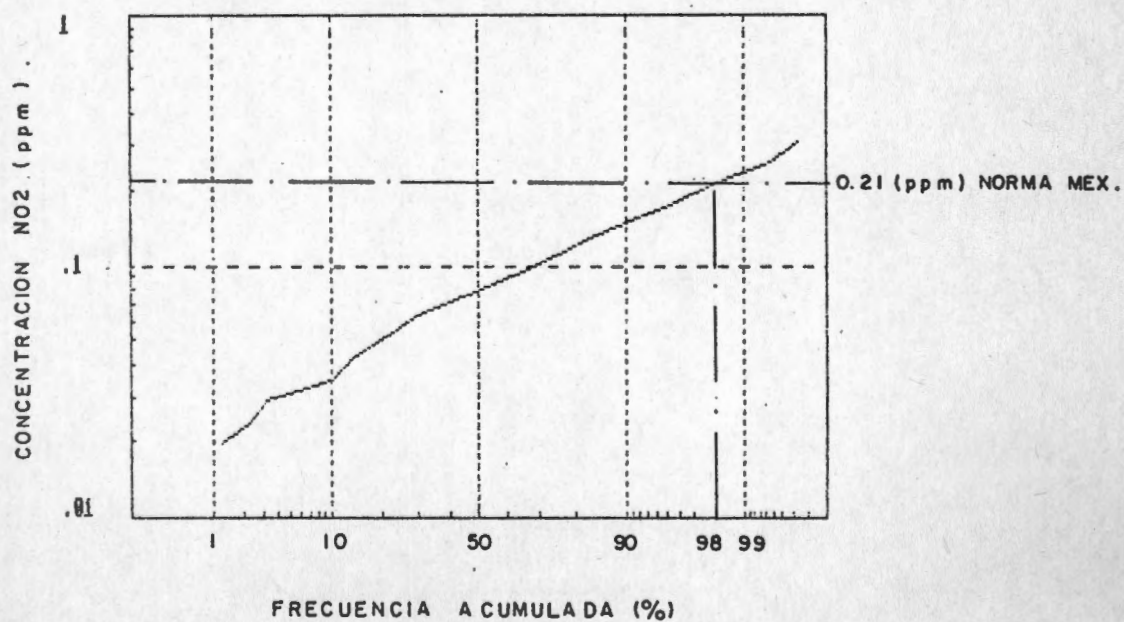
ESTACION : PEDREGAL

FIG. 5.33



ESTACION: CERRO DE LA ESTRELLA

FIG. 5.34



CAPITULO 6

NIVELES INTERNACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE

Con el objeto de evaluar los niveles de calidad del aire presentados en capítulos anteriores, a continuación se comparan dichos niveles de contaminación con los existentes en otros países, tomando en consideración las normas de calidad del aire establecidas a nivel internacional y la generación periódica de las concentraciones de los contaminantes en las áreas urbanas más importantes del mundo.

6.1. Normas de Calidad del Aire.

Tomando como criterio fundamental la necesidad de proteger la salud humana, se han fijado por parte de los países industrializados más importantes, normas de calidad del aire para

TABLA No. 6.1.a. Normas de Calidad del Aire Internacionales
para Dióxido de Azufre (como SO₂)^{10,28}

<i>País</i>	<i>Concentraciones</i>		<i>Periodo</i>	
Alemania Democrática	0.15	mg/m ³	0.06	ppm 24 horas
Alemania Federal	0.15	"	0.06	" 24 "
Argentina	0.07	"	0.03	" 30 días
Bélgica	0.15	"	0.06	" Promedio Arit- mético Anual
Brasil	0.05	"	0.02	" 24 horas
Canadá	0.03	"	0.011	" 24 "
España	0.4	"	0.15	" 24 "
EUA	0.365	"	0.14	" 24 "
EUA	0.08	"	0.03	" Promedio Arit- mético Anual
Francia	1.0	"	0.38	" 24 horas
Francia-Paris	0.75	"	0.29	" 24 "
Israel	0.26	"	0.1	" 24 "
Italia	0.38	"	0.15	" 24 "
Japón	0.1	"	0.04	" 24 "
Suecia	0.25	"	0.1	" 24 "
Suiza	0.5	"	0.2	" 24 "
URSS	0.05	"	0.02	" 24 "
MEXICO	0.3	"	0.13	" 24 "

las concentraciones máximas permitidas de los principales contaminantes. En la tabla 6.1., la cual ha sido subdividida considerando cada uno de los contaminantes denominados prioritarios, se presentan las normas de calidad del aire más relevantes a nivel internacional, incluyendo los valores de las concentraciones máximas permitidas y los periodos de observación correspondientes.

En la tabla 6.1.a. se presentan las normas de calidad del aire para los óxidos de azufre. Como puede apreciarse en dicha tabla, la norma mexicana vigente para dicho grupo de compuestos es de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó su equivalente a 0.13 ppm (partes por millón, en volumen), referida a un periodo de observación de 24 horas. Los siguientes países tienen normas de calidad del aire menos exigentes que la norma mexicana: Francia ($1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.38 ppm), España ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.15 ppm), Estados Unidos de América ($365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.14 ppm), Italia ($380 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.15 ppm) y Suiza ($500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.2 ppm).

Por otra parte, los países socialistas adoptaron como norma de calidad del aire un valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.02 ppm. Incluidos en la misma tabla están Alemania Federal ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.06 ppm), Japón ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.04 ppm), Brasil ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.02 ppm), Canadá ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.001 ppm), Israel ($260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.1 ppm) y Suecia ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.1 ppm); todos ellos han promulgado normas de calidad del aire más exigentes que nuestro país.

De las normas de calidad del aire para óxidos de azufre que se presentan en la tabla 6.1.a, se distinguen las correspondientes a Argentina ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.03 ppm), Bélgica ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.06 ppm)

**TABLA No. 6.1.b. Normas de Calidad del Aire Internacionales
para Dióxido de Nitrógeno (como NO_x).^{10,28}**

<i>País</i>	<i>Concentraciones</i>		<i>Periodo</i>	
Alemania Democrática	0.004 mg/m ³	0.002 ppm	24 horas	
Alemania Federal	0.1 "	0.05 "	0.5 "	
Argentina	0.85 "	0.45 "	1 "	
Canadá	0.04 "	0.02 "	1 "	
España	0.2 "	0.1 "	24 "	
EUA	0.1 "	0.05 "	Promedio Arit- mético Anual	
Israel	0.6 "	0.3 "	24 horas	
Italia	0.2 "	0.1 "	24 "	
Japón	0.04 "	0.02 "	24 "	
URSS	0.085 "	0.045 "	24 "	
MEXICO	0.395 "	0.21 "	1 "	

**TABLA No. 6.1.c. Normas de Calidad del Aire Internacionales
para Hidrocarburos (como HC)²⁸**

<i>País</i>	<i>Concentraciones</i>		<i>Periodo</i>	
Canadá	0.125 mg/m ³	0.19 ppm	3 horas	
EUA	0.16 "	0.24 "	3 "	
Israel	2.0 "	3.0 "	24 "	
Italia	26.6 "	40.0 "	24 "	

y Estados Unidos de América ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.03 ppm) ya que incluyen periodos de observación mensuales y anuales. Ello tiene como propósito evitar que algunas concentraciones diarias anormalmente elevadas afecten, a largo plazo, la salud de sus habitantes.

En resumen, la norma mexicana para los óxidos de azufre parece adecuada al ubicarse dentro del grupo de normas de calidad del aire que se pueden considerar moderadas y tecnológicamente accesibles tomando en cuenta nuestras condiciones económicas y sociales.

El segundo grupo de normas de calidad del aire, al cual corresponden los contaminantes denominados genéricamente como óxidos de nitrógeno ó NO_x , se presentan en la tabla 6.1.b. Como puede observarse, México tiene una norma de calidad del aire de $395 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó su equivalente de 0.21 ppm , en periodo de observación de 1 hora. Dentro de este mismo periodo de observación, sólo Argentina tiene una norma de calidad ($850 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.45 ppm) menos demandante que la mexicana; y Canadá tiene una norma más exigente ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.02 ppm).

Otro grupo de normas de calidad del aire que tienen un periodo de observación de 24 horas, está integrado por los países socialistas, los cuales promulgaron normas de calidad muy exigentes ($85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.045 ppm), España e Italia cuentan con normas similares ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.1 ppm); e Israel que tiene un valor poco demandante ($600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.3 ppm). Sólo Estados Unidos de América ha considerado en su norma de calidad del aire la perspectiva de protección a largo plazo con un valor promedio

anual de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.05 ppm .

Se puede concluir que la norma mexicana de calidad del aire correspondiente a este grupo de compuestos representa un compromiso racional entre las demandas de protección del ambiente y de la salud y la factibilidad tecnológica y económica de su cumplimiento.

Las normas de calidad que se presentan en la Tabla 6.1.d. corresponden al monóxido de carbono (CO), y están en términos de dos periodos de observación: 8 horas y 24 horas. España cuenta con una norma de calidad del aire similar a la mexicana ($15 \text{ mg}/\text{m}^3$ ó 13 ppm) considerando 8 horas de monitoreo. Sólo Italia tiene una norma menos exigente ($22.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ó 20 ppm). Dentro de este mismo grupo de normas, las vigentes en Alemania Federal, Estados Unidos de América y Finlandia ($10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ó 9 ppm); Argentina e Israel ($11.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ó 10 ppm) y Canadá ($6 \text{ mg}/\text{m}^3$ ó 5.5 ppm), son más exigentes en relación a la mexicana.

Dentro del grupo de normas con periodos de observación de 24 horas, están las normas adoptadas en los países socialistas; las cuales fluctúan alrededor de un valor de $1.0 \text{ mg}/\text{m}^3$. Japón tiene una norma de calidad más realista con un valor $11.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ó 10 ppm .

La conclusión que se puede extraer de esta comparación entre las normas de calidad del aire para el monóxido de carbono a nivel internacional, es que la norma mexicana es medida y adecuada en su alcance de protección al ambiente.

Los oxidantes fotoquímicos , los cuales se expresan como ozono, están presentados en la Tabla 6.1.f. La norma mexicana

**TABLA No. 6.1.d. Normas de Calidad del Aire Internacionales
para Monóxido de Carbono (como CO)^{10,28}**

<i>Pais</i>	<i>Concentraciones</i>		<i>Periodo</i>
Alemania Democrática	1.0 mg/m ³	0.9 ppm	24 horas
Alemania Federal	10.0 "	9.0 "	8 "
Argentina	11.5 "	10.0 "	8 "
Canadá	6.0 "	5.0 "	8 "
Checoslovaquia	1.0 "	0.9 "	24 "
España	15.0 "	13.0 "	8 "
EUA	10.0 "	8.6 "	8 "
Finlandia	10.0 "	9.0 "	8 "
Hungría	2.0 "	1.8 "	24 "
Israel	11.5 "	10.0 "	8 "
Italia	22.5 "	20.0 "	8 "
Japón	11.5 "	10.0 "	24 "
Polonia	0.5 "	0.45 "	24 "
URSS	1.0 "	0.9 "	24 "
MEXICO	15.0 "	13.0 "	8 "

para este grupo de contaminantes fija un periodo de observación de 1 hora y un valor de 0.11 ppm; ella es ligeramante menos exigente que sus equivalente argentina (0.1 ppm) y más demandante que la estadounidense (0.12 ppm).

Un segundo grupo de normas de calidad del aire para los oxidantes son aquellas con periodos de observación de 8 y 24 horas. La norma de calidad vigente en Israel es la menos exigente con un valor de 0.1 ppm en 8 horas; mientras que ambas normas canadiense y rumana son estrictas en su valor, al no permitir concentraciones superiores a 0.015 ppm.

Al igual que las normas de calidad del aire anteriormente mencionadas , la norma mexicana para ozono, si bien podría situarse entre las relativamente exigentes, se ubica adecuadamente en el contexto internacional.

Finalmente, las normas internacionales para las partículas suspendidas totales (PST) se presentan en la Tabla 6.1.g. La norma mexicana de calidad del aire se ha establecido en un valor de $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante un periodo de 24 horas. Como puede apreciarse en dicha tabla, comparada con España e Italia, la norma nacional es ligeramente más exigente; sin embargo, los países socialistas tienen una norma de calidad del aire más demandante ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), similar a la de los países europeos (Suecia, Alemania Federal, Suiza) y Japón con $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el periodo de observación mencionado.

Es interesante notar como Francia y Canadá hacen distinción, en lo que se refiere a la aplicación de sus normas, entre zonas urbanas y rurales. Mediante esta filosofía, estos países

**TABLA No. 6.1.e. Normas de Calidad del Aire Internacionales
para Humos.²⁸**

<i>Pais</i>	<i>Concentraciones</i>	<i>Periodo</i>
Alemania Democrática	0.05 mg/m ³	24 horas
Bulgaria	0.05 "	24 "
Checoslovaquia	0.05 "	24 "
Hungría	0.05 "	24 "
Israel	0.1 "	24 "
Rumania	0.05 "	24 "
URSS	0.05 "	24 "

**TABLA No. 6.1.f. Normas de Calidad del Aire Internacionales
para Oxidantes (como Ozono).^{10,28}**

<i>Pais</i>	<i>Concentraciones</i>		<i>Periodo</i>
Canadá	0.03 mg/m ³	0.015 ppm	24 horas
Rumania	0.03 "	0.015 "	24 "
Israel	0.02 "	0.1 "	8 "
Argentina	0.2 "	0.1 "	1 "
EUA	0.24 "	0.12 "	1 "
Japón	0.12 "	0.06 "	1 "
MEXICO	0.22 "	0.11 "	1 "

pretenden prevenir el creciente deterioro de las áreas rurales y suburbanas y controlar el de las áreas urbanas, donde actualmente se presentan niveles de contaminación elevados y las estrategias de control de emisiones deben ser diferentes.

Estados Unidos de América tiene también dos normas de calidad del aire para las PST. A corto plazo (24 horas), la norma de calidad del aire es de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$; la cual no debe excederse más de una vez al año. A plazo mayor (1 año), la norma se fijó complementariamente en un valor de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio geométrico anual.

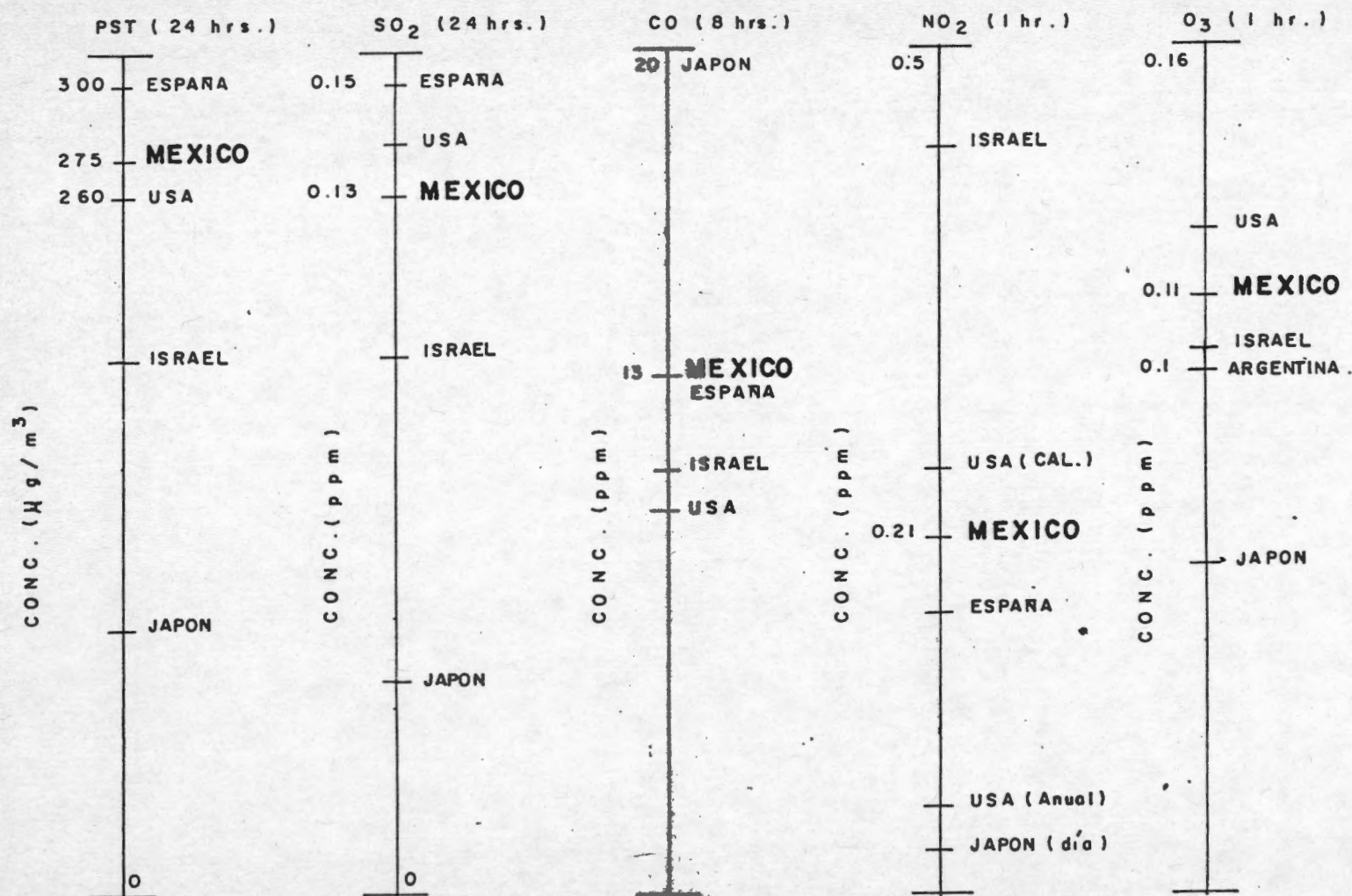
La legislación mexicana podría mejorarse si incluyera normas para las áreas de atención prioritaria , de manera similar al criterio canadiense y francés; y de cobertura a mediano plazo, como es el caso de la norma estadounidense.

