

**INFORME ANUAL
DE LA CALIDAD DEL AIRE
Y PRECIPITACIÓN ÁCIDA
EN EL VALLE DE MÉXICO**



2000



GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL
Secretaría del Medio Ambiente

DIRECTORIO

LIC. ANDRÉS MANUEL LÓPEZ OBRADOR
JEFE DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO
SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE

DR. VÍCTOR HUGO PÁRAMO FIGUEROA
DIRECTOR GENERAL DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL AIRE

M. EN C. RAFAEL RAMOS VILLEGAS
DIRECTOR DE LA RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

BIÓL. ROBERTO MUÑOZ CRUZ
SUBDIRECTOR DE ANÁLISIS E
INFORMACIÓN

TÉC. ARMANDO RETAMA HERNÁNDEZ
SUBDIRECTOR DE MONITOREO

ING. ALEJANDRO RÍOS MEJÍA
SUBDIRECTOR DE SISTEMAS DE
INFORMACIÓN

ELABORACIÓN

ACT. CRISTINA ORTUÑO MOJICA

ING. MARÍA DEL ROCÍO CARMONA MÁRTIR

TÉC. MARÍA GUADALUPE GRANADOS GUTIÉRREZ

BIÓL. MÓNICA DEL CARMEN JAIMES PALOMERA

BIÓL. LILIA GARCÍA GALVÁN

TÉC. LUCINA ARGUETA TORRES

GEÓG. ANGÉLICA CRUZ ARANA

ING. ERICK DEL VALLE SALGADO

Visita nuestra página de INTERNET - <http://www.sma.df.gob.mx>

PRESENTACIÓN

Me es muy grato presentar este Informe de la Calidad del Aire en el Valle de México correspondiente al análisis de los datos recopilados por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del D. F. durante el periodo 1990 a 2000.

Este informe tiene el propósito de resumir los datos del monitoreo permanente que lleva a cabo la Secretaría para información del público en general, con énfasis en evaluar la calidad del aire con respecto a las normas de protección a la salud y la influencia que han tenido las acciones de prevención y control aplicadas en años recientes.

Las fuentes de información son la *Red Automática*, que recaba las concentraciones de los gases ozono, bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y bióxido de azufre, y partículas menores a 10 micrómetros; la *Red Manual*, que registra las partículas suspendidas totales, partículas menores a 10 micrómetros y el plomo contenido en éstas; así como la *Red de Depósito Atmosférico*, conocida también como la Red de Lluvia Ácida, la cual recaba la información físico-química y del contenido elemental del agua de lluvia.

El Sistema de Monitoreo Atmosférico es operado por el Gobierno del Distrito Federal, para abarcar un extenso territorio del Distrito Federal y los municipios conurbados del Estado de México que integran la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

La medición continua de la calidad del aire en la Ciudad de México data de 1986 a la fecha y se cuenta con una base de datos consolidada de los *contaminantes criterio del aire*. La información del sistema de monitoreo de la calidad del aire es difundida a los medios de comunicación cada hora todos los días del año y gracias al desarrollo tecnológico es posible consultar los niveles de contaminación a través de la página de Internet de la Secretaría, así como tener acceso a las bases de datos históricas.

Nuestra misión es vigilar e informar oportunamente a la población sobre el estado de la calidad del aire, como medida de protección a su salud y los ecosistemas. En este sentido estamos comprometidos a mantener la calidad de la información generada y a procurar la modernización de los sistemas de monitoreo para contar con información oportuna y confiable. Asimismo, somos uno de los medios por el cual se evalúan los resultados de la aplicación de las medidas de prevención y control de la contaminación, contenidas en los programas para mejorar la calidad del aire y la protección de la salud de la población.

Dra. Claudia Sheinbaum Pardo

Secretaria del Medio Ambiente

Ciudad de México - La Ciudad de la Esperanza

ÍNDICE

1.	Resumen Ejecutivo	5
2.	Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).....	8
	2.1 Consumo de Combustibles.....	8
	2.2 Características Geográficas y Climáticas.....	10
3.	Balance del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (Proaire).....	12
4.	Sistema de Monitoreo Atmosférico.....	13
	4.1 Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)	13
	4.2 Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA).....	13
	4.3 Red de Depósito Atmosférico (REDDA)	13
5.	Red Automática de Monitoreo Atmosférico.....	17
	5.1 Indicadores del Monitoreo de la Calidad del Aire en la ZMVM	17
	5.1.1 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire.....	17
	5.1.2 Indicador del Comportamiento Horario	18
	5.1.3 Estadísticas Generales	19
	5.1.4 Tendencia en Estaciones de la ZMVM.....	19
	5.1.5 Distribución Espacial	19
	5.2 Ozono (O ₃).....	20
	5.2.1 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) de O ₃	20
	5.2.2 Selección de Estaciones Representativas.....	20
	5.2.3 Comportamiento horario del O ₃	21
	5.2.4 Estadísticas Generales del O ₃	21
	5.2.5 Tendencia del O ₃ en Estaciones de la ZMVM.....	24
	5.2.6 Distribución Espacial del O ₃	25
	5.2.7 Conclusiones	26
	5.3 Bióxido de Nitrógeno (NO ₂).....	28
	5.3.1 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) de NO ₂	28
	5.3.2 Selección de Estaciones Representativas.....	28
	5.3.3 Comportamiento Horario del NO ₂	28
	5.3.4 Estadísticas Generales del NO ₂	29
	5.3.5 Tendencia del NO ₂ en Estaciones de la ZMVM	31
	5.3.6 Distribución Espacial del NO ₂	31
	5.3.7 Conclusiones	32
	5.4 Monóxido de Carbono (CO).....	33
	5.4.1 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) de CO.....	33
	5.4.2 Selección de Estaciones Representativas.....	33
	5.4.3 Comportamiento horario del CO.....	33
	5.4.4 Estadísticas Generales del CO.....	34
	5.4.5 Tendencia del CO en estaciones de la ZMVM.....	35
	5.4.6 Conclusiones	35
	5.5 Bióxido de Azufre (SO ₂).....	37
	5.5.1 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) de SO ₂	37
	5.5.2 Selección de Estaciones Representativas.....	37
	5.5.3 Comportamiento horario del SO ₂	38
	5.5.4 Estadísticas Generales del SO ₂	38
	5.5.5 Tendencia del SO ₂ en Estaciones de la ZMVM.....	40
	5.5.6 Conclusiones	40
	5.6 Partículas menores a 10 micrómetros (PM10).....	41
	5.6.1 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) de PM ₁₀	41
	5.6.2 Selección de Estaciones Representativas.....	41
	5.6.3 Comportamiento horario de las PM10.....	41

5.6.4 Estadísticas Generales de las PM10.....	42
5.6.5 Tendencia de las PM10 en estaciones de la ZMVM.....	44
5.6.6 Conclusiones.....	44
6. Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA).....	46
6.1 Indicadores de Tendencia de la Calidad del Aire.....	46
6.1.1 Selección de Estaciones.....	46
6.1.2 Indicadores Generales.....	46
6.1.3 Indicador Espacial.....	46
6.2 Tendencia de las Partículas Suspendidas Totales (PST).....	46
6.3 Tendencia de las Partículas Menores a 10 micrómetros (PM10).....	47
6.3.1 Indicador Espacial - PM10.....	47
6.4 Tendencia del Plomo (Pb).....	48
7. Red de Depósito Atmosférico (REDDA).....	49
7.1 Composición de la Red de Depósito Atmosférico.....	49
7.2 Indicadores.....	50
7.2.1 Selección de Estaciones.....	50
7.2.2 Indicadores Generales.....	51
7.2.3 Indicador Espacial.....	51
7.3 Tendencias.....	51
7.3.1 Acidez del Agua de Lluvia (pH).....	51
7.3.1.1 Distribución Espacial de la acidez del Agua de Lluvia (pH) – Mayo a Noviembre 2000.....	52
7.3.2 Aniones: Nitrato (NO_3^-) y Sulfato (SO_4^{2-}).....	54
7.3.2.1 Distribución espacial del nitrato (NO_3^-) y sulfato (SO_4^{2-}).....	55
7.3.3 Cationes Amonio (NH_4^+), Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+).....	55
7.3.3.1 Distribución espacial del Amonio (NH_4^+), Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+).....	56
7.3.4 Correlación entre Aniones y Cationes.....	57
7.4 Conclusiones.....	58
8. Publicaciones y Paginas electrónicas consultadas.....	62
ANEXO 1 Análisis de tendencia del consumo de combustibles.....	64
ANEXO 2 Avances del Programa para mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-200 (PROAIRE).....	65
META I: <i>Industria limpia</i> ; Mejoramiento e Incorporación de Nuevas Tecnologías en la Industria y los Servicios.....	65
META II: <i>Vehículos Limpios</i> ; Disminución de las emisiones por kilómetro, Mejoramiento e Incorporación de Nuevas Tecnologías en Vehículos Automotores. En el ámbito mundial los vehículos automotores se destacan por consumir la tercera parte del petróleo y en los países desarrollados el transporte absorbe la mitad del consumo de este combustible. En la ZMVM este sector consume cerca del doble de energía que consume la industria instalada y constituye la principal fuente de emisiones.....	66
META III: <i>Nuevo Orden Urbano y Transporte Público</i> ; Regulación del Total de Kilómetros Recorridos por Vehículos Automotores. Debido a que en la ZMVM se generan más de 20 millones de viajes al día, de los cuales el 82% corresponde al transporte público, 13% en el Sistema Colectivo Metro y el resto en autobuses urbanos, suburbanos, trolebús y taxis, en esta meta se definió como la necesidad de reordenar de manera integral el transporte urbano e incorporar bases para modernizar el transporte concesionado.....	67
META IV: <i>Recuperación Ecológica</i> ; Abatimiento de la Erosión. El principal objetivo de la meta IV es la conservación y recuperación ecológica y el abatimiento de la erosión, por lo que se definió una estrategia general de integración de políticas metropolitanas (Transporte, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente). Esta meta se diseñó con 12 instrumentos para aminorar el problema de la emisión de partículas y preservar, rescatar y aglizar algunas acciones encaminadas al rescate de flora y fauna nativas.....	68
ANEXO 3 Contingencias en la ZMVM.....	70

1. RESUMEN EJECUTIVO

El Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) recaba información continua de contaminantes criterio y otros compuestos, y es un medio para evaluar el resultado de la aplicación de las acciones para abatir la contaminación atmosférica de la ZMVM. Con esta información es posible dar a conocer a la población cada hora el estado de la calidad del aire, mediante la difusión del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).

Este sistema se integra por 5 subsistemas que son: la Red Automática de Monitoreo Atmosférico; la Red Manual de Monitoreo Atmosférico; la Red de Depósito Atmosférico, la Red Meteorológica y la Red de Radiación Solar. También se cuenta con una unidad de apoyo conocida como unidad móvil de monitoreo atmosférico.

En esta década se han aplicado programas encaminados a reducir las emisiones de contaminantes, tales como el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1990 (PICCA), y el más reciente, Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995–2000 (PROAIRE). El objetivo principal de estos programas es reducir de manera gradual y permanente los niveles de contaminación en la ZMVM, con el propósito de proteger la salud de la población.

El PROAIRE integró 94 acciones en cuatro metas. Al finalizar el año 2000 se informó la conclusión del 90% de las acciones de la Meta I de Industria Limpia, para la Meta II de Vehículos Limpios, se reportó el 79% y para la Meta III de Nuevo Orden Urbano y Transporte Limpio, el 82%, mientras que en la Meta IV de Recuperación Ecológica, se terminaron el 75% de las acciones.

En este informe se evalúa el desempeño ambiental de las acciones instrumentadas por el gobierno, por medio de diferentes indicadores del estado de la calidad del aire. La información que éstos proveen es complementaria, lo que permite tener una mejor perspectiva de la tendencia de cada contaminante, al considerar aspectos como: comportamiento diario, situaciones críticas ligadas a las normas de protección de la salud, variación en diferentes épocas climáticas del año y distribución espacial.

Además se integra un análisis estadístico de tendencia para cada contaminante criterio en las 5 zonas en que se divide la ZMVM, mediante el cual se garantiza llevar a cabo un diagnóstico más completo.