En la Figura 6.1., se presentan de manera gráfica las normas de calidad de aire mencionadas y que son factibles de comparación, por estar expresadas en términos de periodos de observación similares. En términos generales y como se observa en dicha figura, México cuenta con un conjunto de normas de calidad del aire para los principales contaminantes que, dentro del contexto internacional pueden considerarse adecuadas, tomando en consideración las condiciones económicas y sociales actuales de nuestro país.

A diferencia de otros países, y como consta en las Tablas 6.1.c., 6.1.e. y 6.1.h., en México no se han promulgado normas de calidad del aire para hidrocarburos, humo, plomo y otros metales pesados, ni para otros contaminantes específicos como el

COMPARACION DE LA NORMA MEXICANA DE CALIDAD DEL AIRE CON OTRAS NORMAS INTERNACIONALES.

FIG. 6.1



**TABLA No. 6.1.g. Normas de Calidad del Aire Internacionales
para Partículas Suspendidas Totales (como PST).^{10,28}**

<i>Pais</i>	<i>Concentraciones</i>	<i>Periodo</i>
Alemania Democrática	0.15 mg/m ³	24 horas
Alemania Federal	0.1 "	24 "
Argentina	0.15 "	30 días
Canadá	0.12 "	24 horas
Canadá-Montreal	0.25 "	24 "
Checoslovaquia	0.15 "	24 "
España	0.3 "	24 "
EUA	0.26 "	24 "
EUA	0.075 "	Promedio Geométrico Anual
Francia	0.15 "	24 horas
Francia-Paris	0.25 "	24 "
Israel	0.2 "	24 "
Italia	0.3 "	24 "
Japón	0.1 "	24 "
Polonia	0.075 "	24 "
Suecia	0.1 "	24 "
URSS	0.15 "	24 "
MEXICO	0.275 "	24 "

TABLA No. 6.1.h. Normas de Calidad del Aire Internacionales
para Plomo (como Pb).²⁸

<i>Pais</i>	<i>Concentraciones</i>	<i>Periodo</i>
Alemania Democrática	0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 horas
Bulgaria	0.7 "	24 "
Canadá	15.0 "	24 "
Checoslovaquia	0.7 "	24 "
Hungría	0.7 "	24 "
Israel	5.0 "	24 "
Italia	10.0 "	8 "
Polonia	0.5 "	24 "
Rumania	0.7 "	24 "
URSS	0.7 "	24 "
Yugoslavia	0.7 "	24 "
EUA	1.5 "	90 días

benceno, tolueno, xileno, etc. En el futuro cercano será necesario desarrollar normas para estos compuestos y otras sustancias de riesgo ambiental conocido.

6.2. Niveles de Contaminación Atmosférica.

Los niveles de de calidad del aire que se reportan en la literatura deben ser analizados desde las perspectivas de la experiencia particular de cada país, de las medidas de control que provocaron, las condiciones atmosféricas reinantes en dichos lugares, los crecimientos relativos de las diversas fuentes de emisión y otras dinámicas economicosociales.

Así que, por ejemplo, al analizar los niveles de contaminación por los óxidos de azufre ocurridos en Londres, Inglaterra, durante el invierno de 1952-1953, se conoce, por una parte, que fueron el resultado de un consumo elevado de carbón mineral que contenía un alto contenido de azufre y cenizas y que era utilizado para la calefacción doméstica y en la generación de energía eléctrica; y por otra parte, que este evento sucedió bajo condiciones meteorológicas muy estables de reducida ventilación natural, las cuales permanecieron por un periodo prolongado, provocando una inversión térmica intensa. Lo anterior originó que se desarrollaran niveles de contaminación por PST y SO_x muy elevados los cuales ocasionaron de 2,000 a 4,000 casos de muertes y daños significativos a la salud de los habitantes de esa ciudad, principalmente entre ancianos y enfermos crónicos.

Como consecuencia de ese episodio de contaminación atmosférica, las autoridades londinenses prohibieron el uso de los

combustibles que eran utilizados tradicionalmente dentro del área urbana, evitándose con ello el que se volvieran a presentar dichos niveles de contaminación, como se puede apreciar en las Tablas 6.2 y 6.6.

6.2.1. Oxidos de Azufre.

Los niveles de óxidos de azufre en las principales ciudades del mundo que se presentan en la Tabla 6.2. muestran la ocurrencia de algunos episodios de contaminación ambiental, como los de Donora, Pennsylvania, en octubre de 1948; los del Valle del Mosela en Bélgica, durante diciembre de 1930; Londres durante los inviernos de 1952 a 1955; y Pittsburgh, Pennsylvania en 1975.

Como regla general, los centros urbanos ubicados en los países desarrollados iniciaron desde los años sesentas intensas campañas de saneamiento atmosférico; las cuales consistieron en la instalación forzosa de equipos de control de emisiones y las restricciones en el uso de combustibles con altos contenidos de azufre, lográndose con estas medidas disminuir significativamente las concentraciones consideradas como peligrosas, hasta ser inferiores a los niveles denominados como límites tolerables. En Londres, por ejemplo, se logró reducir las concentraciones de SO_x , que en diciembre de 1952 alcanzaron valores de hasta 1.32 ppm, a 0.06 ppm en el año de 1977; luego de restringir los tipos de combustibles utilizados en la industria y en la calefacción doméstica, así como el contenido de azufre en el diesel y en el carbón mineral utilizado por las centrales termoeléctricas.

Esta misma tendencia de reducción de las concentraciones de

TABLA No. 6.2. Niveles Internacionales de Contaminación
Atmosférica por Dióxido de Azufre (como SO₂).

<i>SITIO</i>	<i>FECHA</i>	<i>CONCENTRACIONES</i>	<i>REFERENCIA.</i>
Londres	Dic'81	0.36 ppm	39
Londres	Ene'85	0.21 "	39
Manchester, Ing	Ene'85	0.04 "	39
Mosela, Bélgica	Dic'30	10.0 "	26
Donora, Penns	Oct'48	0.64 "	26
Londres	Ene'55	0.48 "	26
Londres	Ene'56	0.60 "	26
Londres	Dic'56	0.44 "	26
Londres	Dic'57	0.64 "	26
Londres	Ene'59	0.32 "	26
Londres	Dic'62	1.32 "	26
Nueva York	Nov'53	0.88 "	26
Nueva York	Nov'62	0.72 "	26
Nueva York	Mar'64	0.71 "	26
Pittsburgh	Nov'75	0.80 "	26
Filadelfia	Anual '67-72	0.07 "	26
Chicago	Anual '62-65	0.20 "	26
Chicago	Anual '66-70	0.12 "	26
Nueva York	Anual '50	0.16 "	29
Nueva York	Anual '60	0.16 "	29
Nueva York	Anual '63	0.24 "	29
Nueva York	Anual '72-80	0.05 "	29
Londres	Dic'76-Mar'77	0.06 "	3
Bombay, India	Anual'79	0.06 "	33
Los Angeles, Cal	Anual'80	0.01 "	1
Kaohsing, Taiwan	Anual'80	0.29 "	9
Beijing, China	Anual'85	0.09 "	45
Seul, Corea	Anual'77	0.10 "	18
Seul, Corea	Anual'81	0.08 "	18
Pusan, Corea	Anual'80-81	0.04 "	18
MEXICO, D. F.	Anual'87	0.06 " Presente Estudio.	

dichos compuestos se pueden apreciar en la Tabla 6.2., en ciudades como Nueva York (de 0.88 ppm en 1952 hasta 0.05 ppm en 1980) y Chicago (de 0.20 ppm en 1962 hasta 0.12 ppm en 1970). En contraste, muchas de las ciudades ubicadas en los países en proceso de industrialización, han alcanzado en los últimos años niveles de contaminación preocupantes, típicos de los que existían en los países industrializados en los años 1960 - 1970. En la India, por ejemplo, se detectaron concentraciones de SO_x en el año de 1979 del orden de 0.06 ppm, estando muy cerca de rebasar la norma de calidad del aire sugerida para dichos compuestos. En Beijing, China, en 1985, el promedio anual de las concentraciones de SO_x fué de 0.09 ppm, muy por encima de la norma anual recomendada por la Organización Mundial de la Salud. Asimismo en Seul, Corea, se detectaron concentraciones los óxidos de azufre siempre arriba de la norma anual vigente en ese país (0.08 ppm, promedio aritmético anual), desde 1976 hasta 1981.

Es importante señalar que las causas que actualmente generan los altos niveles de óxidos de azufre en los países en desarrollo, son básicamente las mismas que se suscitaron en los países industrializados hace aproximadamente 20 años y que se mencionaron anteriormente.

En el caso de la zona metropolitana de la ciudad de México, como lo muestran los análisis estadísticos efectuados en el presente estudio, se han alcanzado niveles máximos de los óxidos de azufre del orden de 0.06 ppm, los cuales son inferiores a la norma vigente para este grupo de compuestos. Los niveles encontrados de SO_x entre 1986 y 1987 en la Ciudad de México son

relativamente bajos.

Sin embargo es importante hacer notar, que lo anteriormente expuesto podría ser una indicación de una intensa actividad química que se lleva a cabo en la atmósfera del valle de México, en donde el dióxido de azufre liberado por una gran cantidad de industrias localizadas al norte del valle, se oxida rápidamente para formar otros compuestos como los sulfatos, los cuales están presentes en forma de partículas, y por lo tanto explican las bajas concentraciones de SO_x encontradas en el valle, como lo sugieren dos estudios experimentales realizados independientemente en 1982 en la zona urbana. Estos estudios demostraron que tanto las partículas colectadas en el área de Zacatenco como en Ciudad Universitaria, tienen los mayores contenidos de azufre reportados en la literatura internacional^{46,47}.

6.2.2. Oxidos de Nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno son emitidos principalmente por vehículos automotores e industrias en donde se realizan procesos de combustión a altas temperaturas. Su peligrosidad está asociada con sus efectos tóxicos; además de la posibilidad de participar conjuntamente con los hidrocarburos y la luz solar, en la formación de compuestos llamados oxidantes.

En la Tabla 6.3. se presentan algunos de los niveles de contaminación reportadas a nivel internacional.

A diferencia de otros contaminantes, ha habido un incremento en las concentraciones de estos compuestos en las grandes urbes de

**TABLA No. 6.3. Niveles Internacionales de Contaminación
Atmosférica por Dióxido de Nitrógeno (como NO_x).**

<i>SITIO</i>	<i>FECHA</i>	<i>CONCENTRACIONES</i>	<i>REFERENCIA.</i>
Chicago	Abr-Jun'79	0.026 ppm	5
Londres	Dic'81	0.55 "	35
Londres	Ene'82	0.48 "	35
Los Angeles, Cal	Anual'70-75	0.530 "	8
Los Angeles, Cal	Anual'81	0.620 "	1
Pasadena, Cal	Anual'70-75	0.310 "	8
Caracas, Venezuela	Anual'77	0.110 "	36
Génova, Italia	Anual'74-75	0.550 "	4
Beijing, China	Anual'85	0.05 "	45
Phoenix, Ariz	Anual'80	0.03 "	23
MEXICO, D.F.	Anual'86-87	0.099 " Presente Estudio.	

**TABLA No. 6.4. Niveles Internacionales de Contaminación
Atmosférica por Monóxido de Carbono (como CO).**

<i>SITIO</i>	<i>FECHA</i>	<i>CONCENTRACIONES</i>	<i>REFERENCIA.</i>
Pittsburgh, Penn	Anual'75-76	10.0 ppm	25
St Louis, Missouri	Anual'74-75	1.2 "	30
Syracuse, NY	Anual'79	5.4 "	44
Syracuse, NY	Anual'80	3.4 "	44
Fairbanks, Alaska	Anual'71	30.0 "	12
Fairbanks, Alaska	Anual'72	24.0 "	12
Los Angeles, Cal	Anual'70	19.0 "	14
Los Angeles, Cal	Anual'80	3.1 "	1
Los Angeles, Cal	Anual'80-86	2.9 "	20
Phoenix, Ariz	Anual'80	2.1 "	23
MEXICO, D.F.	Anual'86-87	5.5 " Presente Estudio.	

los países desarrollados, como resultado secundario e indeseado de las medidas de control de las emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC).

El caso de la ciudad de Los Angeles, California, es típico de aquellos asentamientos que han obligado a los usuarios de vehículos particulares a instalar dispositivos reductores de emisiones de CO y HC; elevando con ello, la temperatura de la combustión. Este aumento de temperatura, además de mejorar la eficiencia de la combustión, ayuda a que el nitrógeno, que normalmente forma parte del aire, reaccione con el oxígeno y se mezcle formando los compuestos denominados *óxidos de nitrógeno* (NO, NO₂, N₂O₃, N₂O₅, etc). Esta formación secundaria a partir de una mejor combustión de los CO e HC, en una serie muy compleja de reacciones catalíticamente favorecidas por el metal de los pistones del motor, y están siendo objeto de intensos estudios por parte de las compañías constructoras de vehículos automotores y, aunque los resultados son prometedores, no existe a la fecha una solución técnica que permita el control simultáneo de las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

Es interesante notar que ciudades como Londres, Los Angeles, Pasadena, y Génova, Italia, rebasan frecuentemente los valores que establecen sus normas de calidad del aire; mientras que en los centros de población importantes de los países en desarrollo, como Caracas, Venezuela; Beijing, China y la ciudad de México, los niveles alcanzados en fechas recientes no muestran niveles mayores a las normas nacionales vigentes.

Los incrementos de las concentraciones de óxidos de nitrógeno experimentados en la ciudad de Los Angeles, que van desde 0.530 ppm en sus valores promedio entre los años de 1970 a 1975, hasta la concentración de 0.620 ppm en 1981, se explica por el incremento en el número de los vehículos, los cuales aumentaron desde 3.1 millones en 1975 hasta 7.1 millones actualmente.

La Ciudad de México, como se demuestra en este estudio, no tiene un problema importante en lo que respecta a las concentraciones de óxidos de nitrógeno; aunque es obvio que están jugando un papel relevante en la formación del ozono y otros oxidantes, por lo cual, deben ser tomado en consideración dentro de los programas de control de emisiones que se implanten en el corto plazo.

6.2.3. Monóxido de Carbono

En la Tabla 6.4. se muestran valores de concentraciones de monóxido de carbono en varias ciudades estadounidenses y se incluyen los niveles alcanzados recientemente en la ciudad de México.

Es importante destacar el caso de la ciudad de Los Angeles, ya que muestra con claridad los logros alcanzados después de unos cuantos años de haber implantado un programa serio de control de las emisiones, involucrando a los vehículos automotores. Como se puede apreciar en dicha tabla, en esa ciudad californiana se han logrado reducir las concentraciones del monóxido de carbono desde 19 ppm en 1970 hasta 2.9 ppm en 1986; con lo cual actualmente cumplen con las normas de calidad del aire vigentes a nivel

federal en EUA (9 ppm en 8 horas de muestreo).

El monóxido de carbono en la Ciudad de México, como se demuestra en este estudio, no llega a rebasar la norma nacional vigente; y su nivel de contaminación no se encuentra entre los más elevados del mundo.

6.2.4. Oxidantes.

Los compuestos denominados oxidantes son producto de reacciones fotoquímicas que ocurren en la atmósfera en donde participan a los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, los cuales son emitidos principalmente por los motores de combustión interna. Este tipo de reacciones sólo ocurren durante el día, y generan una serie de compuestos muy compleja (se han reconocido hasta 2,500 compuestos producidos de diferentes composiciones químicas y físicas). Los compuestos fotoquímicos formados se evalúan conjuntamente dentro de la determinación de las concentraciones del ozono, el cual es, a su vez, constituye una formación muy reactiva e inestable del oxígeno.

El ozono se caracteriza por sus propiedades irritantes a las mucosas nasales y traqueales; además, de acelerar el deterioro de los tejidos celulares al promover la formación de fibrosis y reducir la flexibilidad de las membranas y tejidos musculares. La gran reactividad del ozono con los hidrocarburos lleva a formar compuestos de elevada toxicidad (como el benzaldehído y acetaldehído), o de alto poder lacrimógeno y posibles cancerígenos (como el peroxiacetilnitrato ó PAN).