Debido a que las condiciones meteorológicas que prevalecen en la ZMVM son un factor determinante en la tendencia de los contaminantes, en este informe se asocian de manera indirecta. Destaca la presencia de fenómenos como “El Niño” en 1998, que propició la mayor sequía de la década y con ello la presencia de incendios forestales en todo el país, así como la desecación de suelos y su erosión. En ese año también se registraron temperaturas históricas en los meses de abril y mayo, así como lluvias intensas en el mes de septiembre.

En 1999 y el año 2000 las condiciones meteorológicas como la temperatura y la precipitación pluvial presentaron niveles similares a los registrados en años previos a 1997. A lo largo de la década la presencia de inversiones térmicas ha disminuido gradualmente, disminuyendo así la posibilidad de que los contaminantes permanezcan estancados en la atmósfera del Valle de México durante los meses de noviembre a febrero.

El análisis de la información de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, indica que de los contaminantes que se miden actualmente, el ozono continúa siendo el más preocupante, ya que a lo largo de la década en alrededor del 88% de los días de cada año se rebasó la norma de protección a la salud. No obstante, el comportamiento del indicador de la 2ª concentración máxima anual, indica una disminución de los niveles críticos de este contaminante. Este comportamiento también se observa en el análisis de tendencia de concentraciones críticas en 5 estaciones de monitoreo consideradas históricas de la ZMVM, incluso después de la instrumentación del PROAIRE en 1995. En el caso de la estación Pedregal de la zona suroeste, donde históricamente se han registrado los niveles más altos de ozono, la reducción fue del 13% de 1995 al año 2000; mientras que en Cerro de la Estrella la disminución fue del 26% para el mismo periodo.

La disminución de niveles críticos de ozono en la ZMVM se refleja en el descenso que ha tenido la frecuencia de instrumentación del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas. La última ocasión en que fue necesaria su instrumentación fue el 15 de octubre de 1999.

El análisis en las 3 épocas climáticas que caracterizan a la ZMVM, muestra que el ozono representa en la actualidad un mayor riesgo para la salud de la población por exposiciones agudas en la época seca-caliente, que abarca los meses de marzo a mayo, ya que en ésta se presenta el mayor porcentaje de excedencias a la norma de salud correspondiente, incluso es la única época con incrementos de consideración en el año 2000. Por su parte, en la época de lluvias, que abarca de junio a octubre, desde 1996 no se rebasa la norma de salud en más del 50% de los días, mientras que en la época seca-fría, que abarca de noviembre a febrero, desde 1999 el 50% de los días esta por debajo de la norma.

El bióxido de nitrógeno no rebasa la norma de protección a la salud en más del 10% de los días del año desde 1990. Con base en el comportamiento del indicador de la segunda concentración máxima anual, en el año 2000 se presentaron eventos con concentraciones altas de este contaminante. Este aumento también se refleja en el comportamiento del patrón diario.

El comportamiento de este contaminante no muestra un patrón de tendencia definido en las 3 épocas climáticas; sin embargo destacó en el año 2000 un aumento considerable en la época seca-caliente. A pesar de lo anterior, el análisis de tendencia regional de la ZMVM indica que desde 1995 hay una tendencia decreciente en las estaciones históricas. Entre las estaciones que presentaron mayor porcentaje de decremento, se encuentra la estación Pedregal con un 26%.

El monóxido de carbono se puede considerar como uno de los contaminantes sobre los que se ha logrado un mejor control en la ZMVM, ya que desde 1990 la norma de protección a la salud no se rebasa en más del 1% de los días al año, de manera general. Esta situación se refleja en el comportamiento estable que muestran los diferentes indicadores, incluso el análisis de tendencia para las estaciones de monitoreo históricas no presentó tendencia en el periodo de 1995 al año 2000. En el año 2000 las violaciones a la norma de este contaminante se debieron a concentraciones altas registradas solamente en algunas estaciones, por lo que se pueden caracterizar como eventos puntuales. Cabe señalar que algunas de las estaciones con las que se generan los indicadores de este contaminante, están ubicadas en la proximidad de vías con tránsito vehicular elevado.

El bióxido de azufre también se considera como uno de los contaminantes criterio bajo control, con base en la información que arroja el análisis de tendencia, ya que las estaciones que representan a las zonas centro y sur de la ZMVM no presentaron tendencia en el periodo de 1995 al 2000, por lo que se puede señalar que después de la instrumentación y aplicación de las acciones incluidas dentro del PROAIRE, se ha logrado controlar este contaminante en niveles aceptables para la salud humana. En el caso de la zona norte, el análisis de tendencia señala que hay un aumento en el periodo mencionado, que llega a ser del 112% en el caso de la estación Xalostoc ubicada en la zona noreste. Cabe destacar que en la actualidad los niveles de este contaminante son tan bajos en la ZMVM, que un aumento porcentual de esta magnitud significa una alerta para llevar a cabo acciones e identificar el origen de las emisiones que provocan esta situación.

Las partículas menores a 10 micrómetros representan el segundo problema de contaminación en la ZMVM. De acuerdo con la información pública de partículas menores a 10 micrómetros que provee la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, frecuentemente se presentan concentraciones mayores a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como promedio móvil de 24 horas, equivalente (esta concentración se homologa a 100 puntos del IMECA). Cabe señalar que la norma de protección a la salud de este contaminante establece como periodo de evaluación el promedio de las 24 horas del día.

Con esta información se identificó a 1996 y 1998 como los años críticos de la ZMVM por registrar niveles altos de partículas menores a 10 micrómetros, ya que cerca del 50% de los días del año los valores máximos superaron la concentración de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que 1999 y el 2000, sólo en el 5 y 12% de los días respectivamente, se presentó esta situación. A pesar de este comportamiento, el análisis de tendencia para las estaciones de monitoreo representativas de cada zona del Valle de México, muestra que en el sur y en el centro no hay cambios significativos de los niveles de partículas menores a 10 micrómetros desde que se instrumentó el PROAIRE, mientras que en las estaciones Xalostoc y Tlalnepantla que representan al norte de la ZMVM, se presentó una reducción del 38%.

De acuerdo con el análisis espacial y por épocas climáticas, las partículas menores a 10 micrómetros representan un mayor riesgo para la población de la ZMVM en las épocas seca-caliente y seca-fría, principalmente en las regiones norte y este, ya que en éstas se registra la mayor incidencia de niveles altos. Esta situación se refleja en la instrumentación histórica del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas para partículas menores a 10 micrómetros, de hecho el 30 de enero del año 2000 se instrumentó durante 3 días, debido a niveles superiores a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (equivalente a 175 puntos del IMECA) en la estación Tláhuac de la zona sureste.

La tendencia decreciente de las partículas menores a 10 micrómetros entre 1995 y el 2000 en las estaciones Xalostoc y Tlalnepantla, también se aprecia cuando se evalúa la información que provee la Red Manual de Monitoreo Atmosférico; sin embargo, en ambas estaciones aún se rebasa la norma anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio aritmético. En la estación Merced y Cerro de la Estrella, que representan a las zonas centro y sureste, la tendencia en 1999 y el 2000 vuelve a ser decreciente, después del aumento de 1998, y aún distan de alcanzar el valor de la norma anual. Sólo en el caso de la estación Pedregal, que representa a la zona suroeste, desde 1996 no se rebasa el valor de esta norma anual, lo que señala que la población de esta zona tiene un menor riesgo por exposición crónica a este contaminante.

En el caso de las partículas suspendidas totales, la situación en los años recientes no es satisfactoria, ya que el promedio aritmético de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que indica la norma anual, se elevó en las 5 zonas del Valle de México después de 1995, sin embargo es importante mencionar que los valores de estos promedios en el año 2000 registraron un ligero descenso.

Este contaminante, al igual que las partículas menores a 10 micrómetros; representan un mayor riesgo por exposición crónica para la población de las regiones norte y este de la ZMVM, debido a los altos niveles que se registran. La estación Xalostoc de la zona noreste se destaca históricamente por registrar las concentraciones más altas de este contaminante; sin embargo, el valor de la media y la mediana en el año 2000 son los más bajos de la década.

A pesar de la situación de las partículas menores a 10 micrómetros y las partículas suspendidas totales medidas mediante la Red Manual de Monitoreo Atmosférico, el plomo contenido en ambas fracciones de partículas indica que la presencia de este metal en la atmósfera de la ZMVM es bajo, por lo que también se considera como uno de los contaminantes con mejor control. Cabe señalar que desde 1992 no se rebasa la norma de protección a la salud para el plomo contenido en partículas suspendidas totales.

En el análisis de depósito atmosférico, el indicador de acidez del agua de lluvia (valores de pH menores a 5.6) tuvo un incremento en sus valores, presentando tendencia a la neutralidad, ya que en los dos últimos años se registraron más del 80% de los muestreos por arriba de dicho valor y alrededor del 10% con valores dentro del intervalo del agua de lluvia natural (5-5.6). La estación Lomas del suroeste registró los valores de pH más ácidos del periodo de 1997 al 2000.

Los aniones, ion nitrato y ion sulfato, en el periodo de análisis tuvieron poca variabilidad entre sus valores. La mediana del ion nitrato tuvo valor máximo de 4.20 mg/l; y en el caso del ion sulfato en la mayoría de los años tuvo una mediana cercana a 6 mg/l. Durante el 2000 las zonas noroeste y centro registraron los valores más altos de aniones.

Las concentraciones de los cationes, ion amonio, ion calcio y ion magnesio por arriba del percentil 80 aumentaron gradualmente de 1997 al 2000. Los iones calcio, magnesio, sodio y potasio presentaron sus valores más altos en las zonas norte y centro. En el caso del ion amonio tuvo un gradiente de concentración del noreste al sureste, presentándose las concentraciones más altas en la zona norte.

2. ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMVM)

Desde tiempos precolombinos el Valle de México se ha destacado por concentrar la mayor población del país. A lo largo de su historia ha presentado diversos cambios en su poblamiento y urbanización, debido entre otros factores al comportamiento de variables como la mortalidad, la fecundidad y la migración, la estabilidad política, la centralización administrativa y los servicios urbanos; así como la especialización económica y el nivel alcanzado en la tecnología de comunicaciones y transportes.

En los años 40's el área urbana de la Ciudad de México rebasó los límites geopolíticos en un proceso de conurbación, que actualmente se reconoce como Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la cual además del Distrito Federal comprende municipios del Estado de México con una superficie de más de 2,000 km². Geográficamente se define a la ZMVM como parte de una cuenca endorreica que comprende territorios de los Estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el Distrito Federal, con una superficie de 9,560 km².

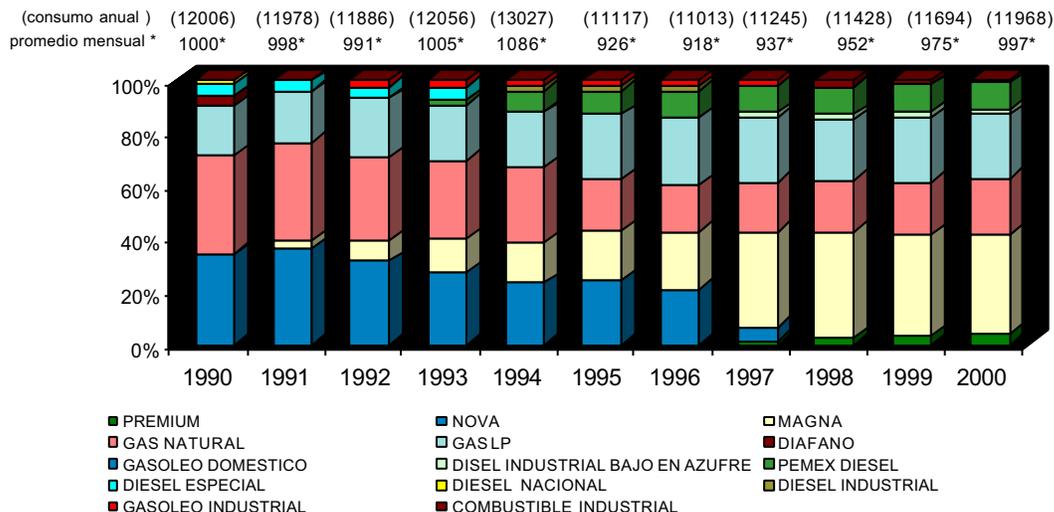
Esta metrópoli es considerada actualmente como una de las más pobladas del mundo. De acuerdo con el Censo de Población del año 2000, las 16 delegaciones del Distrito Federal tienen en total 8.6 millones de habitantes y los 18 municipios conurbados del Estado de México 9.1 millones. El uso urbano del territorio ha incidido en la transformación del entorno ecológico, particularmente por la conversión de suelo forestal a suelo de uso agrícola, industrial, habitacional y comercial.

2.1 CONSUMO DE COMBUSTIBLES

Para sostener la actividad económica que se desarrolla en la ZMVM es necesario el uso intensivo de combustibles fósiles por alrededor de 30 mil industrias, 170 mil de servicios y cerca de 3.45 millones de vehículos. El 72% de éstos últimos corresponde a autos particulares.

El consumo de combustibles en la ZMVM se encuentra asociado con las actividades de la población y el comportamiento de la economía del país. En la Figura 1 se observa que el consumo anual (millones de litros por año) varía en función de los periodos de inestabilidad económica, como el ocurrido a finales de 1994. En general se puede señalar que entre 1990 y 1994 el consumo promedio mensual fue de 1,016 millones de litros, decayendo entre 1995 y 1997 a cerca de 927 millones en promedio por mes, y que entre 1998 y el año 2000 se ha incrementado gradualmente, siendo su promedio de 975 millones de litros mensuales, aún por de bajo del consumo mensual promedio del periodo 1990 -1994 (ver Anexo 1).

Figura 1. Consumo de combustibles en millones de litros, en el Valle de México (1990-2000) y distribución por tipo de combustible



Nota: Gas Natural (equiv. en millones de litros/mes)
Fuente: PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BÁSICA
PEMEX REFINACIÓN

A lo largo de la década de los 90 se incorporaron al mercado combustibles mejorados en sustitución de otros más contaminantes. En la Figura 1 se observa la desaparición en el mercado de la gasolina Nova en agosto de 1997 y la entrada de las gasolinas Magna en 1990 y Premium en 1996, que impactaron en el mercado al siguiente año de su introducción. El consumo de gasolina Magna entre 1994 y 1996 tuvo un incremento de 1.3 a 1.6 millones de barriles; en 1997 el incremento fue de 2.8 millones de barriles y en 1998 aumentó a 3.2 millones de barriles, teniendo un comportamiento exponencial, en estos años, como consecuencia de la desaparición de la gasolina Nova.

En abril de 1991 desapareció del mercado el Diesel Nacional y en octubre de 1993 el Diesel Especial, al mismo tiempo que entraba al mercado el Diesel Sin. En cuanto a combustibles de uso industrial, en diciembre de 1996 el Diesel Industrial dejó de distribuirse, cuando su consumo promedio mensual era de 0.15 millones de barriles, y se introdujo el Diesel Industrial Bajo en Azufre. En el año 2000 se consumieron mensualmente 0.18 millones de barriles de este combustible. El gasóleo industrial desapareció del mercado en diciembre de 1997 y en enero de 1998 se incorporó el Combustible Industrial.

En la actualidad cerca del 40% del consumo total de combustibles se debe a las gasolinas Premium y Magna; de igual forma, el consumo de Gas Natural y Gas LP implica cerca del 40% del total. En el caso del Pemex Diesel, desde 1994 su consumo implica aproximadamente el 10% del consumo total. Estos combustibles han tenido una mejora gradual con el tiempo, de tal manera que cada vez son menos contaminantes.

A pesar de lo anterior, el consumo de estos volúmenes de combustible repercute significativamente en la calidad del aire de la ZMVM, por lo que actualmente se considera como una de las metrópolis más afectadas en el mundo, llegando a rebasar continuamente los límites permisibles para la protección a la salud en el caso del ozono y las PM10.

El inventario de emisiones actualizado a 1998, señala que en la ZMVM se emiten al año cerca de 2.5 millones de contaminantes al año, el 84.2% corresponde al sector transporte, 11.7% al sector servicios y solo 3% a la industria (Tabla 1).

Esta situación se debe a que el sector transporte contribuye con la mayor parte de las emisiones de contaminantes como el CO, los hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógeno (NOx), siendo los autos particulares, los microbuses y el transporte de carga a gasolina las fuentes más significativas; en tanto que la industria y los servicios son las fuentes de mayor contaminación de bióxido de azufre (SO₂) y HC respectivamente. En el caso de las partículas menores a 10 micrómetros (PM10), se estima que la principal fuente de emisión es de origen natural y corresponde a la erosión de suelos, mientras que la parte del sector transporte que emite este tipo de contaminante son los vehículos de más de 3 toneladas, tractocamiones y autobuses, todos ellos utilizan como combustible diesel.

Tabla 1. Inventario de Emisiones para la ZMVM 1998
Contribución de contaminantes por sector (%)

	PM10	SO ₂	CO	NOx	HC
Industria	15.6	55.4	0.5	13.1	5.0
Servicios	8.4	23.8	1.5	4.8	52.1
Vegetación y suelos	40.1	NA	NA	1.6	3.3
Transporte	35.9	20.8	98	80.5	39.5
Total	100	100	100	100	100

N/A. No Aplica

Nota: Inventario de emisiones preliminar

2.2 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS

Además del volumen de contaminantes emitidos, la calidad del aire en la ZMVM depende de sus características geográficas y climáticas. Su altitud provoca que los sistemas de combustión interna operen deficientemente y contaminen más, debido a que hay 23% menos de oxígeno que al nivel del mar, en tanto que su latitud ocasiona que reciba una radiación solar intensa la mayor parte del año, lo que favorece la formación de contaminantes secundarios como el ozono.

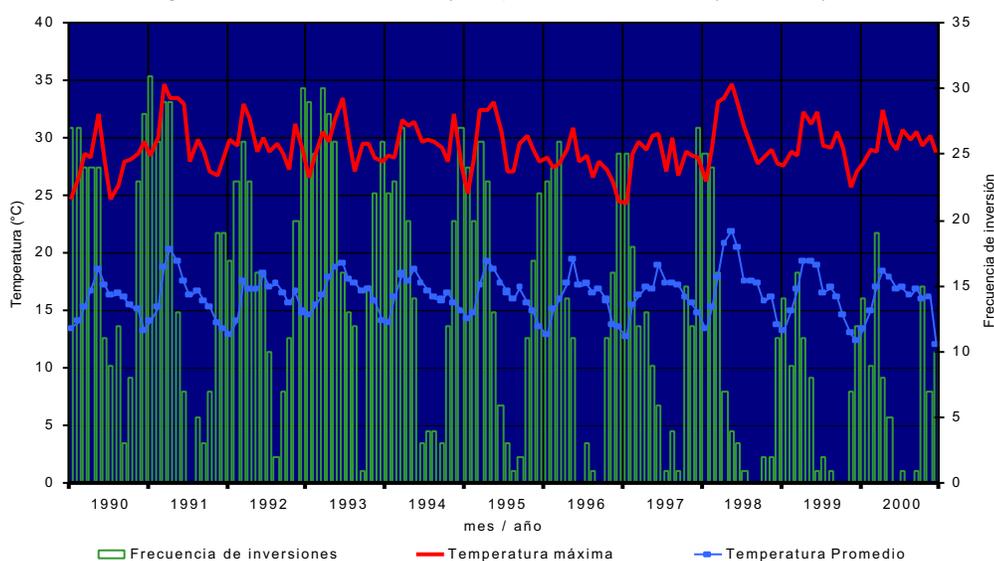
La ZMVM se localiza a 19° de latitud Norte, su región de planicie tiene una altitud promedio de 2,240 msnm y está rodeada por una cadena montañosa que hacia el sur alcanza una altura máxima de 3,952 msnm y hacia el norte 3,000 msnm. La presencia de inversiones térmicas es un fenómeno común durante todo el año, sin embargo en invierno se presenta en mayor porcentaje e intensidad.

La influencia de los sistemas de circulación atmosférica sobre la ZMVM define dos épocas climáticas; la época de lluvias entre junio y octubre, asociada con la afluencia de aire marítimo tropical con alto contenido de humedad, y la época de secas, en la que predomina una humedad relativa baja y que debido a las variaciones de temperatura que presenta, se divide en las épocas seca-caliente (marzo a mayo), en la cual se presenta aire marítimo tropical seco, y en la época seca-fría (noviembre a febrero), en la que se presenta aire polar con bajo contenido de humedad.

En la Figura 2 se observa que las temperaturas máxima y promedio alcanzan sus valores más altos en la época seca-caliente, la intensidad de la radiación solar en esta época propicia que se presenten los niveles más altos de ozono en la ZMVM; también la presencia de niveles altos de partículas en esta época es común, ya que hay una mayor presencia de tolvaneras y humo de incendios forestales. A lo largo de la década de los 90 destacan las temperaturas registradas en 1991 y 1998 como las más altas, en este último año la temperatura máxima fue de 33.9°C, lo cual se asocia con la presencia del fenómeno del Niño. Durante 1999 y el año 2000, la temperatura promedio en esta época estuvo por debajo de los 20°C; sin embargo, presentó valores máximos que superaron los 30°C.

En la época seca-fría la temperatura decrece considerablemente y se incrementa la presencia de inversiones térmicas, con un consecuente aumento de los niveles de contaminación, debido al estancamiento que propician en las primeras horas del día¹⁰. Desde 1993 el número de inversiones térmicas al nivel de superficie ha disminuido considerablemente, ya que en ese año se registraron en 243 días y para el año 2000 solo se presentaron en 89 días. Cabe hacer notar que desde 1998 las inversiones térmicas no pasan de los 95 días al año.

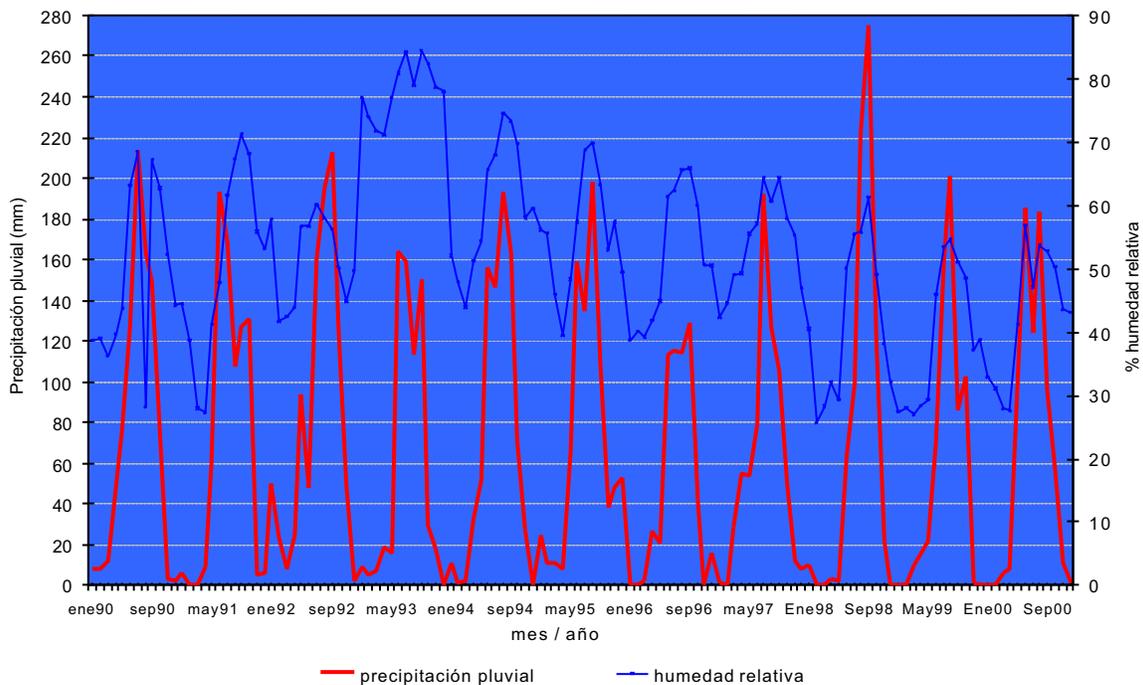
Figura 2. Inversiones térmicas y temperatura en la ZMVM (1990-2000).



En la época de lluvias las concentraciones de los contaminantes criterio disminuyen significativamente, principalmente entre julio y octubre, ya que en este periodo se registra cerca del 85% de la lluvia anual de la ZMVM. En la Figura 3 se observa un patrón característico del aumento de los niveles de precipitación pluvial mensual en la época referida, sobresaliendo 1998 con un nivel máximo de 275 mm en el mes de septiembre (95% de la lluvia total de este año), a pesar de que tuvo la temporada de sequía más larga de la década (primeros 7 meses del año). A este comportamiento se asocia nuevamente el fenómeno del Niño.