En forma similar al monóxido de carbono, los niveles de

**TABLA No. 6.5. Niveles Internacionales de Contaminación
Atmosférica por Oxidantes (como OZONO).**

<i>SITIO</i>	<i>FECHA</i>	<i>CONCENTRACIONES</i>	<i>REFERENCIA</i>
Los Angeles, Cal	Anual '80	0.39 "	31
Yellowstone Park	Anual '80	0.05 "	31
Houston	Anual '78	0.08 "	11
Atenas, Grecia	Anual '85	0.075 "	21
Los Angeles, Cal	Anual '68	0.147 "	27
Los Angeles, Cal	Anual '80-86	0.105 "	20
St. Louis, Mo	Anual '73	0.054 "	23
Detroit, Mich	Anual '74	0.042 "	32
Detroit, Mich	Anual '76	0.067 "	32
Oslo, Noruega	Anual '77	0.109 "	37
White Park, NY	Anual '73	0.052 "	40
Nueva York, NY	Anual '73	0.090 "	40
Nueva Jersey	Anual '78-80	0.021 "	24
MEXICO, D. F.	Anual '86-87	0.165 " Presente Estudio.	

contaminación por ozono en la ciudad de Los Angeles y que se presentan en la tabla 6.5., muestran que, de 1980 a 1986, los niveles de oxidantes se han reducido desde 0.39 ppm (rebasando la norma de calidad del aire en tres veces de magnitud), hasta 0.105 ppm (y dentro de la norma anual) mediante la implantación de un programa riguroso de control de las emisiones de hidrocarburos, el cual consistió en la instalación de convertidores catalíticos en los vehículos automotores; si bien ello tuvo como resultado colateral negativo un aumento de aproximadamente 20 % en los niveles de óxidos de nitrógeno en el periodo mencionado^{1,8}

Por otra parte, los resultados de presente estudio permiten aseverar que la Ciudad de México es actualmente la ciudad más contaminada a nivel mundial, en lo que oxidantes se refiere. Debido a que estos compuestos son resultado de reacciones fotoquímicas que se realizan en la atmósfera, las cuales involucran a los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, será necesario para abatir los niveles de contaminación por ozono, implantar medidas de control dirigidas hacia la reducción de las emisiones de estos dos.

6.2.5. Partículas Suspendidas Totales.

Las partículas suspendidas totales provienen de las emisiones de las fuentes fijas (industrias), fuentes móviles (vehículos) y fuentes naturales (tolvaneras, incendios forestales, tormentas de polvo, etc). En la ciudad de México, las fuentes principales de partículas son los procesos de combustión, algunos procesos industriales como la fabricación de cemento y, durante la época de

**TABLA No. 6.6. Niveles Internacionales de Contaminación
Atmosférica por Partículas Suspendidas Totales (como PST).**

<i>SITIO</i>	<i>FECHA</i>	<i>CONCENTRACIONES</i>	<i>REFERENCIA.</i>
Nueva York	Anual '60	176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Nueva York	Anual '62	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Nueva York	Anual '64	214 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Nueva York	Anual '66	266 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Nueva York	Anual '68	222 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Nueva York	Anual '70	190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Nueva York	Anual '72	182 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Nueva York	Anual '74	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Nueva York	Anual '76	155 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Nueva York	Anual '78	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Nueva York	Anual '80	148 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29
Atlanta, Georgia	Anual '75	52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Berkeley, Cal	Anual '75	42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Boston, Mass	Anual '75	61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Burbank, Calif	Anual '75	132 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Cheyenne, Wyoming	Anual '75	37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Chicago	Anual '75	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Dallas, Texas	Anual '75	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Denver, Colorado	Anual '75	108 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Helena, Montana	Anual '75	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Houston, Texas	Anual '75	87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Los Angeles, Cal	Anual '75	116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Los Angeles, Cal	Anual '80	166 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1
Miami, Florida	Anual '75	52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Phoenix, Ariz	Anual '75	129 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
San Bernardino, Cal	Anual '75	135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Prom Urbano EUA	Anual '75	79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Prom Rural EUA	Anual '75	31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38
Spokane, Ore	Anual '82	232 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7
Seattle, Wash	Anual '82	72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7
Tacoma, Wash	Anual '82	159 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7
Portland, Ore	Anual '82	62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7
Yakima, Wash	Anual '82	222 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7
Boise, Ore	Anual '82	149 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7
Amsterdam, Holanda	Anual '85	91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	42
Detroit, Michigan	Julio '81	91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	43
Phoenix, Ariz	Anual '80	61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	23
Londres	Anual '75	93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2
Nagoya, Japón	Anual '75	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15
Jaipur, India	Anual '86	176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	34
Toronto, Canada	Anual '75	83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	17
Karachi, Pakistán	Anual '85	244 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35
MEXICO, Sur, D. F.	Anual '76-86	130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Presente Estudio.
MEXICO, Norte, D. F.	Anual '76-86	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Presente Estudio.

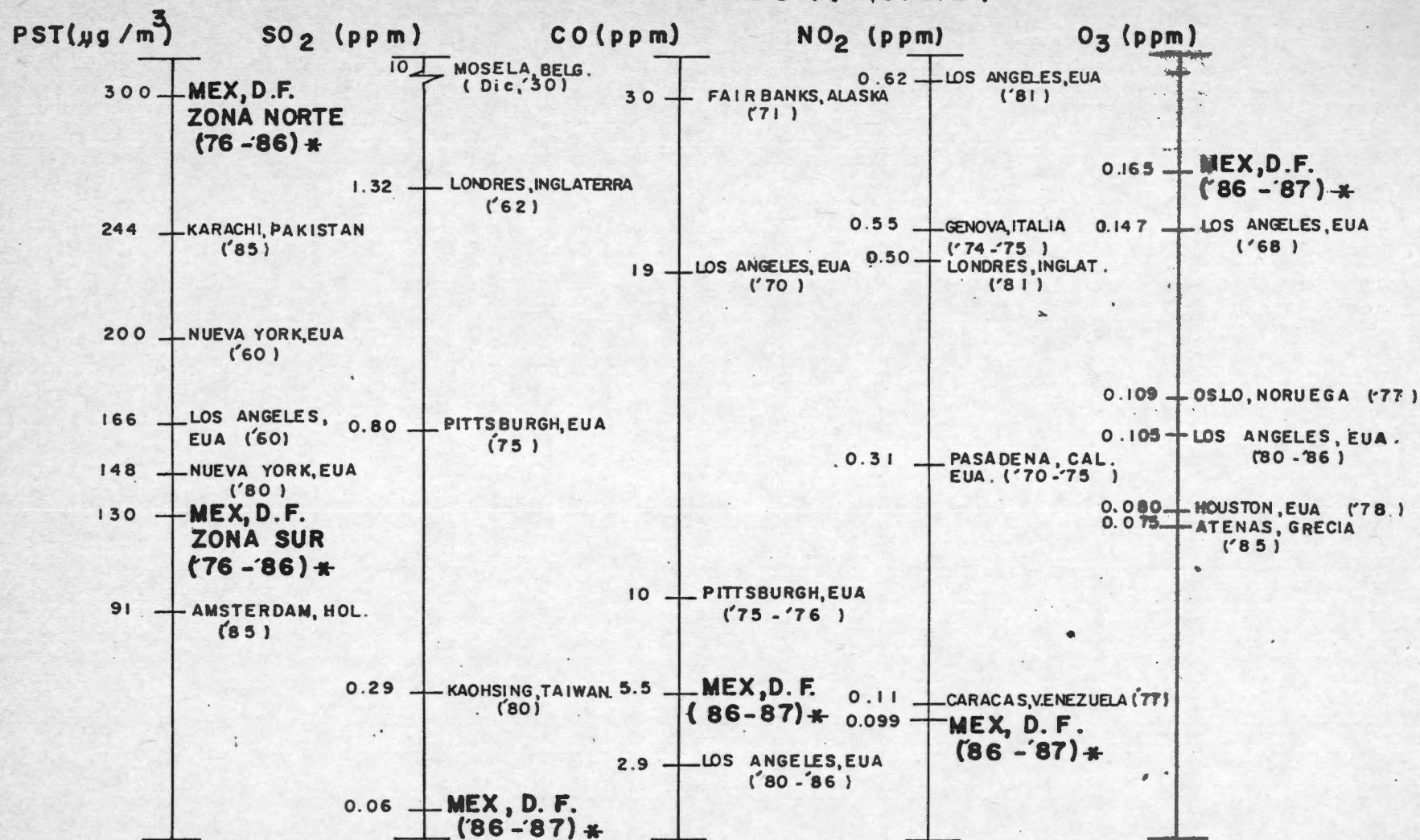
estiaje, las tolvaneras; las cuales se forman por la acción de los vientos sobre superficies erosionadas desprovistas de vegetación y que cada vez se hacen más notorias en los alrededores rurales y suburbanos de la zona metropolitana.

La Tabla 6.6. resume los valores reportados de PST a nivel mundial. Destaca el valor tan alto correspondiente a la zona norte de la Ciudad de México ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en comparación con las otras ciudades ahí referidas. Es importante hacer notar que este valor representa un promedio que abarca 8 años de datos y constituye una estimación con un alto grado de confiabilidad. También llama la atención el que nunca se mencione a este contaminante como uno de los que más contribuyen a degradar el aire de nuestra ciudad. Por ejemplo, el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), en raras ocasiones reporta a este contaminante como el responsable de los altos niveles de contaminación existente en el valle.

En este estudio se ha demostrado, con datos proporcionados por fuentes oficiales de la SEDUE, que la Ciudad de México y su área conurbada es actualmente la ciudad más contaminada del mundo en lo que se refiere a dos contaminantes del aire: partículas suspendidas totales (PST) y oxidantes (vease la figura 6.2). Extrañamente, el primero en raras ocasiones es reportado por las autoridades como responsable de los altos niveles de contaminación que caracterizan a esta zona metropolitana; sin embargo, se debe señalar, que los daños a la salud originados por este contaminante son posiblemente mas graves que los que ocasiona el ozono y sus precursores, ya que una fracción importante de las partículas suspendidas, integrada por una gran variedad de

compuestos tóxicos, entre los que se incluyen a los metales pesados y las sustancias orgánicas sintéticas, son retenidas por el aparato respiratorio, y por lo tanto, tienen la oportunidad de actuar de manera acumulativa y crónica en la salud de los habitantes del Valle de México.

COMPARACION DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION ATMOSFERICA DE LA CD. DE MEXICO (D.F.) CON OTRAS CIUDADES DEL MUNDO . (FIG. 6.2)



*.- PRESENTE ESTUDIO . (UNAM - DEPFI)

CAPITULO 7

FUENTES EMISORAS DE CONTAMINACION

Todo estudio sobre la contaminación atmosférica debe incluir una evaluación de las fuentes emisoras de partículas y gases. Dichas fuentes se clasifican en tres grandes grupos:

- A) *Fuentes Fijas o Industriales.*
- B) *Fuentes Móviles o Vehiculares, y*
- C) *Fuentes Naturales.*

7.1 Fuentes Fijas

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) ha sido el foco de desarrollo industrial y poblacional más importante del país desde tiempos prehispánicos y se contempla que continuará

siendolo hasta el futuro cercano. La dinámica que le imparte el centralismo a las actividades económicas se refleja en la extensa variedad y magnitud de las empresas instaladas en el Valle de México que, por razones de cercanía al mercado más importante nacionalmente, se han visto retrasadas ante las demandas de controlar sus emisiones, operar equipos de procesos obsoletos y la posibilidad de reubicarse en sitios menos conflictivos ambientalmente.

Estadísticas recientes del Consejo Nacional de Ecología (CONADE) de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) describen la existencia de 15,000 industrias en la Zona Metropolitana del Valle de México, de todo tipo de giros industriales; de entre los cuales se destacan por sus impactos a la contaminación atmosférica 270 empresas específicas, entre privadas y paraestatales, que por sus emisiones de partículas y gases, representan el 30% del total de emisiones globales, pero que son el 90% de las partículas emitidas, 95% de los óxidos de azufre, 50% de las emisiones de los óxidos de nitrógeno, 15% de las emisiones de monóxido de carbono y 50% de los hidrocarburos emitidos.

Sin embargo, no existe un inventario de emisiones industriales que sea detallado en cuanto a las emisiones individuales de las empresas instaladas en el Valle de México, contándose únicamente con una estimación muy general de las actividades de las dos termoeléctricas, una cementera, una refinería de petróleo, dos almacenes de combustible y algunas

empresas de fundición, entre otras.

Esta información suministrada por la SEDUE es, hasta la fecha, solo del tipo estimativo y cualitativo, y solo permite efectuar comparaciones muy generales entre las diferentes contribuciones de emisión que las diversas ramas industriales podrían impactar al medio ambiente.

En un documento intitulado "*Estado Actual de la Contaminación Atmosférica*" publicado en noviembre de 1988 por la CONADE, se divide a las actividades industriales en tres grandes grupos: Industria Básica, Industria Secundaria o Intermedia, y la Industria de la Transformación Final o de Consumo.

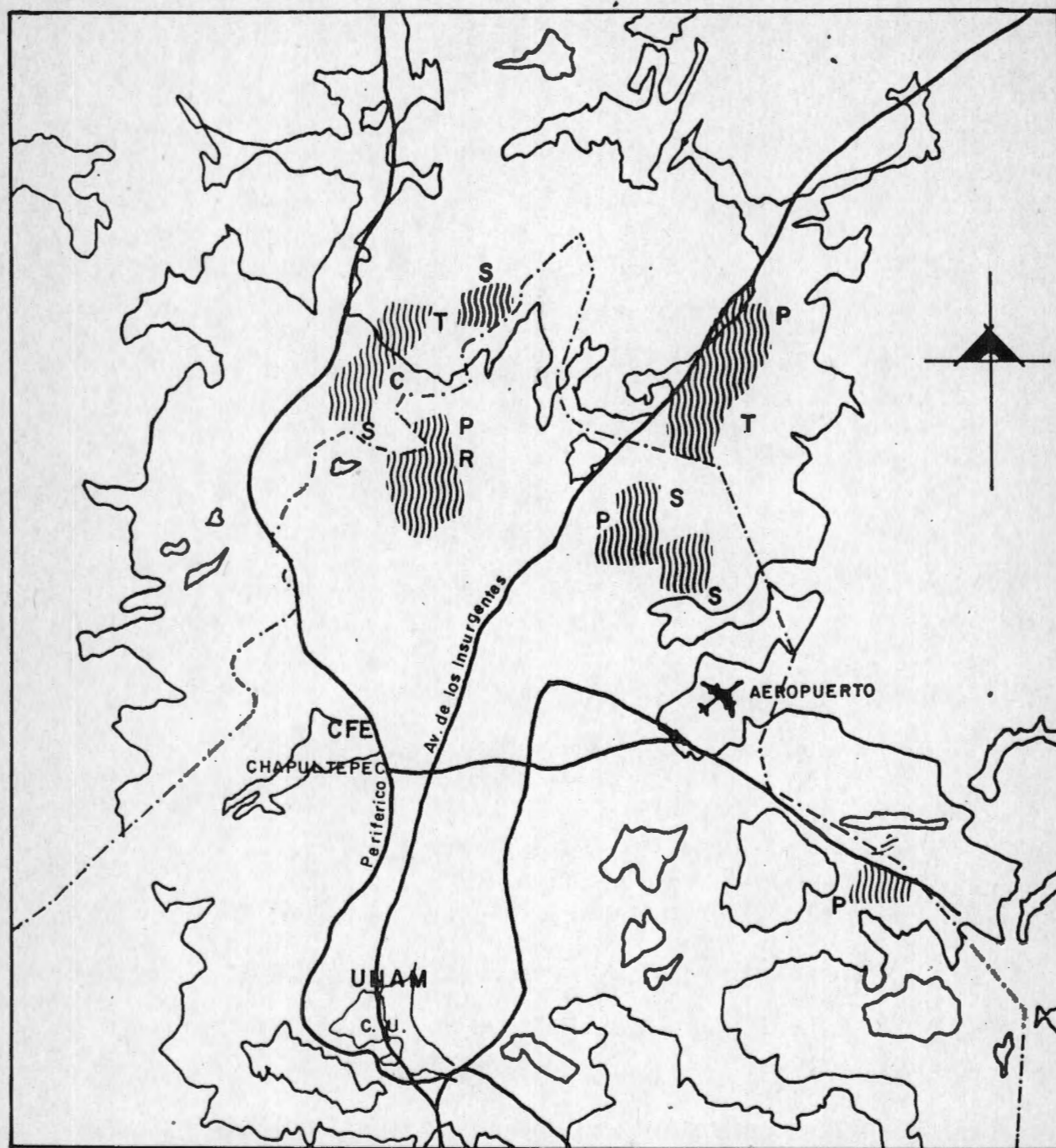
Entre la Industria Básica, se destaca la industria petroquímica básica que, por ley es actividad exclusiva de Petroleos Mexicanos. En la Zona Metropolitana del Valle de México, PEMEX tiene instaladas una refinería de petróleo (18 de Marzo, Azcapotzalco), tres almacenes de combustible y 1,500 gasolineras. También entre la industria básica, la Comisión Federal de Electricidad cuenta con dos unidades termoeléctricas que consumen combustóleo y gas natural, casi en partes iguales de sus demandas de energéticos.

La Industria Secundaria y de Transformación está muy concentrada en la zona metropolitana al representar el 60% de toda la manufactura mueblera del país, el 62.3% de la industria metal mecánica, el 67.8% de toda la industria química y paraquímica y el 54% de la industria de la construcción, todas a escala nacional.

En la Figura 7.1 se presentan las zonas de localización de

*Ubicación de las fuentes fijas más importantes en
el Valle de México.*

Fig. 7.1



 Zonas Industriales 
 T Termoeléctricas
 C Cementera

S Siderúrgica
 R Refinería de petróleo
 P Petroquímica

las empresas más importantes de la ZMVM. Las delegaciones Gustavo A. Madero, Azcapotzalco e Iztapalapa concentran la mayoría de las industrias mediana y pesada; así como los municipios conurbados de Naucalpan, Tlalnepantla, Ecatepec y Xalostoc, del Estado de México. En estas mismas delegaciones se destacan las industrias metalmecánica, termoeléctrica, refinería de petróleo y almacenes de combustibles. Las industrias pequeñas se presentan con mayor frecuencia en las delegaciones Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Iztacalco y Miguel Hidalgo; así como en los municipios de Nezahualcóyotl e Iztapalapa. Varias delegaciones del sur del Distrito Federal no tienen actividad industrial destacable, esto es, son destinadas exclusivamente a zonas residenciales.