En cuanto al parámetro de humedad relativa mensual, se observa que desde 1993 presenta una tendencia decreciente, inclusive 1998 y 1999 presentan los valores más bajos de la década en la mayoría de los meses del año; aunque en los tres últimos años se observa poca variabilidad.

Figura 3. Precipitación pluvial mensual y promedio mensual de la humedad relativa en la ZMVM (1990-2000).



Fuente de información de precipitación pluvial: DGCOH

3. BALANCE DEL PROGRAMA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE MÉXICO 1995-2000 (PROAIRE)

La gestión de la calidad del aire en la ZMVM comenzó a ser relevante en la segunda mitad de la década de los 80 con el desarrollo de la RAMA y otras iniciativas para el control de emisiones vehiculares. En 1988 se promulgó la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (DDF, CMPPCCA, 1994. PICCA, 1990).

En 1990 se diseñó el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la ZMVM, en el que se consideraron diversas áreas prioritarias de acción, que comprendieron medidas experimentadas anteriormente en otros países, tecnologías disponibles, energéticos a costos razonables, reducción de emisiones totales, entre otras. En general, puede señalarse que la mayor cantidad de recursos se concentró en el mejoramiento y sustitución de combustibles.

A este programa siguió el Programa para Mejorar la Calidad del Aire 1995-2000 (PROAIRE), que fue la respuesta de los gobiernos federal, estatales y locales a los sectores sociales que exigían el abatimiento de la contaminación del aire. Este instrumento de gestión urbana tuvo como propósito general proteger la salud de la población, al abatir gradual y permanentemente los niveles de contaminación atmosférica.

El PROAIRE se integró de 94 instrumentos incluidos en cuatro metas generales: I *Industria Limpia*, para reducir las emisiones de la industria y los servicios; II *Vehículos Limpios*, para disminuir las emisiones de los vehículos automotores por kilómetro recorrido; III *Nuevo Orden Urbano y Transporte Limpio*, para regular los kilómetros recorridos por los vehículos automotores; y IV *Recuperación Ecológica*, para abatir la erosión.

Al concluir el año 2000 el informe preliminar de este Programa indica avances importantes en las cuatro metas. En la Tabla 2 se observa que el mayor porcentaje de avances correspondió a las metas I y II, en las que se promovió la oferta de combustibles menos contaminantes, la instrumentación de normas de emisión, el fomento de combustibles y tecnologías alternas como el gas natural y el transporte eléctrico para distribuir refrescos y perecederos en el centro de la ciudad, así como la evaluación de vehículos eléctricos ya existentes en la ZMVM. En el caso de la industria, se promovieron sistemas de capacitación, autorregulación y gestión ambiental, incentivos fiscales y certificados de industria limpia.

Tabla 2. Avance porcentual de las acciones del PROAIRE (1995-2000).

META	TERMINADOS	EN PROCESO
<i>Industria Limpia</i>	90%	10%
<i>Vehículos Limpios</i>	79%	21%
<i>Nuevo Orden Urbano y Transporte Limpio</i>	82%	18%
<i>Recuperación Ecológica</i>	75%	25%

Fuente: Evaluación de cierre del programa para mejorar la calidad del aire del Valle de México 1995-2000
Comisión Ambiental Metropolitana, Octubre 2000.

En el Anexo 2 se listan las acciones relevantes que se llevaron a cabo en cada una de las Metas del PROAIRE a lo largo de la ejecución de 1995 al año 2000.

4. SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

4.1 RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO (RAMA)

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico está integrada por 32 estaciones remotas de monitoreo que miden durante las 24 horas del día, todos los días del año, las concentraciones de los contaminantes criterio: ozono (O₃), bióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂) y partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀). A este sistema se encuentran acoplados los equipos de la REDMET, para medición de velocidad y dirección del viento, humedad relativa y temperatura ambiente; así como los equipos de la REDRA, para medir radiación total y radiación UV. En el Mapa 1 se presenta la localización de las 32 estaciones de monitoreo, así como la relación de las abreviaturas y los nombres de las mismas; y en la Tabla 3 se presentan los contaminantes y parámetros meteorológicos que se registran en cada estación.

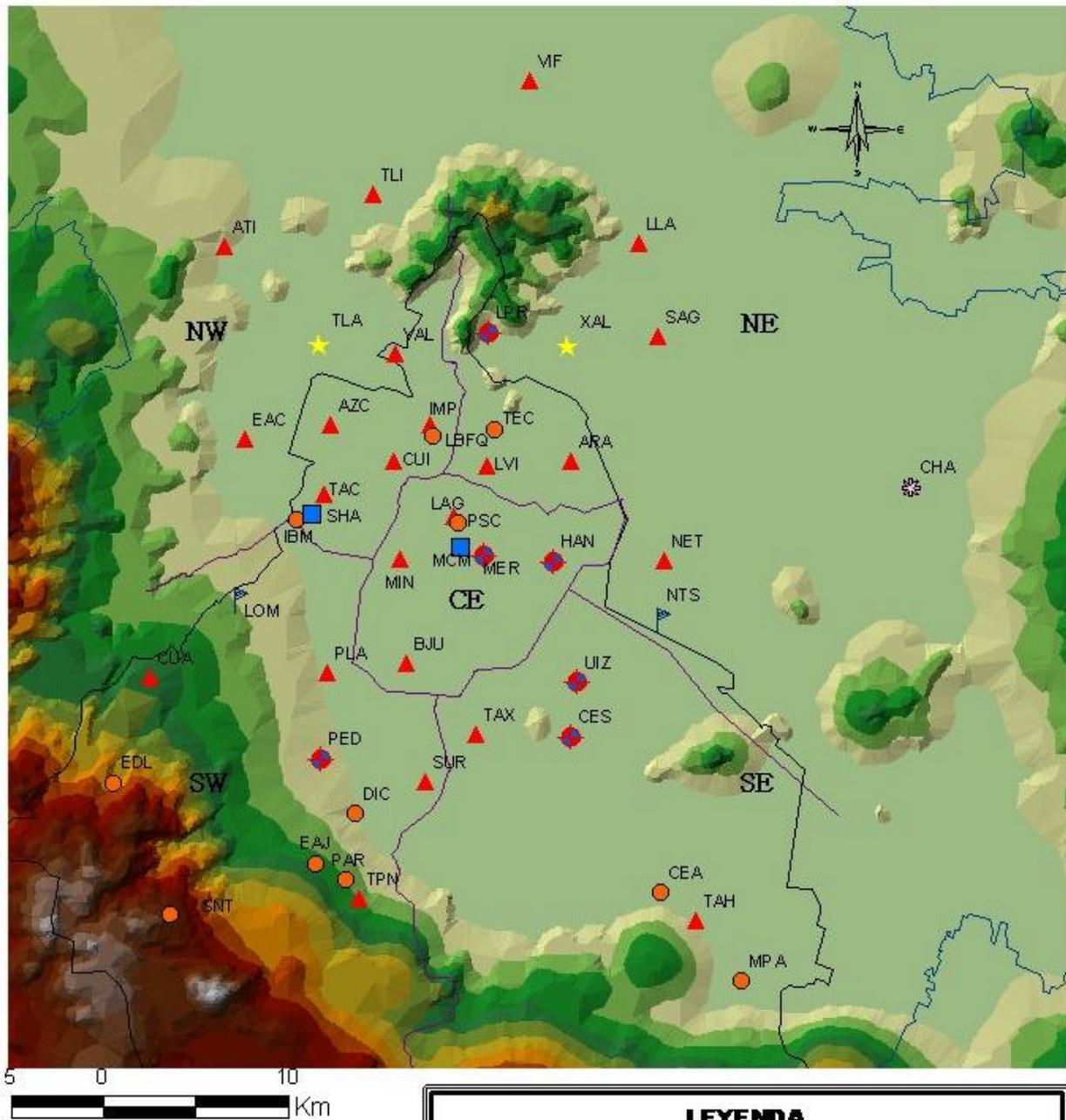
4.2 RED MANUAL DE MONITOREO ATMOSFÉRICO (REDMA)

La Red Manual de Monitoreo Atmosférico esta constituida por 12 estaciones, donde se toman las muestras de partículas suspendidas totales (PST) y partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), por medio de muestreadores manuales de alto volumen. En los filtros de partículas se determinan el plomo (Pb), manganeso (Mn), nitratos (NO₃) y sulfatos (SO₄²⁻); en la Tabla 3 se presenta la relación de parámetros que se miden en cada estación.

4.3 RED DE DEPÓSITO ATMOSFÉRICO (REDDA)

La red de depósito atmosférico esta constituida por 16 estaciones, donde se toman muestras de depósito húmedo y de depósito seco. Del depósito húmedo se obtienen registros de los parámetros: pH, conductividad, los aniones; nitratos y sulfatos y los cationes; amonio, calcio, magnesio, sodio y potasio.

Mapa 1. Sistema de Monitoreo Atmosférico.



DGGAA
 SISTEMAS DE INFORMACIÓN
 GEOGRÁFICA

LEYENDA	
CLASIFICACIÓN	
▲	Estación del Sistema Automático
☼	Estación del Sistema Automático y Deposito Atmosférico
■	Estación del Sistema Automático y Manual
★	Estación del Sistema Automático, Manual y Deposito Atmosférico
●	Estación del Sistema Deposito Atmosférico
■	Estación del Sistema Manual
▢	Estación del Sistema Manual y Deposito Atmosférico

Tabla 3. Relación de parámetros registrados por las estaciones del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM

ZONA	ESTACIÓN	CLAVE	RED AUTOMÁTICA							RED MANUAL					RED DEPÓSITO ATMOSFÉRICO					
			O ₃	CO	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	MET	RAD	GR	PST	PM ₁₀	Pb	Mn	NO ₃	SO ₄	pH	CE	A	C
NOROESTE	Vallejo	VAL																		
	Tacuba	TAC																		
	Enep Acatlan	EAC																		
	Azcapotzalco	AZC																		
	Tlalnepantla	TLA																		
	I.M.P.	IMP																		
	Tultitlán	TLI																		
	Atizapán	ATI																		
	Legaria	IBM																		
	Lab.Bact y Físico-química	LBFQ																		
	Secretaría de Hacienda	SHA																		
	NORESTE	Los Laureles	LLA																	
		La Presa	LPR																	
La Villa		LVI																		
San Agustín		SAG																		
Xalostoc		XAL																		
Aragón		ARA																		
Netzahualcoyotl		NET																		
Villa de las Flores		VIF																		
Chapinco		CHA																		
Netzahualcoyotl Sur		NTS																		
Cerro del Tepeyac	TEC																			
CENTRO	Laqunilla	LAG																		
	Merced	MER																		
	Hangares	HAN																		
	Benito Juárez	BJU																		
	Insurgentes	MIN																		
	Museo de la Cd. México	MCM																		
Plaza de Sta. Catarina	PSC																			
SUROESTE	Santa Úrsula	SUR																		
	Pedregal	PED																		
	Plateros	PLA																		
	Cuajimalpa	CUA																		
	Tlalpoan	TPN																		
	Lomas	LOM																		
	Diconsa	DIC																		
	Ecoquardas Ajusco Picacho	EAJ																		
Exconv. Desierto Leones	EDL																			
Parres	PAR																			
San Nicolás Totolapan	SNT																			
SURESTE	Cerro de la Estrella	CES																		
	UAM Iztapalapa	UIZ																		
	Taxqueña	TAX																		
	Tláhuac	TAH																		
	C.Edu. Amb. Acuexcomatl	CEA																		
	Milpa Alta	MPA																		

Tabla 3 (cont.). Relación de parámetros registrados por las estaciones del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM

SÍMBOLO	PARÁMETROS	UNIDADES DE REPORTE	SÍMBOLO	PARÁMETROS	UNIDADES DE REPORTE
O ₃	Ozono	ppm	MET	Parámetros meteorológicos	
SO ₂	Bióxido de azufre	ppm		Velocidad del viento	m/s
NO ₂	Bióxido de nitrógeno	ppm		Temperatura	°c
CO	Monóxido de carbono	ppm		Dirección del viento	grados azimut
PM ₁₀	Partículas menores a 10 micrómetros	µg/m ³		Humedad relativa	%
PST	Partículas suspendidas totales	µg/m ³	RAD	Radiación	mw/cm ²
Pb	Plomo	µg/m ³	GR	Radiación global	watts/m ²
Mn	Manganeso	µg/m ³	pH	Potencial de hidrógeno	unidades pH
NO ₃ ⁻	Nitratos	µg/m ³	A	Aniones (nitratos y sulfatos)	mg/l
SO ₄ ⁼	Sulfatos	µg/m ³	C	Cationes (amonio, calcio, magnesio, sodio y potasio)	mg/l
			CE	Conductancia específica	µS/cm

5. RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

5.1 INDICADORES DEL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMVM

La información que se registra continuamente en la Red de Monitoreo Atmosférico, es la base para generar indicadores de la calidad del aire en la ZMVM, que funcionan como herramientas para los tomadores de decisiones en el ámbito ambiental.