Esta distribución de industrias al norte y oriente de la ZMVM, relativas a las zonas residenciales al centro y poniente, se agrava ante la dirección dominante de los vientos que soplan precisamente del norte al sur por lo que las emisiones industriales de partículas, monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos se suman a las emisiones vehiculares de tal manera que en las delegaciones del norte del Distrito Federal y municipios conurbados aledaños, los niveles de contaminación, así como de densidad poblacional, son las más elevadas durante todo el año.

Las emisiones de contaminantes a la atmósfera se pueden clasificar en dos grandes rubros:

- a) Por el uso de combustibles, y
- b) Por procesos de producción y almacenamiento.

La Gerencia de Protección Ecológica e Industrial de PEMEX, en 1988, reportó las siguientes estadísticas sobre el consumo de combustibles en la zona metropolitana del Valle de México (Tabla No. 7.1). Exceptuando por el consumo de Diesel, todos los combustibles han incrementado sus consumos: gasolina nova en un 65.7%; gas licuado en 194.7% y el combustóleo en 106.7%.

El consumo de dichos combustibles por parte de la industria (gas licuado, combustóleo) permite la evaluación de las emisiones de contaminantes al utilizar factores de emisión industrial en equipos convencionales de combustión. La evaluación de las emisiones es del tipo estimativo y se presenta en la Tabla 7.2.

Debido al alto contenido de cenizas y azufre que contienen los combustóleos y a las malas condiciones con que son operados muchas calderas a escala industrial, las emisiones del contaminante en la realidad, pueden ser aún más elevadas.

Las dos termoeléctricas instaladas al norte de la ciudad representan las dos fuentes puntuales más grandes en la zona, en cuanto a las emisiones de partículas suspendidas, óxidos de azufre y NOx. Las demás industrias (cerca de 15,000 en número) emiten en conjunto cantidades similares a las dos termoeléctricas. De importancia menor son los giros menores y servicios domésticos.

Por otra parte, la industria también emite contaminantes durante algunas de las fases de producción. En algunos casos, se cuentan instalados y operando equipos de remoción de emisiones de contaminantes, como por ejemplo, la industria cementera, de la cual se han reubicado dos empresas y la que todavía se encuentra

una instalada en la ZMVM, controla hasta el 90% de sus emisiones de partículas. En los tanques de almacenamiento, uno de ellos tiene instalado un techo flotante que reduce sus emisiones de hidrocarburos, esto es, se controlan el 11% de sus emisiones de hidrocarburos durante su almacenamiento de combustibles. De esta manera que se presentan en la Tabla No. 7.3, las estimaciones de emisiones de contaminantes por la industria durante sus procesamientos.

La industria cementera, a pesar de reducir sus emisiones de partículas hasta en un 90%, contribuye el 40% de las emisiones industriales de estos contaminantes; solamente seguida por la industria petroquímica (33%) y siderúrgica (17%).

Igualmente, la industria cementera contribuye con el 50% de las emisiones de azufre, seguida de la industria química y refinería de petróleo en las mismas proporciones (20%).

Tres fuentes industriales contribuyen principalmente a las emisiones de los óxidos de nitrógeno: refinería de petróleo (35.6%), industrial petroquímica (35.0%) y cementera (29%).

La principal fuente industrial de monóxido de carbono es la refinería de petróleo que contribuye casi con el 94% de las 90 mil toneladas anuales de este contaminante.

Y, finalmente, de las emisiones industriales de hidrocarburos, el uso de pinturas, lacas y barnices en múltiples industrias medianas y pequeñas, representa el 33% de las descargas a la atmósfera; seguida por la refinería de petróleo (31%), tanques de almacenamiento de combustibles de PEMEX (21.9%) y las

estaciones de servicio o gasolineras con una emisión del orden del 12.2%.

TABLA No. 7.1. Consumo de Energéticos en la Zona Metropolitana del Valle de México. (en millones de barriles equivalentes/año).

Año	Gasolina Nova	Gas Licuado	Diesel	Combustóleo
1977	58	19	30	15
1978	62	23	35	18
1979	70	27	37	17
1980	79	31	38	20
1981	95	35	39	20
1982	97	39	40	22
1983	88	41	33	25
1984	84	48	34	27
1985	90	53	34	27
1986	92	53	31	29
1987	96	56	32	31

Fuente: Gerencia de Protección Ecológica e Industrial, PEMEX, 1988. (estaciones de servicio o gasolineras con una emisión del orden del 12.2%).

TABLA No. 7.2. Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera por el
Uso de Combustibles, para 1988 (en miles de toneladas anuales).

Industria	Partículas	SO ₂	NO _x	CO	HC
Termoeléctrica	4,300	61,400	11,100	530	100
Industria	4,700	68,550	11,200	1,060	200
Giros Menores	1,100	17,050	2,310	310	95
Servicio Doméstico	250	50	1,640	270	90
TOTAL	10,350	147,050	26,270	2,170	485

**TABLA 7.3 Emisiones de contaminantes por los diferentes
procesos industriales (en miles de toneladas/año), para 1980**

Industria	partículas	SO ₂	NO _x	CO	HC
Cementera	37,000	12,000	5,000	----	18
Siderúrgica	15,600	25	65	5,600	---
Metal no ferroso	4,700	350	---	----	---
Refinería Petrol.	5,400	5,600	6,150	84,350	38,325
Celulosa y Papel	40	825	---	----	---
Ind. Química	50	5,050	---	----	---
* Ind. Petroquímica	31,510	190	6,050	----	2,100
Tanques de Almac.	---	---	---	----	27,000
Uso Pinturas, lacas	120	---	---	----	41,000
Gasolineras	---	---	---	----	16,000
TOTAL	94,420	24,040	17,265	89,950	123,443

En resumen, las industrias cementera, petroquímica y siderúrgica representan las principales fuentes emisoras de partículas, excluyendo a las fuentes móviles. Mientras que las industrias cementera y química son las principales contribuyentes de los óxidos de azufre. La refinería de petróleo en Azcapotzalco es muy importante en su contribución al ser la principal fuente industrial de emisión de monóxido de carbono e hidrocarburos.

7.2 Fuentes Móviles.

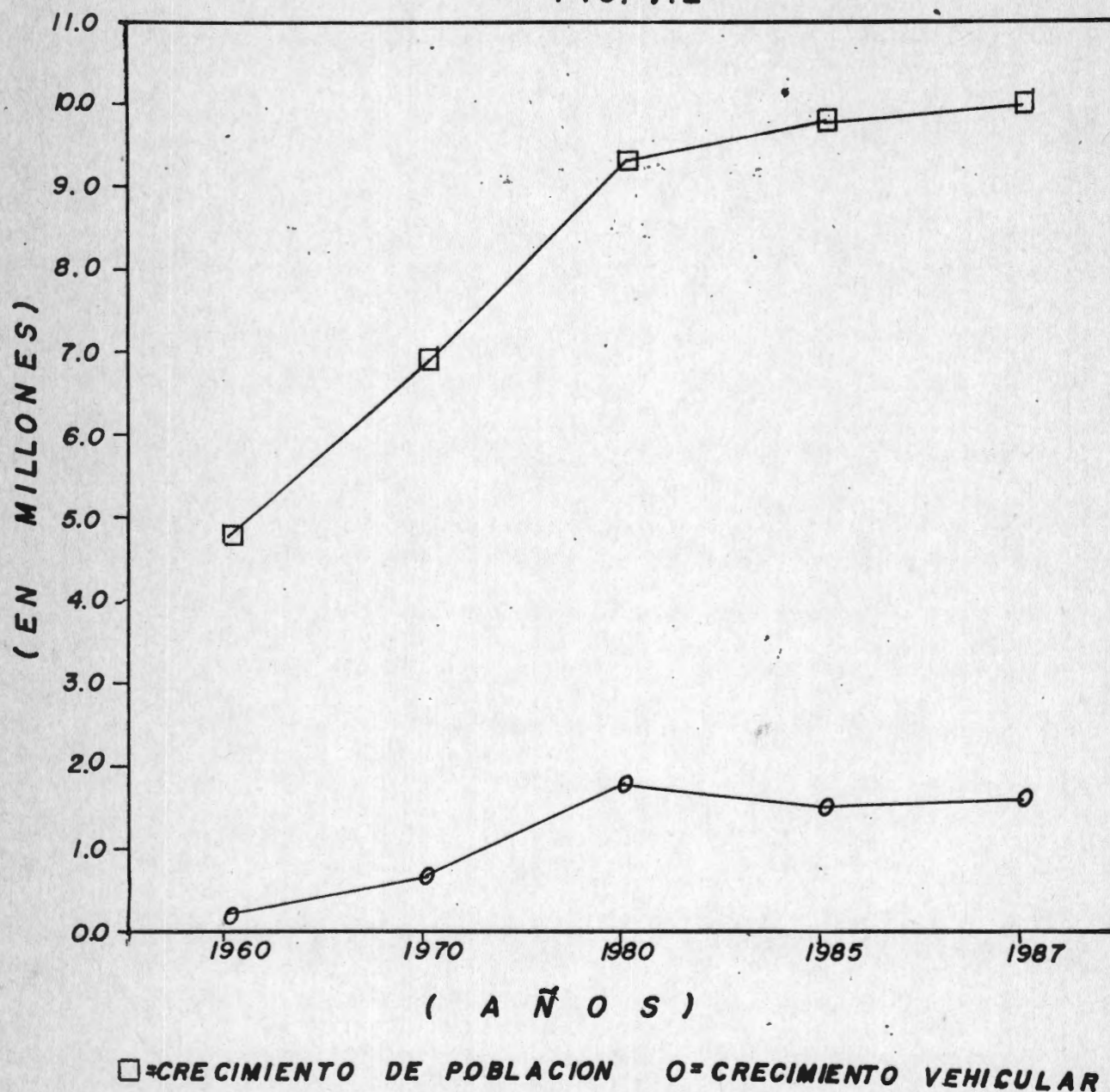
Un fenómeno asociado a la dinámica poblacional y de los niveles de vida en la Ciudad de México, ha sido el incremento en los vehículos automotores utilizados y, por consecuencia, en aumentos en las emisiones de contaminantes como el monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y, en el caso de los motores a diesel, partículas suspendidas, a la atmósfera.

En la Figura No. 7.2. se muestra graficamente las tendencias del crecimiento poblacional y de los vehículos registrados en la Ciudad de México, entre los años de 1960 a 1987. Mientras que la población fué de 4.6 millones de habitantes en 1960, se duplicó hasta 9.3 millones de habitantes en 1980, para después estabilizarse en 10 millones en 1987; esto es, la tasa de crecimiento inicial de 5.1 % anual entre 1960-1980, se redujo a 1.1 % desde 1980.

Por otro parte, el número de vehículos en circulación creció desde 0.2 millones de unidades en 1960 a 2.1 millones de automotores en 1980; y luego se mantuvo casi constante en

**TENDENCIAS DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL Y
VEHICULAR EN LA CIUDAD DE MEXICO
(1960-1987).**

FIG. 7.2



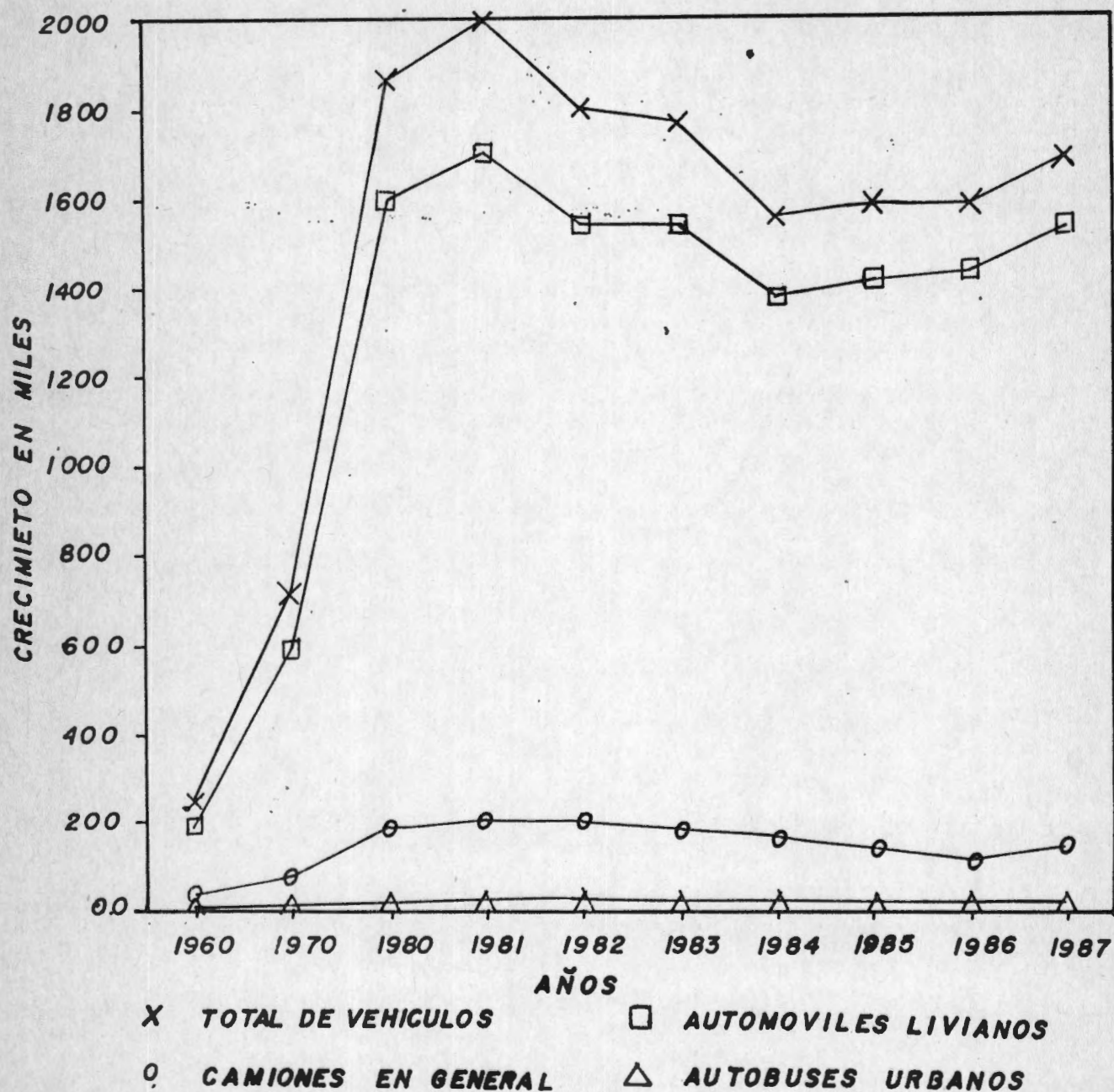
alrededor de 2 millones de unidades hasta 1987. La tasa de crecimiento vehicular fué de 4.5 % anual entre 1960 y 1980 ; para luego alcanzar el equilibrio hasta la fecha, como se observa en la figura 7.3 . El número de vehículos se mantuvo constante desde 1980 en una cifra de 2 millones de unidades; mientras que la población creció en un 10 % en el mismo periodo. Con estas cifras poblacionales se calcula la tasa de ocupación vehicular, para 1987, a ser de 5 habitantes por automóvil y de 810 personas por autobus.

Los vehículos automotores se clasifican en livianos (peso menor de 3 toneladas) y pesados. En las Tablas 7.5 y 7.6 se muestran las cifras de los vehículos registrados de acuerdo con esta clasificación y por delegación política; siendo nuevamente las delegaciones de G.A. Madero y Cuauhtémoc las de mayor porcentaje de automóviles, y la delegación Cuauhtémoc la que cuenta con el mayor registro de autobuses y vehículos pesados.