Un indicador es una representación numérica que sintetiza información en un periodo de evaluación. Los Indicadores Ambientales son formas directas o indirectas de evaluar la calidad del ambiente y pueden ser utilizadas como herramientas para determinar la situación actual y las tendencias en calidad del aire para sustentar la salud ecológica y humana.

Los indicadores que se utilizan en este informe consideran aquellas estaciones de monitoreo que han operado constantemente en los últimos 10 años y que cumplen con un mínimo de 75% de datos por año, para cada contaminante.

Este criterio permite incrementar la confianza en la información que proveen los indicadores y evaluar de manera objetiva la efectividad de las políticas ambientales. Se considera además que los indicadores sean complementarios y comprensibles para los tomadores de decisiones y el público en general.

5.1.1 ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) máximo diario, busca responder a la necesidad de informar al público las condiciones de contaminación en la ZMVM, para lo cual el índice se agrupa en intervalos asociados con efectos a la salud. Cuando el IMECA de cualquier contaminante rebasa los 100 puntos, significa que sus niveles son perjudiciales para la salud y en la medida en que aumenta el valor del IMECA se agudizan los síntomas. A su vez se asocian acciones a estos niveles, que el público debe conocer y en lo posible llevar a cabo.

Las clasificaciones y sus efectos en la salud son:

<i>Clasificación:</i>	<i>Efectos en la salud:</i>
➤ Condición dentro de la norma	Ninguno.
➤ Condición no satisfactoria	Molestias en ojos, nariz y garganta en personas sensibles.
➤ Condición mala	Posibles problemas respiratorios.
➤ Condición muy mala	Se agudizan los síntomas anteriores en personas sensibles y quienes fuman o padecen enfermedades crónicas.

La determinación del IMECA máximo diario por zona se obtiene con las mayores concentraciones registradas en las estaciones que conforman cada una de las zonas. Desde que opera la RAMA, el número de estaciones y monitores para cada contaminante se ha incrementado, por lo que el IMECA ha sido obtenido con información de diferentes estaciones de monitoreo, no necesariamente históricas, lo que dificulta cierto tipo de análisis con este índice. Por tal motivo no es recomendable hacer un uso indiscriminado de este índice, y en lo posible emplear las concentraciones en que se mide cada contaminante para realizar análisis más específicos.

En la Tabla 4 se muestra el año en que empezó a monitorear en forma constante cada sitio de monitoreo, y en algunos casos el año de que terminó de operar, así como aquellos que continúan.

Tabla 4. Estaciones de la RAMA de la ZMVM y años de operación (inicio y final).

ZONA	ESTACIÓN	SO ₂		CO		O ₃		PM10		NO ₂	
		Inic. Oper.	Fin. Oper.	Inic. Oper.	Fin. Oper.	Inic. Oper.	Fin. Oper.	Inic. Oper.	Fin. Oper.	Inic. Oper.	Fin. Oper.
NO	ATI	1993	*	1993	*					1993	*
NO	AZC	1986	*	1995	*	1986	*			1995	*
NO	CUI			1986	1994						
NO	EAC	1986	*	1992	*	1990	*	2000	*	1992	*
NO	IMP			1986	*						
NO	TAC	1986	*	1992	*	1993	*			1993	*
NO	TLA	1986	*	1986	*	1986	*	1995	*	1986	*
NO	TLI	1993	*	1993	*			1995	*	1993	*
NO	VAL	1986	*	1995	*						
NE	ARA	1993	*	1986	*						
NE	CHA			1995	1996	1993	*				
NE	LPR	1986	*								
NE	LVI	1986	*					1995	*		
NE	LLA	1986	*								
NE	NET	1993	2000	1986	2000			1995	2000		
NE	SAG	1986	*	1995	*	1986	*	2000	*	1992	*
NE	VIF	1993	*	1993	*			1995	*	1993	*
NE	XAL	1986	*	1986	*	1986	*	1995	*	1986	*
CE	BJU	1995	*	1986	*	1992	*			1992	*
CE	HAN	1986	*	1993	*	1986	*	2000	*	1992	*
CE	LAG	1995	*	1986	*	1990	*			1995	*
CE	MER	1986	*	1986	*	1986	*	1995	*	1986	*
CE	MIN			1986	*						
SO	CUA					1993	*				
SO	PED	1986	*	1986	*	1986	*	1995	*	1986	*
SO	PLA	1995	*	1986	*	1986	*	2000	*	1995	*
SO	SUR	1986	*	2000	*	2000	*	2000	*	2000	*
SO	TPN					1993	*				
SE	CES	1986	*	1986	*	1986	*	1995	*	1986	*
SE	TAH	1993	*	1995	1996	1994	*	1995	*	1995	1996
SE	TAX	1995	*	1986	*	1992	*	2000	*	1995	*
SE	UIZ	1995	*	1986	*	1989	*			1995	*

* Durante 2001 continúa monitoreando.

5.1.2 INDICADOR DEL COMPORTAMIENTO HORARIO

Este indicador permite observar el comportamiento del promedio anual de las concentraciones horarias del contaminante. Se determina calculando a lo largo de un año el promedio de las concentraciones horarias para cada hora del día, y permite identificar el intervalo de horas en que se presentan los niveles más altos durante el día, que en algunos casos esta claramente asociado a las actividades antropogénicas. Además, la comparación del comportamiento diario de 1990 a 2000 permite evaluar de manera general, si el aumento o decremento en las concentraciones se presenta en todas las horas del día.

5.1.3 ESTADÍSTICAS GENERALES

En este informe se denomina como Indicador General a aquel que permite evaluar el estado de la calidad del aire respecto a un episodio específico de contaminación. El indicador de la segunda concentración máxima anual (2º máx), recomendado por La California Air Resources Board (CARB) para el ozono, el monóxido de carbono, el bióxido de nitrógeno y el bióxido de azufre, permite evaluar la tendencia de las concentraciones críticas de los contaminantes respecto a las normas de protección a la salud, ya que éstas señalan como frecuencia máxima aceptable que se exceda una vez al año, por lo cual se espera que los valores del indicador no rebasen el valor normado. Además pretende mitigar la influencia de eventos locales, meteorológicos y de emisión, que pudieran condicionar las concentraciones máximas.

También se evalúa el comportamiento de las concentraciones máximas diarias mediante diferentes parámetros estadísticos (mediana, percentil 75 y 25), como indicadores generales de tendencia. En el caso del O₃, NO₂ y PM₁₀, estos indicadores se obtuvieron para las 3 épocas climáticas que caracterizan a la ZMVM, debido a que muestran un comportamiento característico en cada una de ellas; en tanto que el CO y SO₂ no manifiestan diferencias notables. Es importante mencionar que para la época seca-fría se involucran datos de dos años consecutivos, en el caso de la época seca-fría 2000-2001 se tomaron en cuenta los registros de noviembre y diciembre de 2000, además de enero y febrero de 2001.

Para el O₃ y NO₂, estos indicadores se obtienen a partir de los máximos diarios de las concentraciones horarias, de acuerdo con sus respectivas normas de salud; para el SO₂ y PM₁₀ promedios de 24 horas y para el CO promedios móviles de 8 horas.

5.1.4 TENDENCIA EN ESTACIONES DE LA ZMVM

La evaluación de tendencia de los contaminantes criterios en diferentes regiones de la ZMVM permite identificar de manera general a las que representan mayor riesgo para la salud. En este informe se emplea la información de las estaciones Merced (MER), Xalostoc (XAL), Tlalnepantla (TLA), Cerro de la Estrella (CES) y Pedregal (PED), por ser estaciones de monitoreo que históricamente han representado a las zonas en que se divide la ZMVM y cuentan con un desempeño histórico adecuado.

A fin de evaluar la existencia de tendencia para los 5 contaminantes criterio en las 5 zonas se realizó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall de temporalidad, mediante la cual se identifica la tendencia con base en la tasa instantánea de cambio, es decir la pendiente de una recta, así como un porcentaje relacionado al cambio en el periodo de evaluación. Como indicador de tendencia se emplea el percentil 95 de los máximos diarios de cada mes, ya que este parámetro no considera la influencia del 5% de los datos más extremos que pueden ser originados por fenómenos locales de emisión. Paralelamente y debido a la problemática que representa actualmente el O₃, se evalúa su tendencia en las 5 zonas mediante el indicador TOP-30 (promedio de las 30 concentraciones máximas diarias durante el año).

5.1.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Un Indicador espacial es un parámetro que permite evaluar en el espacio geográfico el comportamiento de los contaminantes e identificar con mayor detalle las áreas de riesgo. Este tipo de indicador se visualiza mediante mapas, por lo que es necesario utilizar métodos de interpolación para estimar el comportamiento del indicador entre los diferentes sitios de monitoreo.

En este reporte se emplea como indicador espacial en el caso del O₃ el tiempo promedio anual de excedencia a la norma de salud en cada sitio de monitoreo y para el NO₂ se usa el promedio anual de las concentraciones máximas diarias en cada sitio de monitoreo.

5.2 OZONO (O₃)

5.2.1 ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE (IMECA) DE O₃

El ozono representa en la actualidad el problema más serio de contaminación del aire en la ZMVM. De acuerdo con la información que se difunde diariamente mediante el IMECA, desde 1995 se rebasa la norma de protección a la salud de 0.11 ppm, promedio de una hora, en alrededor del 88% de los días del año. La excepción a esta situación fue 1999, que es el año con menor número de excedencias de la década (Tabla 5).

Es importante notar que desde 1991 hay un aumento de los días en que la concentración máxima de ozono esta en el intervalo de 0.111 a 0.233 ppm, que en términos del IMECA equivale a valores entre 101 y 200 puntos, y por el contrario han disminuido los días con concentraciones superiores a 0.233 ppm (200 puntos del IMECA). Esta situación ha motivado que el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA), activado por niveles altos de ozono, no se haya instrumentado en el año 2000, de hecho la última ocasión en que se instrumentó fue el 15 de octubre de 1999.

No obstante lo anterior, en el año 2000 fue necesario instrumentar la precontingencia del PCAA en 19 días, cuando los niveles de O₃ superaron las 0.233 ppm, es decir más de 200 puntos del IMECA. La presencia de estos eventos predomina en la zona suroeste del Valle de México y con mayor frecuencia en el mes de octubre.

Cabe señalar que desde el 28 de mayo de 1998 el PCAA se instrumenta automáticamente cuando se registra una concentración de O₃ superior a 0.282 ppm (240 puntos del IMECA); antes de este año se instrumentaba cuando se registraba una concentración de O₃ de 0.294 ppm (250 puntos del IMECA). En el anexo 3 se presenta un listado de las ocasiones en que se ha activado el PCAA en la ZMVM.

Tabla 5. Distribución de los máximos diarios de O₃ en la ZMVM que se difunden mediante el IMECA de 1990 a 2000.

Intervalo de concentraciones en ppm	IMECA	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
(0-0.055]	0 - 50	9	0	2	2	0	5	5	7	1	16	4
(0.055-0.110]	51 - 100	28	12	32	39	21	36	34	36	44	49	39
(0.110-0.233]	101 - 200	244	179	209	244	251	236	258	270	262	270	304
(0.233-0.282]	201 - 240	58	97	78	62	79	74	59	48	52	27	19
(0.282-0.355]	240 - 300	23	69	34	17	14	14	10	4	6	3	0
> 0.355	>300	3	8	11	1	0	0	0	0	0	0	0
Total de días		365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
Total > NOM		328	353	332	324	344	324	327	322	320	300	323
% total > NOM		90	97	91	89	94	89	89	88	88	82	88

(-significa todos los valores que sean mayores a.]-significa todos los valores hasta tomar este valor.