La municipalización del autotransporte en el sistema de autobuses llamado Ruta-100 (ó R-100) y trolebuses; así como el METRO, nos permite comparar los datos de pasajeros por ambos métodos de transportación. Las gráficas en la Figura 7.4 muestran los datos de transporte de pasajeros diarios, en promedio, desde 1982 a 1987. El METRO transportó 4.8 millones de pasajeros en 1982 y 6.9 millones diarios en 1987; esto es un incremento del 30 % . Por otra parte, aunque el número de unidades de autobuses se mantuvo constante entre 1982 y 1987, el número de pasajeros transportados aumentó desde 3.1 millones en 1982 a 4.5 millones en

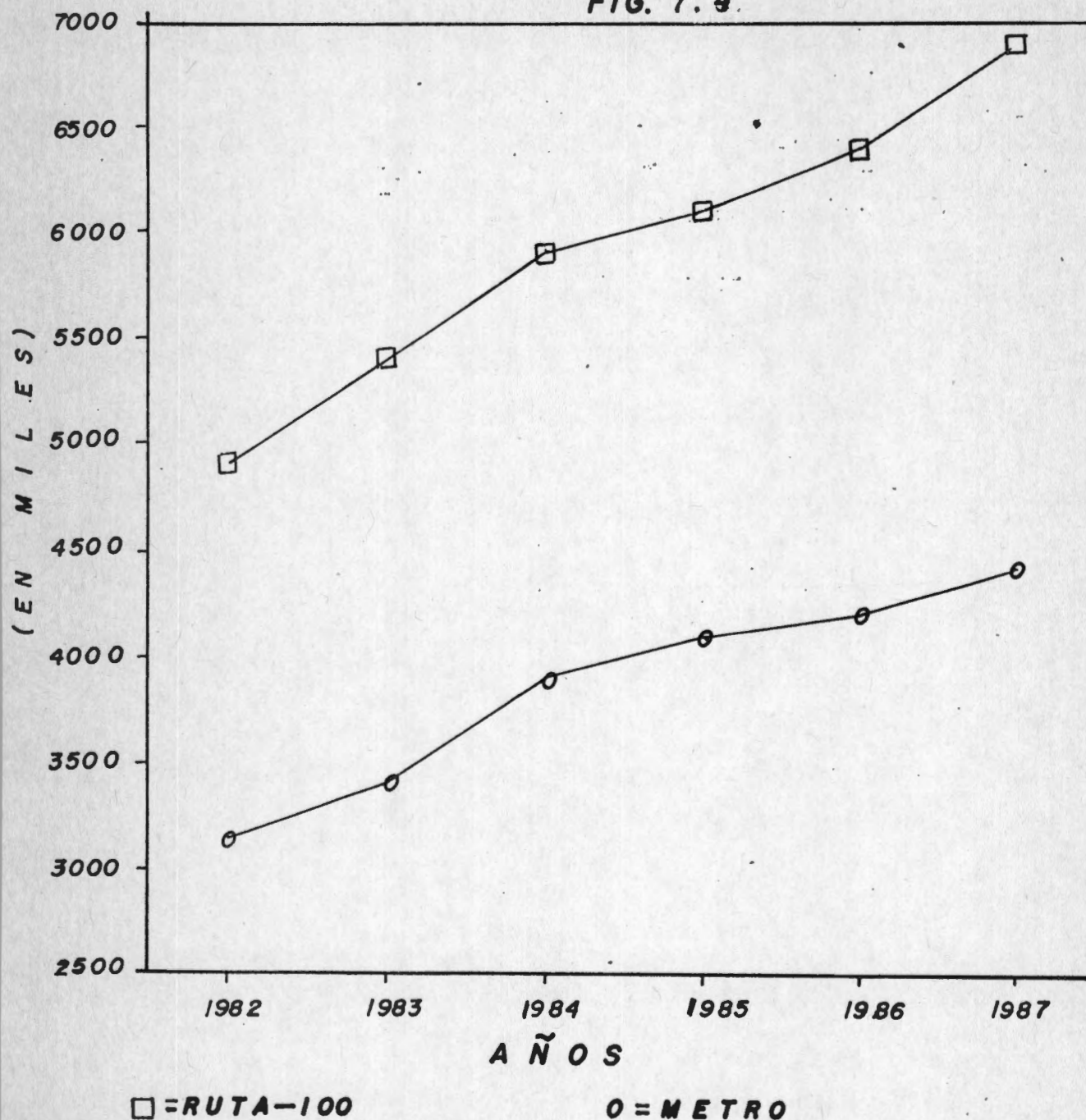
TENDENCIAS DE LOS NIVELES DE CRECIMIENTO VEHICULARES EN LA CIUDAD DE MEXICO

FIG. 7.3



**PASAJEROS TRANSPORTADOS POR AUTOBUSES
RUTA-100 Y METRO EN LA CIUDAD DE MEXICO
(1982-1987)**

FIG. 7.4.



Fuente: Dirección General de Autotransporte Urbano C.G.T. D.D.F. (1987)

TABLA 7.4 Vehículos de motor en el Distrito Federal
totales por año

AÑO	AUTOMOVILES	AUTOBUSES	CAMIONES	MOTOCICLETAS	TOTALES
1960	192557	6910	35161	13410	248048
1970	589615	9890	76500	41667	717672
1980	1601867	14487	187205	66249	1869808
1981	1706435	15047	204248	71013	1996743
1982	1542004	19401	201200	40000	1802606
1983	1542868	12360	180921	36279	1772428
1984	1377432	12061	164563	31148	1585204
1985	1416310	11661	137877	24333	1590181
1986	1434186	10279	111244	32499	1588208
1987	1538673	12342	138823	2888	1692726

FUENTE: DIRECCION GENERAL DE AUTOTRANSPORTE URBANO C.G.T. D.D.F.

(1987)

1987; esto es, un incremento del 45 % en 5 años. En forma conjunta, ambos sistemas de transporte incrementaron sus servicios desde 8 millones en 1982 a 11.5 millones en 1987; un incremento global del orden del 44 % .

Las autoridades de vialidad del Departamento del Distrito Federal evaluaron en 1987 la densidad del flujo vehicular, mediante la determinación del número de vehículos transitando a través de ciertos sitios de aforo. Dichas densidades de flujo se han convertido en densidades de emisiones vehiculares, en este caso, de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. Cualitativamente, se han propuesto tres zonas de densidad de emisiones, en base a la densidad de flujo vehicular, tal y como se muestra en la Figura 7.5. Dichas zonas de densidad de emisión vehicular se clasificaron de la siguiente manera: *alta*, en las delegaciones G.A. Madero, V. Carranza, Cuauhtémoc y B. Juárez , *media*, en las delegaciones Azcapotzalco, Iztacalco, Iztapalapa, M. Hidalgo y Coyoacán ; y *baja* en las restantes.

Al estudiar conjuntamente los datos de densidad de emisión vehicular por delegación (Fig 7.5.), la ubicación de la industria (Figura 7.1.) y las direcciones de los vientos dominantes y los datos de concentraciones del capítulo 4, se observa una estrecha relación entre las concentraciones observadas de los contaminantes primarios (óxidos de azufre, monóxido de carbono y partículas suspendidas) en aquellos sitios al norte y oriente de la zona metropolitana cercanos a sus fuentes de emisión (vehículos e industria); mientras que las concentraciones

**TABLA 7.5 Vehículos automotores livianos registrados
en la ciudad de México por delegaciones políticas en
el año de 1987.**

DELEG. POLITICA	AUTOMOVILES PARTICULARES	AUTOMOVILES SERV. PUBL.	MOTOCI- CLETAS	TOTALES
ALV. OBREGON	97762	5193	195	103150
AZCAPOTZALCO	70578	4693	123	75394
BENITO JUAREZ	156898	3250	324	160472
COYOACAN	122856	5979	179	129014
CUAJIMALPA	11322	1062	24	12408
CUAUHTEMOC	168137	6036	373	174546
GUST. A MADERO	157075	14188	231	171494
IZTACALCO	63737	6495	99	70331
IZTAPALAPA	110582	12396	213	123191
MAGDA. CONTRERAS	22406	1105	49	23560
MIGUEL HIDALGO	135467	3558	332	139357
MILPA ALTA	3431	498	5	3034
TLAHUAC	9988	1767	34	11789
TLALPAN	61288	3293	68	64649
VENUST. CARRANZA	76332	7768	100	84200
XOCHIMILCO	22265	2709	42	25016
SUB TOTAL	1290116	80080	2391	1372587
OTROS ESTADOS	150948	17529	497	168974
TOTAL GENERAL	1441064	97609	2888	1541561

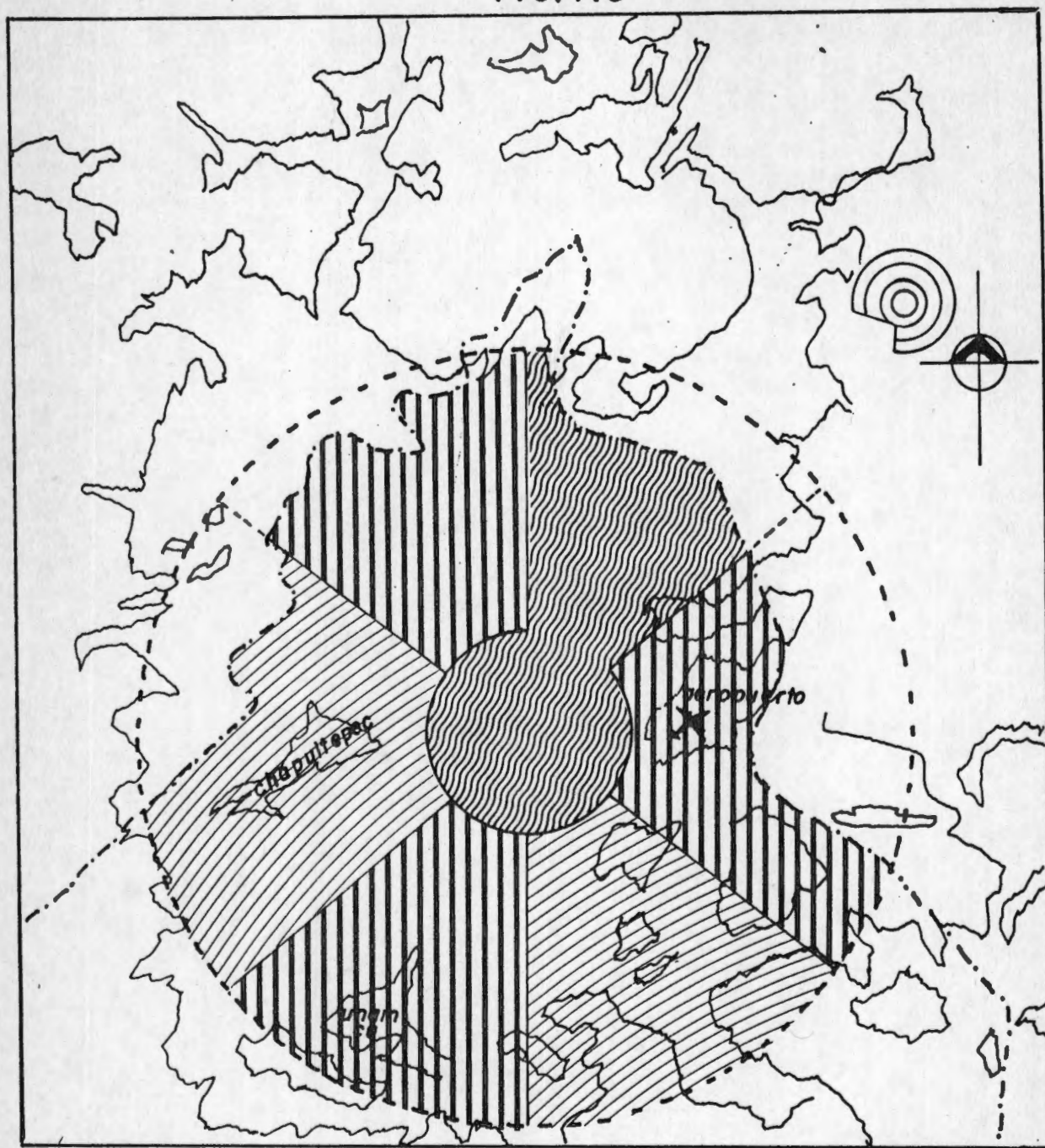
NOTA.- SE CONSIDERAN EN ESTA TABLA LOS VEHICULOS DEL TIPO CAMIONETAS Y PANELES

TABLA 7.6 Vehículos automotores pesados registrados
en la ciudad de México por delegaciones políticas
en el año 1987.

DELEG. POLITICA	AUTOBUSES	AUTOBUSES	CAMIONES	TOTALES
	PARTICUL.	SERV. URB.	EN GRAL.	
ALV. OBREGON	145	1	6705	6851
AZCAPOTZALCO	43	2	11476	11521
BENITO JUAREZ	739	8119	11022	19880
COYOACAN	185	1	5417	5603
CUAJIMALPA	3	0	1133	1136
CUAUHTEMOC	693	2	31819	32514
GUST. A MADERO	382	3	11909	12294
IZTACALCO	46	1	6837	6884
IZTAPALAPA	77	0	12030	12107
MAGDA. CONTRERAS	21	0	903	924
MIGUEL HIDALGO	337	0	15778	16115
MILPA ALTA	1	1	799	801
TLAHUAC	11	0	1319	1330
TLALPAN	203	0	5567	5770
VENUST. CARRANZA	74	0	6213	6287
XOCHIMILCO	21	0	2489	2510
SUB.TOTAL	2981	8130	131416	142527
OTROS ESTADOS	139	1092	7407	8638
TOTAL GENERAL	3120	9222	138823	151165

FUENTE: DIRECCION GENERAL DE AUTOTRANSPORTE URBANO, C.G.T D.D.F

**DENSIDAD DE EMISIONES VEHICULARES EN EL VALLE
DE MEXICO
FIG. 7.5**



-  **DENSIDAD ALTA**
-  **DENSIDAD MEDIA**
-  **DENSIDAD BAJA**

respectivas a las zonas sur y poniente, donde no existe industria y la densidad de emisiones vehiculares son bajas, las concentraciones de esos contaminantes decrecen considerablemente; sin embargo, los datos correspondientes a las concentraciones del ozono muestran relaciones que se invierten entre estas zonas.

Esta evidencia que las emisiones vehiculares de óxido de nitrógeno e hidrocarburos son transportados en la dirección sur y sureste por los vientos dominantes, originando, después de reaccionar fotoquímicamente, las altas concentraciones de ozono detectadas en esta parte de la ciudad. Las implicaciones de este transporte y transformación de los contaminantes emitidos por vehículos e industrias al convertirse en forma natural en ozono significa que el abatimiento de los niveles de ozono en la Ciudad de México podría lograrse mediante una reducción sustancial del tráfico vehicular al centro, norte y oriente, donde existe una alta densidad de emisiones, mediante la optimización del transporte colectivo, y control de las emisiones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno provenientes de las industria ubicadas en dichas zonas.

7.3 Fuentes Naturales

Finalmente, existen dos fuentes naturales importantes en el área urbana de la Ciudad de México: la suspensión de partículas debido a la acción eólica (tolvaneras) que ocurren durante los meses de febrero a abril, y los incendios forestales y agrícolas del sur del valle, que ocasionales o intencionales, colocan partículas, monóxido de carbono e hidrocarburos durante los meses

de estiaje. Estas emisiones de contaminantes no han sido cuantificadas, pero su impacto en la contaminación del aire en algunas épocas del año, suelen agravar excepcionalmente la situación de la contaminación en el Valle de México.

CAPITULO 8

EFECTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

A continuación se exponen brevemente los efectos que tienen los diversos contaminantes del aire sobre la salud humana, la vegetación y los materiales.

8.1. Efectos sobre la salud humana.

Un adulto promedio requiere de 13.5 kg de aire, unos 11 metros cúbicos, al día para respirar; mientras que necesita 1.5 kg de alimentos y de 2 litros de agua. Comparando entre estas demandas vitales, el consumo del aire es obligado, continuo y constante, marcando la diferencia en la dependencia fundamental del ser humano con la atmósfera. Además, el aire es esencial para

los sentidos de la vista, olfato y audición, a los que afecta directamente la contaminación por partículas suspendidas y gases.

Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud humana o se pueden clasificar de acuerdo a sus formas.⁴⁸

- 1) enfermedad aguda o muerte,
- 2) enfermedades crónicas, reducción de vida útil, obstáculos al crecimiento y desarrollo infantil,
- 3) alteración de funciones fisiológicas vitales; tales como ventilación en los pulmones, transporte de oxígeno por la hemoglobina en la sangre, etc ,
- 4) impedimentos a la realización plena de actividades, tales como las deportivas, aprendizaje, etc ,tc ,
- 5) síntomas internos, como la irritación de los sentidos (ojos, oídos, nariz, garganta, etc),
- 6) almacenamiento de materiales potencialmente dañinos en el organismo (metales pesados, compuestos aromáticos, etc),
- 7) y falta de confort, olores, reducción de visibilidad y otros impactos que llevan al individuo a considerar que su calidad de vida se ha deteriorado por la presencia de contaminantes en el aire en su entorno doméstico.

La medicina y las disciplinas ambientales se han conjuntado para evaluar dichos efectos, tomando como campo de estudio por un lado, lo que se ha denominado episodios de contaminación atmosférica, y por el otro, las condiciones ambientales que predominan en las áreas urbanas más importantes del mundo.