NOM: Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993 (O₃).

Elaborado con la información de las estaciones: AZC, EAC, TAC, TLA, CHA, SAG, XAL, BJU, HAN, LAG, MER, CUA, PED, PLA, SUR, TPN, CES, TAH, TAX, UIZ.

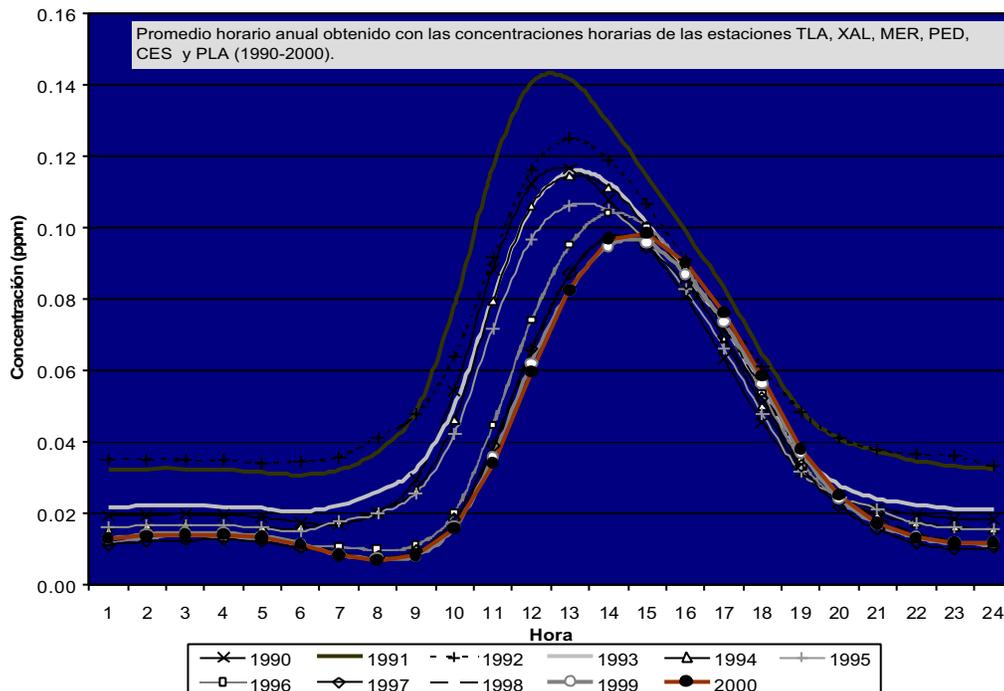
5.2.2 SELECCIÓN DE ESTACIONES REPRESENTATIVAS

Como se apuntó en el apartado 5.1, el análisis de tendencia de un contaminante por medio de máximos diarios equivalentes a la información del IMECA, conlleva algunos elementos de incertidumbre. Por esta razón, en este reporte se considera pertinente obtener los indicadores de comportamiento diario, general y regional del O₃, considerando solamente la información de las estaciones Tlalnepantla (TLA), Xalostoc (XAL), Merced (MER), Pedregal (PED), Cerro de la Estrella (CES) y Plateros (PLA), que cuentan con el mejor desempeño histórico.

5.2.3 COMPORTAMIENTO HORARIO DEL O₃

En la Figura 4 se observa que el comportamiento horario del O₃ tiene un decremento paulatino de 1991 a 1996, y que es prácticamente similar de 1997 al año 2000, aún durante el periodo de ascenso en las horas de mayor intensidad solar. El comportamiento de este indicador sugiere que la instrumentación de las acciones en los 2 primeros años del PROAIRE permitió continuar con el decremento histórico del O₃ hasta 1997 y que después se ha mantenido estable, es decir que las concentraciones promedio horarias de los últimos cuatro años son similares.

Figura 4. Comportamiento horario del ozono en la ZMVM (1990 –2000)



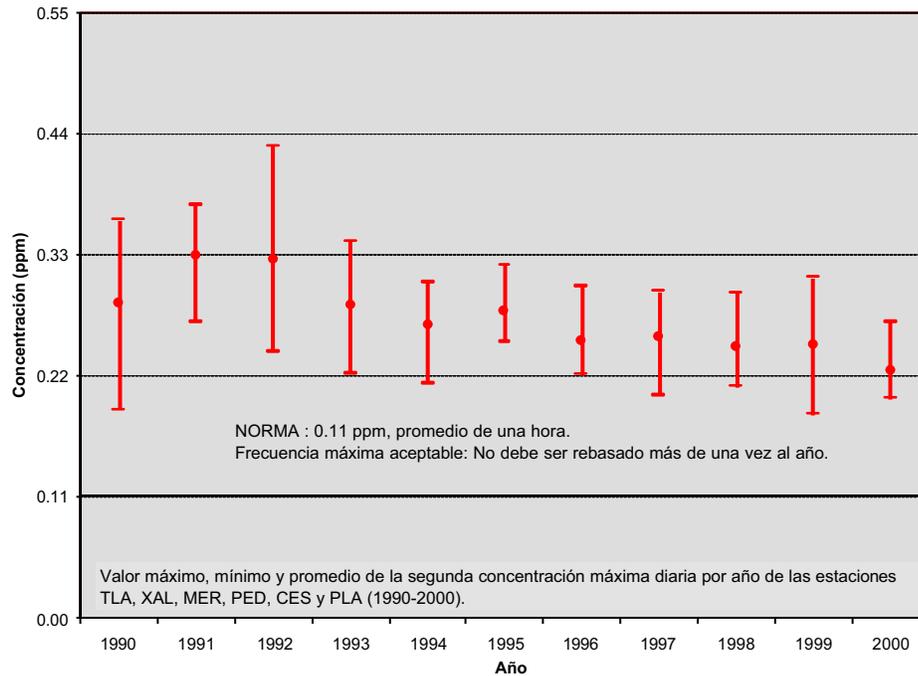
En la Gráfica 4, también se observa que después de 1996 la curva del comportamiento horario tuvo un desplazamiento hacia la derecha, de manera que los valores máximos entre 1996 y 1998 fueron a las 14:00 horas y en los dos últimos años a las 15:00 horas, cuando anteriormente se presentaban a las 13:00 horas.

5.2.4 ESTADÍSTICAS GENERALES DEL O₃

La norma de protección a la salud del O₃ indica que no se debe rebasar el límite máximo permisible de 0.11 ppm, en una hora, una vez al año. Una forma indirecta de evaluar el cumplimiento de esta norma, es analizar el comportamiento del 2° máximo anual. Como se observa en la Figura 5, el valor del segundo máximo anual con información de 6 estaciones de monitoreo, prácticamente duplica el valor de la concentración permisible de la norma de salud en el año 2000.

La tendencia de este indicador señala poca variabilidad en el periodo de 1996 a 1999, en el año 2000 tuvo un descenso importante y se destaca por ser el valor más bajo de la década, incluso el intervalo de variación entre la segunda concentración máxima y la segunda concentración mínima de las estaciones consideradas es reducido.

Figura 5. Tendencia del ozono en la ZMVM
Segunda concentración máxima anual, (1999-2000).



En el análisis del O_3 por épocas climáticas, se observa que en la época seca-caliente (Figura 6), los parámetros estadísticos de mediana, percentil 75 y percentil 25, registraron las concentraciones más altas. La tendencia del O_3 en esta época indica un decremento en los dos años subsecuentes a la instrumentación del PROAIRE; en 1997 el valor de la mediana (50% de los datos) fue próximo a 0.11 ppm, de hecho son los niveles más bajos de la década, posteriormente su comportamiento muestra incrementos.

En el caso de las épocas de lluvias y seca-fría (Figura 7 y 8), el comportamiento del O_3 evaluado con el percentil 75 y la mediana, presenta una disminución gradual desde que comenzó a operar el PROAIRE. Si se considera el valor de la norma de salud de 0.11 ppm, en la época de lluvias la mediana (50% de los datos) tiene valores más bajos que el valor de la norma desde 1995 y la época seca-fría desde el periodo 1999-2000.

Tendencia del ozono en la ZMVM por época climática (1990-2000)

Figura 6. Época seca-caliente (marzo a mayo).

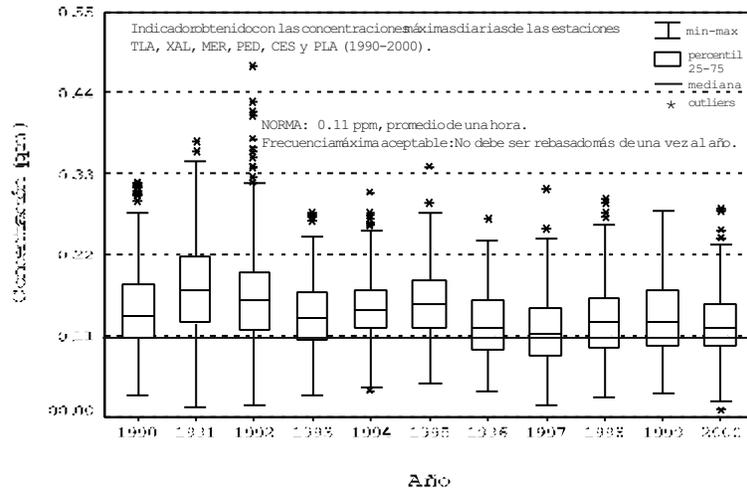


Figura 7. Época de lluvias (junio a octubre).

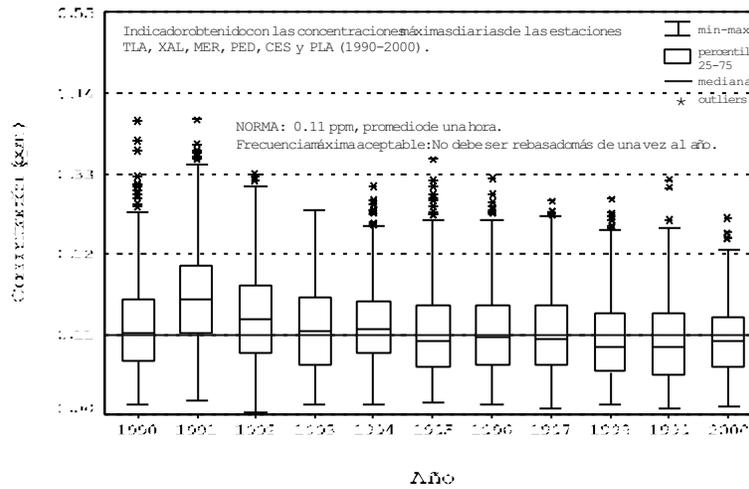
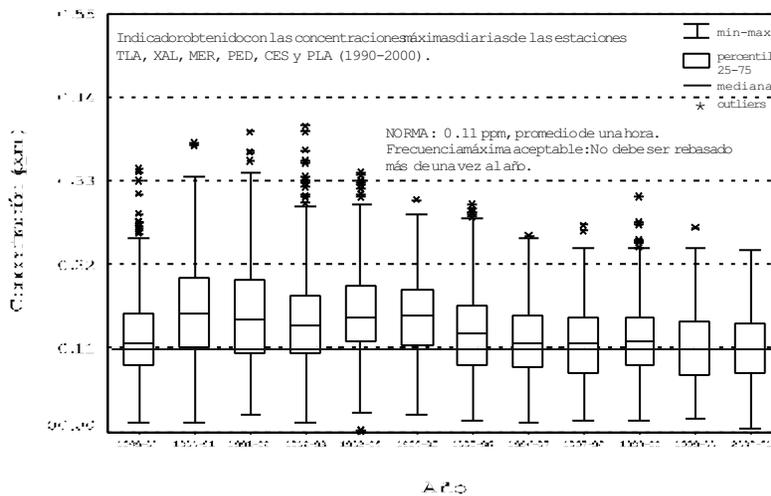


Figura 8. Época seca-fría (noviembre a febrero).



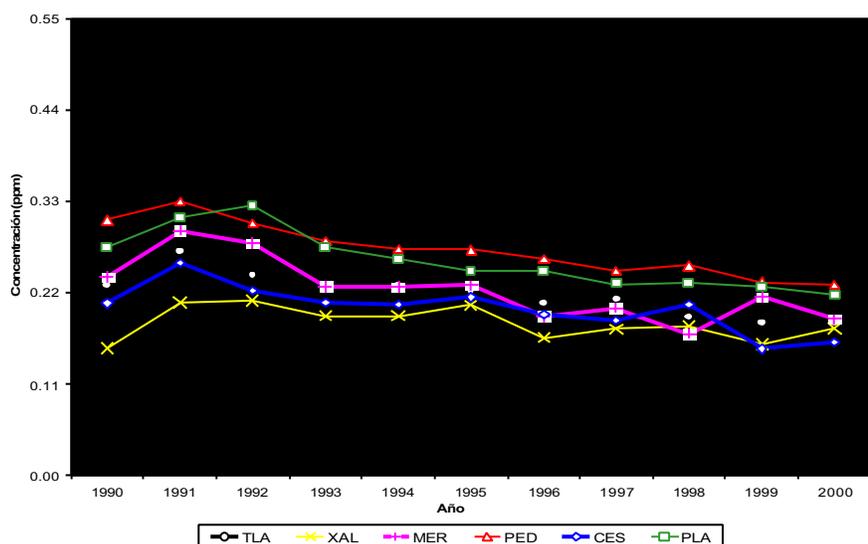
5.2.5 TENDENCIA DEL O₃ EN ESTACIONES DE LA ZMVM

La tendencia del O₃ en las 5 zonas de la ZMVM evaluada con el indicador TOP 30 tiene un comportamiento decreciente generalizado desde 1995, después de un periodo de poca variabilidad de 1992 a 1994. A pesar del comportamiento señalado, el valor de este indicador es superior al valor de la norma de salud de 0.110 ppm y destacan las estaciones Pedregal (PED) y Plateros (PLA) por tener valores que lo duplican. Estas estaciones se localizan en la zona suroeste de la ZMVM, por lo que se manifiesta como la región de mayor riesgo por concentraciones altas de este contaminante (Figura 9).

Los resultados del análisis de tendencia con el método de Mann-Kendall y el percentil 95, para el periodo de 1990 a 2000, indican que cada una de las 5 estaciones históricas tienen una tendencia decreciente con un nivel de confianza del 90%, con tasas de cambio pequeñas y porcentajes de decremento que fluctúan entre un 26 y 29% en la mayoría de los casos. En la estación XAL se presentó el decremento menor con 14% (Tabla 6).

En la parte baja de la Tabla 6, la evaluación de tendencia en el periodo 1995 – 2000 en que operó el PROAIRE, indica nuevamente que las 5 estaciones presentan una tendencia decreciente al aplicar el método de Mann-Kendall. La tasa instantánea de cambio fue ligeramente mayor respecto de la evaluación global de 1990 al 2000, en el caso de CES, TLA y XAL y menor en PED y MER.

Figura 9. Tendencia del ozono (1990-2000)
Promedio anual de los primeros 30 máximos diarios por año (TOP 30).



El resultado de este análisis en la estación PED al suroeste de la ZMVM, indica que durante la instrumentación del PROAIRE 1995 – 2000, las concentraciones máximas diarias de O₃ decrecieron un 13% al evaluarlas mediante el percentil 95, al pasar de 0.258 ppm a 0.226 ppm. Para hacer comprensible este comportamiento, en términos del IMECA se puede afirmar que este indicador pasó de 220 puntos a 195 puntos, en el percentil 95 de los máximos diarios.

En el caso de la estación CES de la zona sureste, el decremento del 26% de este indicador durante la instrumentación del PROAIRE 1995 – 2000 se debe a que pasó de 0.208 ppm a 0.154 ppm. En términos del IMECA se puede indicar que este indicador paso de 180 puntos a 136 puntos.

Tabla 6. Prueba de tendencia de Mann-Kendall para ozono (O₃) en la ZMVM (por estación)
Periodos 1990 a 2000; 1995 a 2000

Periodo 1990 a 2000 (nivel de confianza 90%)	CES	MER	PED	TLA	XAL
Presenta Tendencia	SI	SI	SI	SI	SI
Tasa instantánea de cambio	- 0.007	- 0.007	- 0.008	- 0.006	- 0.003
Concentraciones estimadas al inicio y al final del periodo (ppm) *	0.225 , 0.160	0.245 , 0.173	0.290 , 0.215	0.233 , 0.171	0.184 , 0.159
Porcentaje de decremento del periodo 1990-2000	- 29%	- 29%	- 26%	- 27%	- 14%
Periodo 1995 a 2000 (nivel de confianza 90%)	CES	MER	PED	TLA	XAL
Presenta Tendencia	SI	SI	SI	SI	SI
Tasa instantánea de cambio	- 0.011	- 0.004	- 0.006	- 0.009	- 0.004
Concentraciones estimadas al inicio y al final del periodo (ppm) *	0.208 , 0.154	0.202 , 0.180	0.258 , 0.226	0.212 , 0.167	0.179 , 0.158
Porcentaje de decremento del periodo 1995-2000	- 26%	- 11%	- 12%	- 21%	- 12%

* Las concentraciones estimadas al inicio y final de cada periodo se determinan por la prueba de Sen's, la cual se basa en un análisis de ajuste lineal considerando periodicidades (Gilbert).

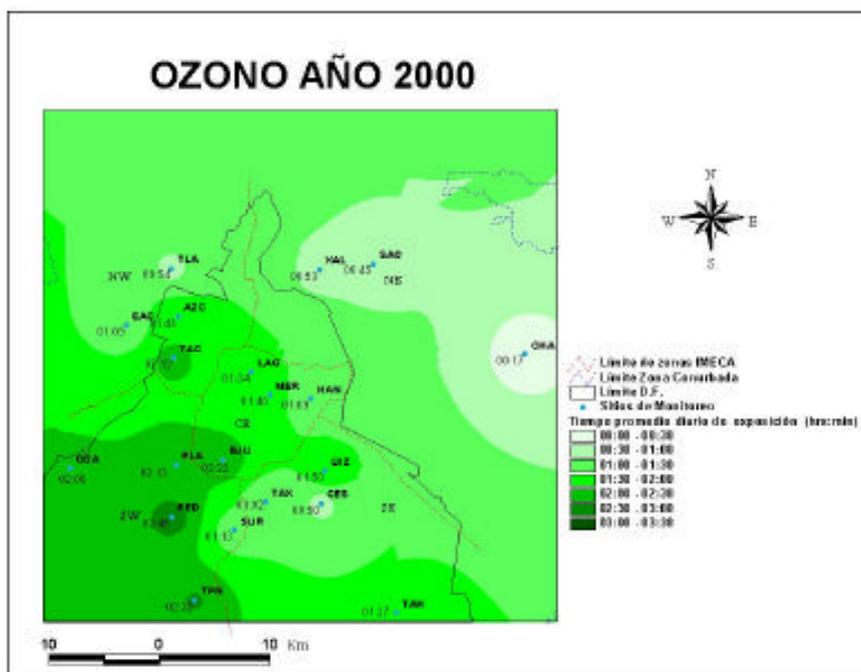
5.2.6 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL O₃

El Mapa 2 corresponde a la distribución espacial del tiempo de exposición del O₃ en la ZMVM durante el año 2000 y muestra el gradiente típico del número de horas por arriba de la norma, con el mayor tiempo en las estaciones Pedregal (PED), Tlalpan (TPN), Cuajimalpa (CUA) y Plateros (PLA) al suroeste, así como Benito Juárez (BJU) en la zona centro, mientras que el valor de este indicador decrece paulatinamente hacia el noreste.

En este año el área de la ZMVM con concentraciones arriba de la norma aumentó, debido al aumento por periodos de exposición mayores a una hora y treinta minutos, y se ve reflejado en las estaciones San Agustín (SAG) y Xalostoc (XAL) de la zona noreste, Tacuba (TAC) en la zona noroeste, Lagunilla (LAG) y Benito Juárez (BJU) en la zona centro, Cuajimalpa (CUA) y Tlalpan (TPN) en la zona suroeste y Tláhuac (TLA) en la zona sureste.

Históricamente las estaciones con los valores más altos para este indicador son PED y PLA, que en el año 2000 tienen valores de 2 horas con 45 minutos y 2 horas con 13 minutos, respectivamente. En comparación los valores de 1999 fueron de 2 horas con 54 minutos y 2 horas con 34 minutos, respectivamente. No obstante este decremento en el tiempo en que el O_3 alcanza sus niveles más altos, la población del suroeste de la ZMVM aún se expone a niveles de riesgo cuando realiza sus actividades al aire libre en ciertas horas del día.

Mapa 2. Tiempo promedio de exposición diaria del ozono en la ZMVM (año 2000).



5.2.7 CONCLUSIONES

Los resultados de este análisis indican que a lo largo de la década de los 90, en la ZMVM ha habido un decremento gradual del número de días con concentraciones máximas de O_3 críticas y que motivan la instrumentación del PCAA, sin embargo aún se rebasa la norma de protección a la salud de 0.11 ppm, promedio de una hora. Desde 1997 alrededor del 88% de los días del año se excede dicho valor, cuando la recomendación es rebasarlo solamente una hora al año, en un periodo de tres años.

No obstante que en el año 2000 no se instrumentó la Fase 1 del PCA, fue necesario activar la precontingencia ambiental en 19 días y los días sin excedencias a la norma no tuvieron un incremento, por lo que ha aumentado la presencia de días con concentraciones máximas entre 0.111 a 0.233 ppm (101 a 200 puntos del IMECA).

Los resultados con el indicador del segundo máximo anual, señalan que en el año 2000 hay un descenso importante de los niveles críticos de O_3 . Mientras que el comportamiento diario de este contaminante indica que desde 1997 las concentraciones que se registran hora con hora son prácticamente similares, lo que sugiere un periodo de poca variabilidad y que la presencia de concentraciones críticas ocurren de manera extraordinaria.

Los resultados del método de Mann-Kendall indican que las 5 estaciones que representan a las zonas del Valle de México tienen una tendencia decreciente desde 1990 y que ésta continúa después de la instrumentación del PROAIRE 1995 –

2000, a pesar de tener tasas de decremento bajas. En la estación PED de la zona suroeste, que continua siendo la región más afectada por este contaminante, el decremento de la tendencia de 1995 al año 2000, mediante el percentil 95, es del 12%. En términos del IMECA implica pasar de 220 a 195 puntos.

La situación del O₃ en diferentes épocas del año y el despliegue espacial del tiempo promedio de excedencias a la norma, indica que durante la época seca-caliente (marzo a mayo) la población que permanece más tiempo en el suroeste (delegaciones Alvaro Obregón, Tlalpan y Coyoacán) está expuestas a un mayor riesgo ante concentraciones elevadas de este contaminante. En tanto que la población de la región que comprende municipios como Texcoco, Ecatepec y Netzahualcóyotl, en el Estado de México tiene menor riesgo.

En contraste, en las épocas de lluvias y seca-fría las concentraciones de O₃ han disminuido desde 1995. En la época de lluvias, desde 1996 el 50% de las concentraciones son más bajas que la norma de salud y en la época seca-fría las concentraciones más bajas que la norma de salud se presentaron hasta el año 2000.

5.3 BIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂)

5.3.1 ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE (IMECA) DE NO₂

De acuerdo con la información que se difunde diariamente mediante el IMECA, desde 1990 el bióxido de nitrógeno (NO₂) no rebasa la norma de protección a la salud de 0.21 ppm, promedio de una hora, en más del 10% de los días del año (36 días); sin embargo, no hay una tendencia definida de este contaminante con esta información (Ver Tabla 7).

Al inicio de la instrumentación del PROAIRE los niveles de este contaminante tuvieron un aumento, en 1996 el número de días arriba de la norma representaron el 22% de los días y en dos ocasiones se registraron concentraciones por arriba de 0.438 ppm, equivalentes a 151 puntos del IMECA. A pesar de esta situación, desde 1998 no se han registrado nuevamente concentraciones de esta magnitud, incluso hay un aumento del número de días con concentraciones por debajo de 0.105 ppm, equivalentes a 50 puntos del IMECA, y el año 2000 tiene el mayor número de días con concentraciones máximas por debajo de 0.105 ppm.

Considerando el aumento de este contaminante, de 1995 a 1997, no parece tener una influencia directa en la tendencia del O₃.

Tabla 7. Distribución de la información de la ZMVM que se difunde diariamente mediante el IMECA del NO₂ de 1990 a 2000.