8.1.1. Episodios de contaminación severa.

Inicialmente, la atención en los estudios de los efectos nocivos por la contaminación del aire se orientó a investigar las situaciones de elevadas concentraciones de ciertas sustancias que causaron "excesos de mortalidad" en plazos muy cortos de exposición; esto es, "episodios de contaminación severa". En el pasado se habían manifestado episodios severos, pero no se contaba con métodos científicos de evaluación de las concentraciones de contaminantes ni de mediciones médicas confiables entre la población expuesta a dichos eventos.⁴⁹

El primer caso analizado científicamente fué el del valle del Mosela, Bélgica, en diciembre de 1930. Sobre un estrecho valle de 15 km de longitud, se presentó una condición meteorológica muy estable durante 7 días, y las industrias de la fundición, vidrieras, acereras, textiles, refinerías de carbón mineral, carboeléctricas y plantas de ácido sulfúrico, al utilizar carbón mineral con un elevado porcentaje de azufre y cenizas, emitieron toneladas de partículas y óxidos de azufre a la atmósfera. Dentro de las mismas condiciones meteorológicas estables, se desarrolló una inversión térmica que duró 3 días seguidos, con lo que la ventilación natural se redujo substancialmente, y los niveles de SO_2 alcanzaron hasta 38.4 ppm. Al final del tercer día, un gran número de personas se presentaron a los hospitales locales quejándose de problemas respiratorios intensos y, al finalizar esa semana, habían muerto 60 personas. En el mismo periodo llegaron a morir 7 reses. Entre las personas adultas, la mayor mortalidad fue

por enfermedades cardíacas y pulmonares; y entre todas las demás, se presentaron enfermos con dolencias agudas como dolor intenso del pecho, tos, fallas en la respiración, y grave irritación ocular y nasal. Las autopsias realizadas revelaron irritación extendida de la mucosa traqueal y de los bronquios superiores. Se argumentó por parte de las autoridades médicas que el principal mecanismo de afectación fueron las constricciones de los conductos pulmonares e inflamación de las mucosa respectivas.⁴⁸

El siguiente caso notorio ocurrió en Donora, Pennsylvania, el 26 de octubre de 1948, cuando las emisiones de partículas y óxidos de azufre provenientes del extenso desarrollo metalúrgico regional, conjuntamente con un periodo meteorológico estable, crearon molestias graves en la mitad de la población de 14,000 habitantes expuestos, de los cuales murieron 20 personas, en su mayoría ancianos.⁴⁸

En Poza Rica, Veracruz, el 21 de noviembre de 1950, el gas liberado por la ruptura de una válvula de seguridad en una torre de refinación de petróleo, constituido principalmente de ácido sulfhídrico (H_2S), causó la hospitalización de 320 personas y 22 de ellas murieron. Este desastre no debe considerarse como contaminación atmosférica urbana, sino como un accidente industrial que repercutió en la población cercana a la industria.⁴⁸

El caso más comentado de contaminación urbana que provocara morbilidad y mortalidad entre la población, fué el ocurrido en Londres, Inglaterra, en el invierno de 1952-1953. En años

anteriores ya se habían presentado quejas de los ciudadanos sobre las molestias que se presentaban todos los inviernos en la capital inglesa. Por tal motivo, se formó un cuerpo de investigadores en las disciplinas de la química y medicina, y cuando del 5 al 9 de diciembre de 1952 se evaluaron concentraciones de partículas suspendidas del orden de $4,460 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de SO_2 de $1.34 \text{ mg}/\text{m}^3$, se registraron en los siguientes 15 días en los hospitales especializados y de emergencias, alrededor de 54,000 personas, siendo en su mayoría ancianos de más de 70 años y personas asmáticas, quejándose de dolores intensos en el pecho, algunas fiebres y excesos de fluidos en los pulmones. En algunos casos, se presentaron recrudecimientos de enfermedades cardíacas. Dicho cuerpo de estudiosos reportó, a mediados de 1953, en su informe a las autoridades, que había un exceso de muertes para el mes de diciembre del orden de 4,000 decesos arriba de la mortalidad promedio del mes de agosto del año de 1952; y se atribuía dicho excedente a las condiciones atmosféricas y altas concentraciones de partículas y SO_2 presentadas en diciembre del mismo año. De la población que resultó muerta, más del 50 % eran ancianos, otros eran enfermos crónicos de los pulmones y del corazón, y, finalmente, indigentes cuya hipotermia se complicó con los gases expuestos a la intemperie. Nuevamente, las autopsias solo mostraron una severa irritación de las mucosas nasales y traqueales que provocaron restricciones extremas de los conductos pulmonares.⁴⁸

La Ciudad de Nueva York, NY, también sufrió a fines de 1953

un incremento notable de partículas suspendidas y de óxidos de azufre. Las estadísticas de mortalidad de los meses de noviembre y diciembre de ese año, permitieron detectar un exceso de mortalidad de 24 casos respecto al periodo similar de 1952; presumiblemente provocado por el episodio de contaminación severa.

A partir de esas fechas la atención a nivel mundial se acentuó en relación con los episodios de concentraciones extremadamente altas de partículas suspendidas y SO_2 , y la posible mortalidad entre los ancianos y enfermos de padecimientos pulmonares y cardíacos. Así al repetirse la ocurrencia de altas concentraciones en Hamburgo, República Federal Alemana, París, Francia; Praga, Checoslovaquia; Rotterdam, Holanda y Cincinnati, Ohio, EUA, en el año de 1962, se puso especial atención a la detección de los excesos en la mortalidad asociada a los niveles de contaminantes detectados; sin embargo, las estadísticas vitales de dichos centros urbanos e industriales, no permitieron establecer científicamente dicha relación.⁴⁸

En Osaka, Japón, durante el año de 1967, se rebasó la norma de calidad del aire de ozono de 0.12 ppm en una hora en más de 12 veces en el año; en 1968, en 14 días; y 9 días en 1969. Se formó un cuerpo médico en 1970 para observar con detenimiento los efectos en esa ciudad japonesa por dicho contaminante. Durante el episodio que se manifestó el día 18 de julio de 1970, la concentración de ozono fué de 0.34 ppm en una hora de muestreo, tres veces el valor máximo de la norma de calidad del aire, entre las 8.00 am y las 13.00 pm; y simultáneamente, se reportaron

un número elevado de niños y adolescentes, además de ancianos y enfermos crónicos de los pulmones a los hospitales regionales. Este exceso de demanda para ser atendidos por los servicios de salud comunitaria no se vió reflejado en aumento sensible en la tasa de mortalidad.⁵⁰

Un error común de muchos grupos ecologistas, aunque bien intencionados en las cuestiones ambientales, ha sido la interpretación de los datos de efectos a la salud provocados por los episodios antes descritos, pues no han tomado en cuenta que son eventos excepcionales de elevadas concentraciones, a temperaturas extremas (muy bajas como en los casos en Londres, Europa o Estados Unidos de América; o muy altas como el caso de Osaka, Japón), que inciden en personas de precario estado de salud (ancianos, niños escolares, enfermos crónicos de pulmón o corazón) lo cual no ocurre en situaciones cotidianas.⁵⁸

Los grupos médicos que han utilizado estudios epidemiológicos para evaluar los efectos de los contaminantes sobre las poblaciones, han encontrado que las diversas características de los sectores sociales complican la interpretación de los resultados ya que existen otros factores que influyen en la respuesta de los seres humanos, a nivel de la población en general, como por ejemplo: edad, realización de ejercicio, ocupación, niveles de contaminación en intramuros⁵², calefacción doméstica^{6,19}, uso de pinturas y solventes en interiores⁵¹, tabaquismo^{53,54}, periodo de recuperación de daños⁵¹, migración rural⁵⁵, etc.

En diversos estudios epidemiológicos se ha encontrado que al relacionar la presencia de cánceres pulmonares, exclusivamente, el principal factor que contribuye a esta enfermedad es el tabaquismo, y en menor medida, en orden decreciente, fueron la edad, realización cotidiana de ejercicio, la fortaleza física, la contaminación atmosférica, entre otros.

Otros estudios médicos epidemiológicos orientados a evaluar la incidencia de mortalidad y morbilidad NO han logrado establecer relación estadística alguna; por lo que se ha propuesto que la contaminación del aire no es un factor causal directo de muchos tipos de cánceres u otros tipos de mortalidad, y puede ser contribuyente únicamente a acelerar otros procesos de afectación ya en etapas francas de desarrollo, mediante la irritación de las mucosas nasales y traqueales, reducción del flujo respiratorio y aumento consecuente en el ritmo cardíaco.^{56,57}

8.1.2. Efectos específicos de los óxidos de azufre.

El dióxido de azufre, y la mayoría de los óxidos de azufre tienen la característica de ser muy solubles y que son completamente absorbidos durante la inhalación en reposo por las mucosas de los conductos respiratorios superiores como las fosas nasales y tráquea.²⁶

Actualmente se han encontrado que a concentraciones inferiores a los 2 ppm, se aceleran los procesos de respuesta automática (actos reflejo) del nervio vagal que regula los movimientos de la respiración del tracto superior, aumentando la

resistencia al flujo de aire. Esta reacción normal no representa daños irreparables para el organismo; sin embargo, los enfermos de asma y otras dolencias neurológicas y respiratorias, los efectos pueden llegar a ser irreversibles.⁵⁹

Los efectos en la salud ante concentraciones bajas, ligeramente arriba de las concentraciones ambientales usualmente alcanzadas en las atmósferas urbanas e industriales (en la Ciudad de México, en este estudio, se encontró un promedio anual máximo en 1987 de 0.069 ppm), se percibe el SO₂ inicialmente por un olor desagradable e irritante hasta los 0.5 ppm (concentración umbral de olor). Hasta 1.0 ppm, se aumenta la resistencia al flujo respiratorio. Las exposiciones repetidas provocan tos crónica y expectoraciones abundantes, y en casi todos los casos se logra la recuperación de los tejidos y mucosas dañadas a las 2 horas después de suspendida la exposición.^{59,67}

Los estudios toxicológicos con las exposiciones a los óxidos de azufre muestran que los efectos a la salud, a las concentraciones usualmente presentadas en las áreas urbanas, no representan un riesgo a largo plazo, son reparables normalmente los daños causados a los sistemas respiratorio y nervioso y que, los efectos provocados por este grupo de contaminantes se agravan al estar en combinación con los provocados por las partículas suspendidas, el ozono y los sulfatos (reacción sinérgica).⁶⁷

8.1.3. Efectos específicos del monóxido de carbono.

El monóxido de carbono, producto de la deficiente combustión,

es un gas incoloro, inodoro y no irritante. Al ser inhalado se transfiere desde los alveolos pulmonares a la sangre donde se combina con la hemoglobina, para producir el complejo químico llamado carboxihemoglobina (COHb), compitiendo ventajosamente con el oxígeno, y transportado de esta manera hasta los tejidos. Los tejidos, ante la falta de oxígeno en la sangre, deben esforzarse más para obtener el poco oxígeno que es transportado por la sangre llevando la carboxihemoglobina. Este proceso de carboxilación de la sangre por el monóxido de carbono es reversible al revertir el flujo de aire con el CO por aire fresco.

En un adulto sano, los niveles de afectación, esto es, la presencia de carboxihemoglobina en la sangre que impida la transferencia de oxígeno se presenta por exposiciones cortas (1 hora) a concentraciones de 12 ppm, o a concentraciones intermedias (5 a 9 ppm) por largos periodos de 8 a 12 horas.^{67,68}

Entre la población con hábitos al tabaquismo, los niveles mínimos de afectación se reducen de tal manera que una persona definida como "fumador intenso" (que fuma más de 20 cigarrillos al día), este nivel de carboxihemoglobina, en una hora, se alcanza con una exposición de 9 ppm; esto es, se reduce el nivel de protección natural en un 25 % .⁵⁴

El límite umbral de los efectos que ocasionan al inhalar el monóxido de carbono es del orden de 11 % de carboxihemoglobina, el cual se logra al respirar aire contaminado con 100 ppm de monóxido de carbono durante 8 horas, cuando se tienen dietas ricas en

colesterol y se fuman más de 20 cigarrillos diarios. Este valor de concentración mínima en las condiciones antes mencionadas nunca se han presentado en el medio ambiente; pero malestares de cabeza, náuseas y problemas de alta y baja presión pueden originarse en personas hipersensibles aún a concentraciones consideradas como "seguras"⁴⁸. Esta combinación de la presencia de carboxihemoglobina y altos niveles de colesterol y nicotina ha sido demostrado que es una de las causas de las fallas en la habilidad de manejo y fatiga excesiva entre los taxistas con más de 5 años de antigüedad en la Ciudad de Washington⁶⁹. Estos niveles de carboxihemoglobina pueden provocar malestares cardíacos entre los fumadores consuetudinarios y aún el agravamiento de la angina de pecho (*angina pectoris*).

8.1.4. Efectos específicos de los óxidos de nitrógeno.

De los siete óxidos de nitrógeno conocidos a estar presentes en la atmósfera urbana, sólo dos están considerados por afectar a la salud humana, y son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂).

Actualmente no se conocen datos de estudios epidemiológicos o toxicológicos con seres humanos o animales de laboratorio sobre efectos importantes debido a la presencia del óxido nítrico (NO), con excepción de su función como irritante de las mucosas nasales y traqueales y su papel en la formación del smog fotoquímico.⁴⁸

El dióxido de nitrógeno (NO₂) puede afectar a los ductos

respiratorios superiores como un severo irritante y causante de olor desagradable. Se requieren muy elevadas concentraciones, del orden de 25 ppm, como las existentes en ambiente laborales mal ventilados en los hornos de arco eléctrico para que se presenten daños perceptibles, como por ejemplo la "metemoglobina" en la sangre.⁴⁸

A las concentraciones ambientales usuales (0.1 ppm) y a las exposiciones comunes (8 horas en el centro del asentamiento humano), no se han observado efectos perceptibles, excepto cuando el NO_2 se encuentra en combinación con el ozono, óxidos de azufre o partículas suspendidas, donde su acción irritante es aún mayor. Las únicas respuestas del organismo a las dosis usuales de NO_2 son las irritaciones de las mucosas nasales y traqueales, el aumento en la resistencia al flujo de aire en los conductos respiratorios superiores y un posible contribución conjunta con otros compuestos al agravamiento de los malestares pulmonares.⁴⁸

8.1.5. Efectos específicos por el ozono y otros oxidantes.

El ozono es una agrupación inestable y muy reactiva del oxígeno atmosférico, y que es producto de una serie compleja de reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos emitidos por las industrias y fuentes móviles con la presencia fundamental de la luz solar. Cuando el smog fotoquímico es poco severo, el ozono es la especie dominante entre los muchos compuestos intermedios de las reacciones fotoquímicas. Sin embargo, casi todos los estudios se han orientado a los efectos

provocados por el ozono; aunque otros compuestos oxidantes también tengan efectos en la salud similares o mayores que el mismo ozono.⁴⁸

Los efectos atribuibles específicamente al ozono (irritación ocular, nasal y traqueal) se han encontrado que son muy variables al nivel individual; además de que la combinación de contaminantes, humedades relativas, grandes diferencias de temperaturas máximas y mínimas y edad de las personas expuestas también influyen sobre los efectos evaluables y relacionados únicamente a las concentraciones de ozono, a corto y largo plazo.^{1,70}

El nivel umbral de olor para el ozono es de 0.02 ppm; pero una vez detectado, el olfato deja de registrarlo como ofensivo; esto es, se desensitiviza la respuesta neurológica ante el estímulo de este olor. Los efectos irritantes del ozono se empiezan a percibir a concentraciones aproximadas de 0.3 ppm por varios minutos de exposición, mediante la resequedad de la garganta. Al rebasar 1.0 ppm, algunos individuos sensibles pueden desarrollar jaquecas, nauseas y fallas en la respiración. Otra posible respuesta individual ocurre durante la realización de ejercicios intensos, en los que se respira con la boca abierta (respiración oronasal), en la que las mucosas traqueales son afectadas severamente y a esta concentración se puede provocar tos muy intensa, desvanecimiento y dolores agudos en el pecho ²⁴. Todos estos estudios corroboraron que los efectos a la salud, en individuos sanos y en sensibles, por la irritación de las mucosas

nasales y traqueales son factibles a ser reparados luego de suspender la exposición y algunos minutos de inhalar aire fresco.^{48,70}

Los daños irreversibles se han presentado experimentalmente a concentraciones elevadas de ozono (mayores de 5 ppm) siendo el edema pulmonar la primera manifestación sobre los pulmones. Se ha propuesto que la excesiva resequedad de las mucosas nasales, traqueales y pulmonares aumente la resistencia al flujo de aire durante la respiración, creando deficiencias de humedad en áreas muy sensibles.⁵¹

Los daños en la salud a largo plazo por la exposición a oxidantes como el ozono han sido objeto de muchas discusiones científicas y no se ha logrado un consenso valedero para las exposiciones de toda la población a concentraciones bajas (menos de 0.12 ppm que es la norma horaria vigente de calidad del aire).⁷⁰

8.1.6. Efectos específicos de las partículas suspendidas.

Las partículas suspendidas se clasifican, en una forma general, por sus tamaños, en la fracción total y por su fracción respirable (menor de 10 micras ó micrometros). El sistema respiratorio superior impide que, durante la inhalación del aire, las partículas suspendidas grandes (mayores de 10 μm) penetren más allá de las fosas nasales, capturándolas y desechándolas del organismo como mucosidad. Sin embargo, la fracción más pequeña logra rebasar esta barrera natural y alcanzar los pulmones, en

dónde se depositan en los alveolos de manera permanente. Eventualmente, los componentes químicos de las partículas son absorbidos por la sangre humana en el proceso de oxigenación y se transportan dichos compuestos hasta los órganos de acumulación o de afectación. Es entonces que la naturaleza química de las partículas respirables resulta de suma importancia. A continuación se describen los efectos reconocidos de elementos químicos asociados con las partículas suspendidas.⁶⁰

A) Asbesto. En el aire se han encontrado fibras de crisotilo o asbesto provenientes del uso de balatas con base en este cristal inorgánico. Las fibras que logran alojarse en los alveolos llegan a crear llagas en el tejido pulmonar, causando la enfermedad ocupacional denominada "asbestosis". A pesar que se ha descubierto la presencia de fibras de asbesto en el aire urbano, se ha determinado una concentración muy pequeña y no se ha evaluado dicha enfermedad en habitantes de las zonas urbanas, aunque el riesgo no es lo suficientemente pequeño para despreciar su posibilidad.⁷¹

B) Plomo. La mayor cantidad de plomo que entra al organismo proviene del agua y de los alimentos, siendo sólo 5 a 10 % de la ingestión metabolizable; mientras que es asimilado el 30 % del plomo inhalado. Son tres las formas reconocidas de toxicidad del plomo inhalado: cólico gastrointestinal, encefalitis del plomo y afecciones al sistema nervioso, y anemia.⁶¹

Sin embargo, no se tienen resultados claros de las exposiciones de plomo atmosférico en personas sanas expuestas a

concentraciones usuales a largo plazo, aunque se sospecha su participación en algunas enfermedades de los riñones (el órgano vital de acumulación), hipertensión y malestares vasculares. En infantes, la presencia de plomo en niños con anemia y plomo en el cerebro ha causado preocupación por el desarrollo de retrasos mentales; pero ésta no es una situación ambiental común sino la excepción, y además parece que la inhalación del plomo atmosférico no es relevante ante otras formas infantiles y regionales de ingestión (comer escamas de pintura con bases en pigmentos de plomo de las paredes, jarros de arcilla plomada, implementos de cocina con soldadura de plomo, etc)⁷¹.

C) Cadmio. Aunque las concentraciones de cadmio en las partículas totales y respirables sea muy pequeña, del orden de 0.001 micro gramo por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), el riesgo de exposición a este metal pesado no es necesariamente pequeño; aunque los riesgos de acumulación excesiva provengan de otras rutas de ingreso, como lo son la ingestión de alimentos regados con aguas residuales industriales, juguetes de plástico y esmaltes de uñas con base de pigmentos de sales de cadmio, tabaquismo, etc. Se ha comprobado ampliamente su acumulación en los riñones, páncreas e hígado.⁷¹

D) Mercurio. Durante el uso de combustibles fósiles (combustóleo, madera, etc) y algunas operaciones de fundición, se liberan a la atmósfera partículas con mercurio en sus formas orgánicas e inorgánicas; siendo la inhalación la principal vía de entrada al organismo. El órgano de acumulación es el cerebro y el

sistema nervioso es el órgano de principal afectación. Hasta la fecha no se han demostrado efectos directos causados por la inhalación de partículas conteniendo mercurio, pero el riesgo tampoco es despreciable.^{66,71}

E) Otros elementos como el arsénico, el manganeso, el níquel, el zinc, el vanadio y el cromo⁷¹; así como iones de sulfatos, nitratos, aluminatos, sulfuros⁷¹ y compuestos orgánicos de alquilos, aromáticos alifáticos, policíclicos, clorados^{62,63}, etc; están presentes en la atmósfera urbana cantidades considerables para ser foco de atención de muchos estudios toxicológicos. Al respecto, es escasa la información actualmente disponible.^{64,65,71}

8.2. Efectos en la vegetación.

Las partículas y los gases presentes en la atmósfera urbana se ha demostrado que causan daños de impacto económico evaluable a ser del orden del 5 % de la productividad de las cosechas^{72,73}. Cada uno de los contaminantes tienen diversos grados de afectación de los cultivos cercanos a las áreas urbanas en sus diferentes etapas de desarrollo. Los efectos se pueden agrupar por contaminante y por severidad de impacto³³ en:

A). Ozono⁷⁴.

- i) Manchas amarillas y marrón en las plantas de hoja ancha,
- ii) Daño permanente(necrosis) y clorosis en pinos y plantas de hoja en aguja.

iii) Clorosis temprana y destrucción de semilla en gramíneas.

B) Oxidos de Azufre⁷⁴.

i) Manchas oscuras en las plantas de hoja ancha y lanceolada,

ii) Necrosis en plantas de hoja de aguja y gramíneas

iii) Clorosis fatal en plantas sensibles (alfalfa, manzana).

En el Valle de México, las concentraciones de ozono y los óxidos de azufre se han demostrado a ser las principales causantes del deterioro del pino oyamel en la región del Ajusco, al sur del Distrito Federal.⁷⁵

8.3. Efectos en los materiales.

La lluvia, el viento y otros fenómenos meteorológicos ponen en contacto la superficie de edificios, obras de arte, monumentos, pinturas, acabados automovilísticos, muebles, textiles, etc , iniciándose reacciones químicas entre los compuestos presentes en el aire y los materiales en la superficie expuesta.⁷⁶

Los contaminantes más activos sobre las superficies de los materiales son los óxidos de azufre, los cuales en la forma de ácidos, corroen metales, textiles sintéticos y naturales, acabados, pinturas, piedra de edificios, papel y cuero. Los costos de reparación de los daños causados por los óxidos de azufre deben ser cubiertos individualmente y muchas veces, como sucede con las obras de arte y monumentos históricos, el daño es irreversible.

El ozono, por su alta reactividad, ataca severamente a los plásticos y hules (elastómeros), pigmentos y textiles sintéticos y al papel impreso.

Los óxidos de nitrógeno aceleran el deterioro de pigmentos y pinturas.

Finalmente, las partículas suspendidas, al depositarse sobre la piedra, arcilla y vidrio, interactúa con sus componentes químicos y de existir algunas acidez en las partículas, el carbonato y sulfato de la cantera, se desprende de la superficie y se crean nuevas zonas de ataque a la corrosión. Además, el viento arrastra a las partículas imprimiéndoles la fuerza necesaria para que los efectos de abrasión sean severos en las superficies azotadas con frecuencia por los vientos dominantes. Por otra parte, la materia orgánica que todas las partículas contienen, ensucian las superficies de los materiales, haciendo que los costos de limpieza deban ser cubiertos por los propietarios de los inmuebles, textiles y otras objetos expuestos a la intemperie.⁷⁷

CAPITULO 9

IDENTIFICACION DE LAS MEDIDAS DE CONTROL Y PREVENCION

En base al diagnóstico general presentado en los capítulos anteriores, a continuación se establecen las medidas y acciones que deberán implantarse con el objeto de abatir los niveles de contaminación atmosférica existentes en el Valle de México y evitar que, en el futuro inmediato, continúe la actual tendencia creciente de dichos niveles de contaminación.

9.1. Medidas de carácter técnico

Del análisis de la información relativo a los niveles de calidad del aire registrados en el área de estudio en los últimos 10 años, se pudo observar que, especialmente los niveles de

partículas suspendidas y ozono, han mostrado una tendencia a incrementarse, alcanzando actualmente unos de los niveles de contaminación más altos del mundo.

Por otra parte, de acuerdo con los resultados de presente estudio, no obstante que las concentraciones de dióxido de azufre se encuentran en niveles relativamente bajos, la presencia de altas concentraciones de compuestos de azufre reportada en diversos estudios sobre la composición química de las partículas en el área metropolitana, permite suponer, que son de consideración las emisiones de estos compuestos en la zona y que provienen principalmente de la combustión de combustibles con los altos contenidos de azufre que caracteriza a los que se fabrican en el país, destacando entre ellos el combustóleo en primer término, y el diesel, en segundo; de manera que el fenómeno previamente señalado, puede explicarse tomando en cuenta la existencia de un proceso de rápida oxidación de dichos compuestos a sulfatos, tal vez promovida por la alta actividad fotoquímica que prevalece actualmente en la atmósfera del Valle de México.

El origen de la partículas suspendidas en la zona de estudio corresponde, en orden de importancia, a las fuentes fijas establecidas en el valle, principalmente aquellas que utilizan combustóleo como combustible, a la gran cantidad de vehículos pesados a base de diesel que circulan en la zona y que no están sujetos a ningún control en lo que se refiere a sus emisiones a la atmósfera y, a las fuentes naturales (tolvaneras), que persisten

durante la época de estiaje.

En el caso de las fuentes fijas, y tomando en consideración que la altitud de la Ciudad de México sobre el nivel del mar es una de las causas que impide una adecuada combustión de los combustibles utilizados, es conveniente, como una medida para controlar dichas emisiones en el corto plazo, que la gran industria y las plantas termoeléctricas que existen en la zona se abastezcan de gas natural. Simultaneamente, será necesario que PEMEX, através de IMP realice las investigaciones necesarias para que, en el mediano plazo, tenga capacidad de producir combustibles más adecuados para ser empleados a grandes altitudes y con bajos contenidos de cenizas y azufre.

En el caso de la pequeña y mediana industria nacional, conviene promover la sustitución paulatina del combustóleo residual que actualmente utilizan, por diesel.

Es indudable que una gran proporción de la mediana y pequeña industria nacional es obsoleta. Esto implica que los procesos de producción, además de ser ineficientes, generan mayores cantidades de contaminantes que los modernos. Es por ello que, dentro de los programas de reconversión industrial del gobierno federal, será necesario promover, mediante diversos incentivos y como una política prioritaria, el remplazo de dichos procesos, por procesos diseñados para evitar simultaneamente la generación de contaminantes e incrementar la eficiencia de producción. Por supuesto, lo anteriormente expuesto implica la erogación de recursos económicos importantes, tanto en el ámbito del desarrollo

de tecnologías con estas características, las cuales han sido poco estudiadas en los países desarrollados por presentar una problemática diferente a la nuestra, así como en lo que se refiere a las inversiones directas que se requieren para sustituir los equipos obsoletos.

La industria paraestatal y la gran industria nacional, por la magnitud relativa que representan sus emisiones contaminantes en el valle, la tecnología más avanzada que emplean en sus procesos de producción, y los mayores recursos económicos disponibles, deberán ser foco de atención en lo que respecta al cumplimiento de los reglamentos en materia de contaminación atmosférica. Todas estas industrias deberán instalar y operar equipos para controlar sus emisiones con eficiencias similares a las que estarían obligadas, el mismo tipo de industrias, en los países desarrollados.

Con respecto al ozono, cuya formación se debe a la emisión de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos reactivos, es muy escasa la información que permita establecer el comportamiento de estos compuestos en el transcurso del periodo mencionado; sin embargo, de acuerdo con los resultados del presente estudio tanto los óxidos de nitrógeno como los hidrocarburos reactivos proceden principalmente de la gran cantidad de vehículos que circulan en la zona, y por lo tanto, constituyen uno de las principales responsables de las altas concentraciones de oxidantes observadas en los últimos años. Ello implica que el control de las emisiones vehiculares tanto de los óxidos de nitrógeno como de

hidrocarburos reactivos, deberá constituir una política prioritaria, si se pretende reducir de manera notable, los niveles de contaminación del ozono en el valle. Esto no significa que otras fuentes de los contaminantes mencionados, especialmente de origen industrial, como por ejemplo, las industrias de fabricación de solventes orgánicos y pinturas, las emisiones procedentes de las plantas termoeléctricas que existen en el valle, las de la Refinería "18 de Marzo" y las procedentes de sistemas de almacenamiento y distribución de combustibles, no deban ser atendidas, sino que conviene seguir una política de prioridades de acuerdo tanto al impacto económico que tengan así como en mejorar la calidad del aire de la región. En virtud de la inexistencia de un reglamento nacional que limite este tipo de emisiones, es imperativo el que se promulguen normas de emisión de compuestos orgánicos volátiles en los procesos industriales así como el promover la sustitución de las pinturas con base en solventes orgánicos, por pinturas a base de agua. Adicionalmente, es conveniente establecer, como medida obligatoria, la instalación de equipos de recuperación de vapores en todos los sitios de almacenamiento y transferencia de gasolinas.

A fin de lograr reducir las emisiones de los vehículos en circulación, conviene implantar medidas de control que involucren los tres siguientes aspectos: La optimización de la operación de los motores, la mejora de la vialidad en las calles de la ciudad y una mayor calidad de los combustibles utilizados; esto es, de la gasolina y el diesel.

Respecto a la optimización de la operación de los motores se recomienda que las autoridades responsables establezcan el nivel óptimo del índice de octano para obtener el mayor rendimiento de la gasolina a la altitud de 2240 MSNM. a la que se encuentra la Ciudad de México, de manera que los fabricantes de automotores puedan modificar las especificaciones de sus motores. Una vez definido el nivel óptimo de octanaje, deberá procurarse el que éste se alcance mediante la adición de hidrocarburos aromáticos por reformación directa, con el objeto de promover el uso de convertidores catalíticos tanto en automóviles nuevos como en los usados. Sería conveniente que lo anterior fuera acompañado de una política de subsidio de dichos convertidores en los automóviles usados y de reducción de impuestos, en el caso de los vehículos nuevos , proporcionalmente al costo del convertidor.

La verificación obligatoria de las emisiones vehiculares y la aplicación de los reglamentos en esta materia deberá hacerse extensiva a todos los vehículos automotores que circulan en el Valle de México, en particular, y con una periodicidad bimestral a los vehículos de flotilla, colectivos, taxis, camiones de carga y autobuses. En virtud del alto costo que representan los servicios de mantenimiento de los vehículos, se propone instrumentar políticas de estímulos especialmente dirigidas a la población de escasos recursos económicos.

Con el objeto de reducir el tránsito vehicular de una manera notable en la ciudad, es imperativo alentar el uso del transporte colectivo, haciendo que éste se constituya en una opción real al

transporte individualizado. Para ello, el transporte colectivo de superficie deberá operar de manera eficiente con un número suficiente de vehículos. El uso de combis y vehículos de escasa capacidad en cuanto a número de pasajeros transportados, contrariamente a ayudar a solucionar el problema, repercute de manera directa en el agravamiento de los niveles de contaminación atmosférica de la ciudad. Como medida complementaria, deberán construirse estacionamientos de alta capacidad a precios accesibles. en puntos estratégicos de la ciudad, principalmente en las cercanías de las terminales de transporte masivo.

Por otra parte, a fin de evitar embotellamientos de tránsito, es importante establecer sitios específicos de abordaje de pasajeros para los taxis colectivos, prohibiéndose la costumbre actual de subir y bajar pasaje en cualquier lugar. Asimismo, se deberán aplicar estrictamente las medidas del reglamento de tránsito sobre estacionamiento en la vía pública.

Es importante asimismo, lograr la sincronización de los semáforos sobre todo en las arterias de mayor flujo vehicular , eliminando aquellos que sean innecesarios. Igualmente se propone la eliminación de topes en las calles, aplicando estrictamente las medidas del reglamento de tránsito respecto a las violaciones a las velocidades reglamentarias. También, se propone vigilar el cumplimiento de los horarios y rutas de reparto de mercancías establecidas.

Debido a que la calidad de los combustibles es un factor fundamental para el control de la contaminación en el Valle de

México, es imperativo la promulgación de normas técnicas dirigidas a mejorarlos, especialmente los que se consumen localmente.

A fin de mejorar la calidad de las gasolinas se sugiere establecer normas técnicas sobre los puntos de ebullición al 5%, 95 % y final, de manera que aseguren un mínimo de arrastre de hidrocarburos pesados.

En el caso del diesel, conviene especificar valores máximos y mínimos de viscosidad y puntos de ebullición al 5%, 10%, 95% y final, que aseguren un mínimo de arrastre de fracciones pesadas por mala destilación. Adicionalmente, es recomendable que los combustibles procesados en las refinerías "18 de Marzo" y "Tula" para consumo local, procedan de crudos con bajo contenido de azufre.

En los últimos años el contenido del plomo en la gasolina ha disminuido de manera apreciable, lo cual repercutió sensiblemente en una disminución sustancial en los niveles de contaminación por plomo de la atmósfera del Valle de México. En virtud de las propiedades toxicológicas de este elemento, sobre todo las que se refieren a su tendencia a acumularse en el organismo, es conveniente que PEMEX continúe con dicha política, de manera que en el corto plazo, la gasolina mexicana contenga concentraciones similares a las existentes en las gasolinas de los países desarrollados.

9.2. Recomendaciones a la población en general

Las operaciones de acelerar, frenar, cambiar de velocidad,

etc modifican la relación aire-combustible presente en los pistones del motor de combustión interna. Si la mezcla alimentada a los pistones no es la adecuada, algunos hidrocarburos serán emitidos como partículas a la atmósfera, y otras fracciones sólo se quemarán parcialmente, lo cual representa el origen de las emisiones del monóxido de carbono. Las recomendaciones siguientes, para las operaciones de manejo del automóvil, están orientadas no sólo a reducir la emisión de hidrocarburos y gases, sino también al ahorro de la gasolina.

1) Después del encendido, de 1 a 2 minutos son suficientes para el calentamiento adecuado del motor.

2) Manejar los primeros 100 metros, después de calentar el motor, a velocidad moderada.

3) Evitar los arranques y frenadas bruscas, acelerando y frenando paulatinamente.

4) Evitar utilizar el motor para frenar , con el objeto de evitar la inyección de una mezcla inadecuada aire-combustible a los pistones.

5) Mantener la presión de las llantas del automóvil dentro del límite recomendado por el fabricante.

6) El tapón del tanque de la gasolina debe permanecer herméticamente cerrado.

7) Afinar el motor del automóvil periódicamente cada 6 meses ó 10,000 km.

8) El motor del automóvil debe ajustarse cuando empiece a emitir humo azul o negro.

Ademas de modificar los hábitos de manejo del automóvil, se recomienda adoptar las siguientes medidas para reducir los niveles de contaminación de nuestra ciudad .

9) Procurar caminar o utilizar la bicicleta ; si la distancia es corta.

10) Es conveniente viajar en transporte colectivo, sobre todo fuera de las horas pico.

11) Procurar compartir el automóvil con amigos, vecinos y compañeros de trabajo.

9.3. Recomendaciones generales a las industrias

Las actividades industriales son las principales fuentes de emisión de los óxidos de azufre, de algunos hidrocarburos reactivos y de una gran variedad de sustancias tóxicas; además de contribuir considerablemente a las concentraciones de los óxidos de nitrógeno y partículas en suspensión. Los reglamentos vigentes para prevenir y controlar la contaminación atmosférica exigen a las empresas controlar sus emisiones durante las actividades industriales. Por lo tanto, a las empresas que de alguna manera contaminan el aire, se recomienda considerar las siguientes acciones:

1) En las calderas que utilizan combustóleo, procurar sustituirlo por gas natural, ya que este prácticamente no contamina el aire.

2) Aislar los procesos industriales que emitan polvo e instalar sistemas de ventilación que los conduzca hacia el equipo

de control adecuado.

3) Los polvos provenientes de procesos físicos (tritución, devanado, pulido, etc) son controlables mediante la instalación y operación de diversos dispositivos, entre los cuales destacan los ciclones mecánicos, los filtros de bolsas o los precipitadores electrostáticos.

4) La emisión de olores y algunos gases tóxicos se controla mediante un posquemador que utilice gas natural como combustible complementario.

5) En un importante número de casos es conveniente, a fin de lograr un ahorro en materia prima y en la inversión que se requiere para la adquisición y operación de equipos para controlar las emisiones a la atmósfera, modernizar los procesos de fabricación correspondientes.

CAPITULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- De acuerdo con los resultados del presente estudio, la Ciudad de México y su zona metropolitana se encuentra entre las más contaminadas del mundo, tanto en lo que respecta a partículas suspendidas como al ozono y los oxidantes fotoquímicos, observándose en los últimos 10 años, una tendencia a incrementarse las concentraciones de estos contaminantes . Es por lo tanto urgente establecer un programa de abatimiento de la contaminación que, en el corto plazo, logre invertir dicha tendencia de crecimiento y permita, en el mediano plazo ,reducir los niveles de contaminación actuales a los valores que

establecen las normas mexicanas de la calidad del aire.

2.- El problema de las altas concentraciones de partículas suspendidas y su tendencia a incrementarse en los últimos años, el cual no ha sido difundido por las autoridades mediante los informes de la calidad del aire que se proporcionan regularmente al público, debe ser atendido con la misma prioridad que el del ozono y los oxidantes fotoquímicos, considerando las propiedades tóxicas de la gran cantidad de compuestos que contienen, el potencial de ser acumulados en el organismo y los efectos crónicos que tienen sobre la salud.

3.-El programa de abatimiento de la contaminación del aire del Valle de México deberá contemplar los siguientes aspectos:

a) Aplicar extensivamente los reglamentos vigentes en materia de contaminación atmosférica. En particular, la industria paraestatal y la gran industria nacional, por la magnitud relativa que representan sus emisiones contaminantes en el valle, la tecnología más avanzada que emplean en sus procesos de producción, y los mayores recursos económicos disponibles, deberán ser foco de atención en lo que respecta al cumplimiento de los reglamentos en materia de contaminación atmosférica. Todas estas industrias deberán instalar y operar equipos para controlar sus emisiones con eficiencias similares a las que estarían obligadas, el mismo tipo de industrias, en los países desarrollados

b) Como parte de los programas de reconversión industrial del gobierno federal, será necesario promover, mediante diversos

incentivos y como una política prioritaria, el remplazo de procesos de producción obsoletos que emplea una gran parte de la pequeña y mediana industria localizada en el Valle de México, por procesos diseñados para evitar la generación de contaminantes e incrementar la eficiencia de producción.

c) En los últimos años el contenido del plomo en la gasolina ha disminuido de manera apreciable, lo cual repercutió sensiblemente en una disminución sustancial en los niveles de contaminación por plomo de la atmósfera del Valle de México. En virtud de las propiedades tóxicas de este elemento, sobre todo las que se refieren a su tendencia a acumularse en el organismo, es conveniente que PEMEX continúe con dicha política, de manera que en el corto plazo, la gasolina mexicana contenga concentraciones similares a las existentes en las gasolinas de los países desarrollados.

d) Paralelamente a lo anterior, debe promoverse el uso de convertidores catalíticos tanto en automóviles nuevos como en los usados. Sería conveniente que lo anterior fuera acompañado de una política de subsidio de dichos convertidores en los automóviles usados y de reducción de impuestos, en el caso de los vehículos nuevos, proporcionalmente al costo del convertidor.

e) Será necesario producir y distribuir combustibles de mejor calidad, en particular combustibles y diésel con bajos contenidos de azufre y cenizas, así como gasolinas con menores niveles de hidrocarburos volátiles.

f) Debido a la magnitud del problema de contaminación por

ozono y oxidantes que se presenta en el Valle de México, es indispensable extender las políticas de control de emisiones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, actualmente aplicadas a las emisiones vehiculares, hacia las fuentes fijas, tales como fundidoras, termoeléctricas y las refinerías ubicadas al norte de la zona de estudio.

g) Conviene promulgar normas técnicas adicionales a las ya existentes que reglamenten las emisiones de compuestos específicos tales como hidrocarburos en sitios de almacenamiento de combustibles, solventes orgánicos utilizados por la industria química y la aplicación de pinturas y barnices, así como sustancias tóxicas de alto riesgo, tales como el asbesto, pesticidas, metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos.

h) Se requiere desarrollar e implementar un plan integral de transporte colectivo que haga eficiente y suficiente la transportación masiva, de manera que ésta resulte en una alternativa real al transporte individualizado.

i) Es importante acelerar los planes de reubicación de las industrias de alto riesgo existentes en el Valle de México e iniciar una política de descentralización de la gran industria, instituciones y servicios públicos que por sus características resulta más conveniente su ubicación en el interior del país.

j) Es conveniente continuar y extender la cobertura del programa obligatorio de verificación de emisiones vehiculares de manera que incluya autobuses y camiones pesados así como

autobuses suburbanos.

k) Para combatir el problema de la ineficiente vialidad de la Ciudad de México deberán implantarse diversas acciones, las cuales incluyen la sincronización de semáforos, la distribución de mercancías dentro de horarios específicos, construcción de estacionamientos cercanos a las estaciones del METRO y autobuses, así como la optimización de las rutas de autobuses y colectivos.

1) Se necesitan controlar las emisiones fugitivas de hidrocarburos en los sistemas de almacenamiento de combustibles que posee PEMEX, CFE y la gran industria, así como en los sitios de distribución de gasolinas y gas licuado, mediante la instalación y operación de equipos de recirculación y condensación de gases evaporados.

4.- Existe una carencia sustancial de recursos humanos capacitados para atender los problemas de contaminación atmosférica que afectan a las principales zonas urbanas e industriales del país, por lo cual será necesario formar profesionistas especializados de alto nivel para participar en la solución de estos problemas en la industria, administración pública y centros de enseñanza e investigación existentes en el país.

5.- Debe orientarse la investigación aplicada a satisfacer las siguientes necesidades regionales:

a) Desarrollo de tecnologías económicas adaptadas a resolver el problema de las emisiones a la atmósfera de la pequeña y mediana industria establecida en el Valle de México.

b) Desarrollo de programas y tecnologías para el ahorro de combustibles y energía eléctrica tanto en lo que se refiere a los sectores industrial y del transporte, como servicios públicos y a nivel doméstico.

c) Realización de estudios multidisciplinarios sobre los efectos que tienen en la salud de los habitantes del Valle México, tanto los contaminantes principales como otras sustancias tóxicas presentes en la atmósfera de la región.

d) Contar con sistemas de información confiables sobre los contaminantes, efectos, fuentes emisoras, tecnologías y sus costos, através del desarrollo de sistemas de monitoreo, metodologías de simulación de procesos y modelos de dispersión.

6.- La mayor importancia que se le da actualmente a las actividades de monitoreo de la calidad del aire en relación con el control de las emisiones, y que en la década de los años 70 estuvieron plenamente justificadas debido a la necesidad de generar información, debe revertirse con el objeto de que sean prioritarias las políticas de control de la contaminación, y que éstas dicten las necesidades de monitoreo y evaluación de la calidad del aire.

REFERENCIAS

1. Avol, E.L. et al , "Acute Respiratory Effects of Los Angeles Smog in Continuously Exercising Adults", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 33 (11) pp 1055-1060 (1983).
2. Ball, D.J. y R. Hume, "The Relative Importance of Vehicular and Domestic Emissions of Dark Smoke in Greater London in the Mid-1970's", *Atmospheric Environment*, Vol 11 (9) pp 1065-1073 (1977).
3. Ball, D.J. y R.E. Bernard, "The Greater London Air Pollutant Emission Inventory", *Atmospheric Environment*, Vol 12 (4) pp 975,976 (1978).
4. Capanelli, C. et al , "Nitrogen Oxides: Analysis of Urban Pollution in the City of Genoa", *Atmospheric Environment*, Vol 11 (8) pp 719-727 (1977).
5. Cooke, M.J. y R.A. Wadden, "Atmospheric Factors Influencing Daily Sulfate Concentrations in Chicago Air", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 31 (11) pp 1197-1199 (1981).
6. Core, J.N. et al , "Current and Projected Impacts of Residential Wood Combustion on Pacific Northwest Air Quality" *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 34 (2) pp 138-143 (1982).
7. Crocker, J.E. y H.G. Applegate , "Ozone Concentrations in El Paso, Texas", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 33 (2) pp 129,130 (1983).
8. Chang, T.Y., "NO₂ Air Quality-Precursor Relationship: An Ambient Air Quality Evaluation in the Los Angeles Basin", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 30 (2) pp 157-162 (1980).

9. Chow, J.C. et al, "Air Pollution in the Republic of China (Taiwan)", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 33 (8) pp 768-770 (1983).
10. Diario Oficial, "Ley Federal del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente", Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Talleres Gráficos de la Nación, México, D.F., jueves 28 de enero de 1988 (1988).
11. Files, J.T., "Houston Area Oxidants Study", *Environmental Science and Technology*, Vol 12 (6) pp 638-641 (1978).
12. Gilmore, T.M. y T.R. Hanna, "Regional Monitoring of Ambient Air Carbon Monoxide in Fairbanks, Alaska", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 24 (11) pp 1077-1079 (1974).
13. Goldstein, I.F. et al, "Air Pollution Patterns in New York City", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 24 (2) pp 148-152 (1974).
14. Hanna, J.R., "Diurnal Variation of Stability Factor in the Simple ATDL Urban Dispersion Model", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 28 (2) pp 147-150 (1978).
15. Kadowacki, S., "Size Distribution and Chemical Composition of Atmospheric Particulate Nitrate in the Nagoya Area", *Atmospheric Environment*, Vol 11 (8) pp 671-675 (1977).
16. Kambour, A.A., "Variation of Ozone Concentrations in the Ambient Air of Baghdad", *Atmospheric Environment*, Vol 21 (12) pp 2673-2679 (1987).
17. Katz, M. et al, "Chromatographic and Spectral Analysis of PAH Quantitative Distribution in Air of Ontario Cities", *Environmental Science and Technology*, Vol 12 (8) pp 909-915 (1978).

18. Khattak, M.N., "Natural and Antropogenic Atmospheric Particulates at UPM Campus, Dhahran, Saudi Arabia", *Journal Air Pollution Control*, Vol 32 (11) pp 1153-1155 (1982).
19. Kim, Y.S., "Air Pollution in the Republic of Korea", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 34 (8) pp 841-843 (1984).
20. Kuntasal, G. y T.Y. Chang, "Trends and Relationships of O_3 , NO_x and HC in the South Coast Air Basin of California" *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 37 (10) pp 1158-1163 (1987).
21. Lalas, J.G., "Experimental Study of Horizontal and Vertical Distribution of Ozone over Athens", *Atmospheric Environment*, Vol 21 (12) pp 2681-2693 (1987).
22. Larsen, R.I., "An Air Quality Data Analysis System for Interrelating Effects and Needed Source Reduction", *Journal of Air Pollution Control Association*, Vol 24 (6) pp 551-558 (1974).
23. Lebowitz, M.D. et al, "Indoor-Outdoor Air Pollution, Allergen and Meteorological Monitoring in an Acid Southwest Area", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 34 (10) pp 1035 (1984).
24. Lewis, T.E. et al, "PAN Concentration in Ambient Air in New Jersey", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 33 (9) pp 886, 887 (1983).
25. Lincoln, W. J., "Contribution of Mobile Sources to Ambient Particulate Concentrations in a Downtown Urban Area", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 30 (7) pp 777 (1980).
26. Lipfert, J.W., "Sulfur Oxides, Particulates and Human Mortality: Synopsis of Statistical Correlations", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 30 (4) pp 366-369 (1980).
27. Lonneman, W.A. et al, "PAN and Oxidant Measurements in Ambient

- Atmospheres", *Environmental Science and Technology*, Vol 10 (4) pp 372-380 (1976).
28. Martin, W. y A.C. Stern, "The World's Air Quality Management Standards", U.S. Environmental Protection Agency, Reporte EPA 650/9-75-001 , (1974).
29. Miller, E.A. y R. Aron, "Oxidant Trends in the Detroit Metropolitan Area", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 28, (10) pp 1042, 1043 (1978).
30. Munshi, U. y R.S. Patil, "Application of ATDL Type Models to Bombay", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 31 (9) pp 998-1001 (1981).
31. McCarroll, M.J. et al , "Health Effects Associated with Increased Use of Coal", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 30 (6) pp 652 (1980).
32. McClenny, W.A. y L.W. Chaney , "Pollutant Variability in the Regional Air Pollution Study". *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 28 (7) pp 693-696 (1978).
33. McLaughlin, S.B., "Effects of Air Pollution on Forests", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 35 (5) pp 512-534 (1985).
34. Negi, B.S. et al , "Aerosol Composition and Sources in Urban Areas in India", *Ambient*, Vol 21 (6) pp 1259-1266 (1987).
35. Parekh, P.P. et al, "The Use of Chemical and Statistical Methods to Identify Sources of Selected Elements in Ambient Air Aerosols in Karachi, Pakistan", *Atmospheric Environment*, Vol 21 (6) pp 1267-1274 (1987).
36. Sanhueza, E. y J. Romero, "NO_x Levels in the Caracas Valley" *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 28 (2) pp 157 (1978).

37. Schjoldager, J (1981) "Ambient Ozone Measurements in Norway, 1975 to 1979", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 31 (11) pp 1187-1191 (1981).
38. Shah, J. J. et al , "Carbonaceous Aerosol at Urban and Rural Sites in the United States", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 36 (3) pp 254-257 (1986).
39. Simpson, D. et al, "Pollution Levels in the UK during 14 - 22 January, 1985", *Atmospheric Environment*, Vol 21 (12) pp 2495-2503 (1987).
40. Stasiuk, W. W. y P. E. Coffey, "Rural and Urban Ozone Relations in New York State", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 24 (6) pp 564-568 (1974).
41. Swinford, R., "Vertical Ozone Profile in the Lower Troposphere over Chicago", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 30 (7) pp 794,795 (1974).
42. Van den Meulen, V et al , "PM-10: Results of One-Year Monitoring Survey in the Netherlands", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 37 (7) pp 812-818 (1987).
43. Wolff, G. T. et al , "The Relationship between the Chemical Composition of Fine Particles and Visibility in the Detroit Metropolitan Area" *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 32 (12) pp 1216-1220 (1982).
44. Zamurs, J., "Assessing the Effect of Transportation Control Strategies on Urban Carbon Monoxide Concentrations", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 34 (6) pp 637-642 (1984).
45. Zhao, D. y B. Sun , "Atmospheric Pollution from Coal Combustion in China", *Journal Air Pollution Control Association*, Vol 36 (4) pp 371-374 (1986).

46. Espinosa Rubio, M.E. y M.A. Zuñiga, "Partículas y Compuestos de Azufre en el Norte de la Ciudad de México" *Memorias del III Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 22 al 24 de septiembre de 1982, Acapulco Gro., Vol II, p 13-27 (1982).
47. Fuentes Gea, V. et al, "Análisis de la Contaminación del Aire por Partículas en Ciudad Universitaria", *Memorias del III Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 22 al 24 de septiembre de 1982, Acapulco, Gro., Vol II, p29-41 (1982).
48. Goldsmith, J.R. y L.T. Friberg "Effects of Air Pollution on Human Health" en A.C. Stern (ed) "*Air Pollution. Volume II*", Academic Press, Nueva York, NY, Tercera edición, p 457-610 (1977).
49. Brimblecombe, P. "The Antiquity of 'Smokeless' Zones", *Atmospheric Environment*, Vol 21 (11) pp 2485, 2486 (1987).
50. Lippman, M. "Health Effects of Ozone. A Critical Review", *Journal of Air Pollution Control Association*, Vol 39 (5) pp 672-695 (1989).
51. Lippman, M., "Health Significance of Pulmonary Function Responses to Airborne Irritants", *Journal of Air Pollution Control Association*, Vol 38 (7) pp 881-887 (1988).
52. Mumford, L.W., "Lung Cancer and Indoor Air Pollution in Xuan Wei, China", *Science*, Vol 235 pp 217-222 (1987).
53. Crawford, W.A., "On Air Pollution, Environmental Tobacco Smoke, Radon and Lung Cancer", *Journal of Air Pollution Control Association*, Vol 38 (11) pp 1386-1391 (1988).
54. Tollison, J.M. (ed), "*Smoking and Society*", Lexington Books, Nueva York, E.U.A. (1986).
55. Erfani, G. y F.W. Bell, "Impact of Migration on Air Quality

pp1114-1137 (1988).

73. Olszyk, D.M. et al, "California Statewide Assessment of the Effects of Ozone on Crop Productivities", *Journal of Air Pollution Control Association*, Vol 38 (7), pp929-931 (1988).

74. Adams, R.M. et al, " An Assessment of the Economic Effects of Ozone on U.S. Agriculture", *Journal of Air Pollution Control Association*, Vol 35 (9), pp938-943 (1985).

75. De Bauer, M.L. et al, "Ozone Causes Needle Injury and Tree Decline in *Pinus hartwegii* at High Altitudes Around Mexico City", *Journal of Air Pollution Control Association*, Vol 35 (8) pp838 (1988).

76. Haynie, F.H. y J.B. Upham, "Correlation between Corrosion Behavior of Steel and Atmospheric Pollution Data" en "*Corrosion in Natural Environments*", American Society of Testing Materials, Publicación STP-558 pp33-51 (1974).

77. Lodge, J.P. Jr et al, "Non-health Effects of Airborne Particulate Matter", *Atmospheric Environment*, Vol 15 (3) pp431-482 (1981).

F/DEPFI/MISC/0019



717937

F
DEPFI
MISC
0019

G(2)- 17937