Intervalo de concentraciones en ppm	IMECA	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
(0-0.105]	0 a 50	140	150	186	141	136	182	117	132	169	183	194
(0.105-0.210]	51 a 100	196	202	172	196	202	149	169	197	167	164	149
(0.210-0.434]	101 a 150	29	13	8	28	27	33	78	35	29	18	23
(0.434-0.658]	151 a 200	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0
(0.658-0.881]	201 a 250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(0.881-1.105]	251 a 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>1.105	> 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de días		365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
Total > NOM		29	13	8	28	27	34	80	36	29	18	23
% total > NOM		8	4	2	8	7	9	22	10	8	5	6

(-significa todos los valores que sean mayores a.]-significa todos los valores hasta tomar este valor.

NOM: Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993 (NO₂).

Elaborado con la información de las estaciones: ATI, AZC, EAC, TAC, TLA, TLI, SAG, VIF, XAL, BJU, HAN, LAG, MER, PED, PLA, SUR, CES, TAX, UIZ.

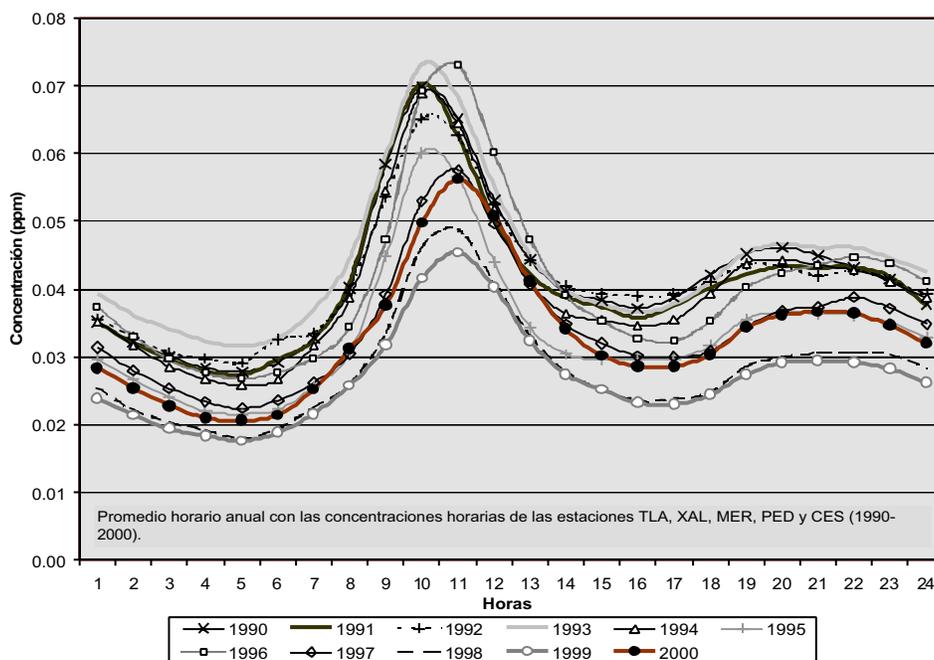
5.3.2 SELECCIÓN DE ESTACIONES REPRESENTATIVAS

Para verificar la tendencia descrita anteriormente, se obtuvieron indicadores del comportamiento diario e indicadores generales del NO₂ con información de las estaciones de monitoreo de Tlalnepantla (TLA), Xalostoc (XAL), Merced (MER), Pedregal (PED) y Cerro de la Estrella (CES).

5.3.3 COMPORTAMIENTO HORARIO DEL NO₂

En la Figura 10 se muestra el patrón del promedio horario del NO₂ en la ZMVM, el cual se relaciona estrechamente con las actividades económicas de esta metrópoli. Es notable el decremento gradual que presenta el NO₂ de 1990 a 1999, en todas las horas del día y principalmente en el periodo matutino donde se presentaban las concentraciones más altas. La continuidad de este decremento después de la instrumentación del PROAIRE puede indicar resultados satisfactorios de sus acciones; sin embargo, en el año 2000 hay un repunte importante en todas las horas. Cabe señalar que para obtener este indicador se utilizan los datos de 5 estaciones.

Figura 10. Comportamiento horario del bióxido de nitrógeno en la ZMVM (1990-2000).

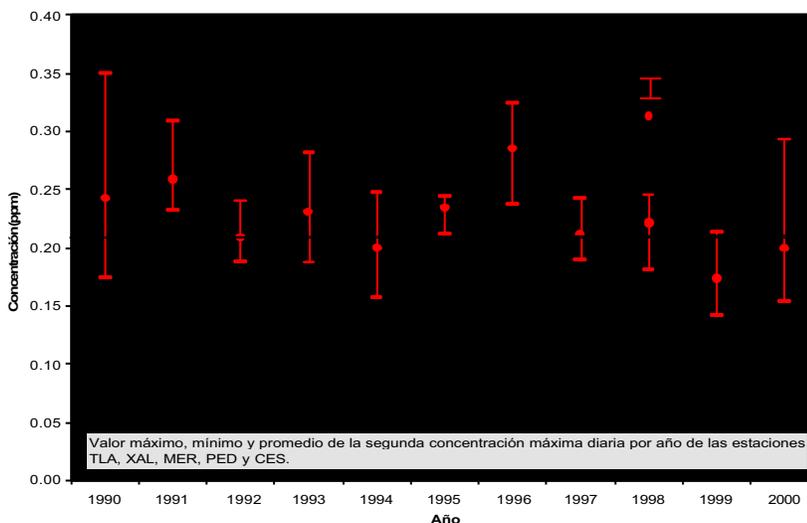


5.3.4 ESTADÍSTICAS GENERALES DEL NO₂

La norma de protección a la salud del NO₂ indica que solo puede rebasarse una vez al año la concentración de 0.21 ppm, como promedio de una hora. En la Figura 11 se observa que el promedio de la segunda concentración máxima anual de las 5 estaciones consideradas sigue un comportamiento irregular y que al menos en alguna de estas estaciones se viola la norma.

El valor promedio de este indicador en 1999 destaca por ser el más bajo de la década. Aunque en el año 2000, debido a que en CES el 2° máximo fue mayor a 0.21, se aprecia un aumento en el indicador, ya que el resto de las estaciones (TLA, XAL, MER y PED) registraron el 2° máximo entre 0.150 y 0.210 ppm (ver Figura 11); sin embargo como se aprecia, el valor promedio en 2000 fue inferior al de la norma.

Figura 11. Tendencia del bióxido de nitrógeno en el Valle de México Segunda concentración máxima anual.



El comportamiento de las concentraciones máximas del NO₂ en las 3 épocas climáticas evaluado mediante el percentil 75, indica que después de la instrumentación del PROAIRE en 1995 hubo un aumento generalizado y que posteriormente su comportamiento ha sido irregular. En el caso de la época seca-caliente y lluvias reflejan un repunte en el año 2000, mientras que en la época seca-fría el aumento se observó en el periodo 1999-2000 (Figuras 12, 13 y 14).

Las épocas seca-caliente y seca-fría son las que presentan una mayor frecuencia de excedencias a la norma de protección a la salud, en tanto que en la época de lluvias no se ha rebasado el valor de la norma desde hace tres años, inclusive 1998 presenta los niveles más bajos de la década (Figura 14).

No obstante el incremento registrado en el año 2000 en las tres épocas climáticas, los valores extremos han disminuido, lo que señala la eficiencia de medidas instrumentadas para reducir los niveles de NO_x en la atmósfera, tales como el uso de convertidores catalíticos, el programa de verificación de emisiones industriales, entre otras.

Tendencia del bióxido de nitrógeno en la ZMVM (1990-2000)

Figura 12. Época seca-caliente (marzo a mayo)

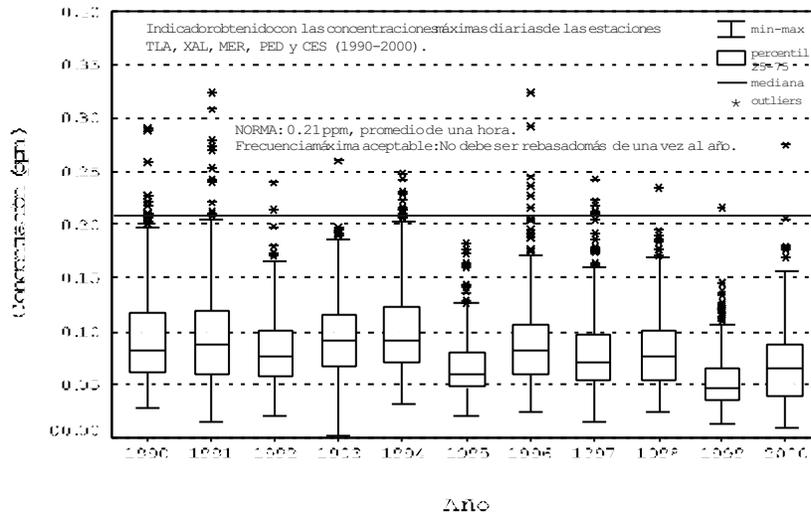


Figura 13. Época de lluvias (junio a octubre).

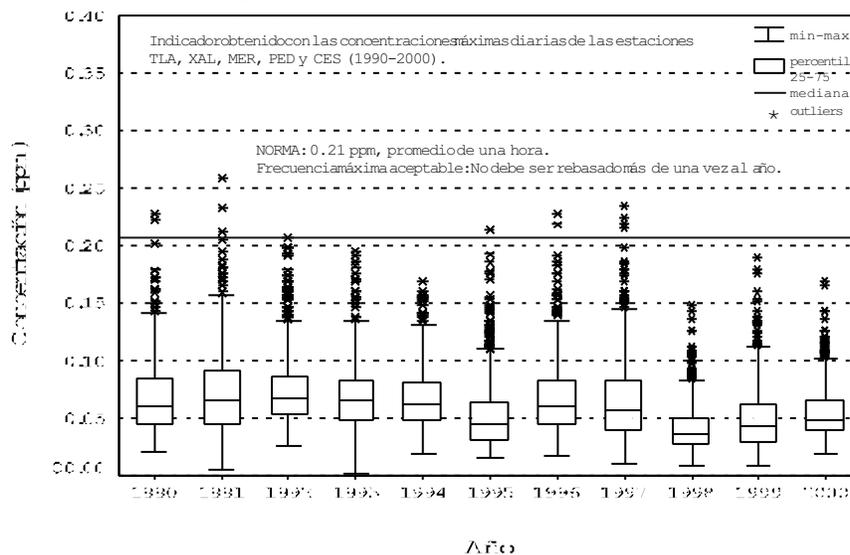
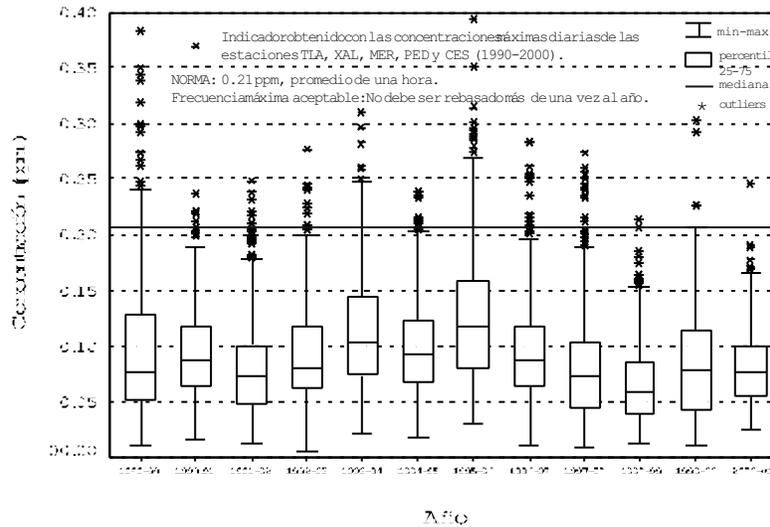


Figura 14. Época seca-fría (noviembre a febrero).



5.3.5 TENDENCIA DEL NO₂ EN ESTACIONES DE LA ZMVM

El resultado del análisis de tendencia para el NO₂ con el método de Mann-Kendall, indica que este contaminante tiene un decremento anual desde 1990 en la mayoría de las estaciones y que se mantiene durante el periodo 1995-2000 en que operó el PROAIRE. Solo la estación Tlalnepantla (TLA) en la zona noroeste no presenta tendencia (Tabla 8).

Es importante resaltar el decremento del 26% en la estación PED, en la zona suroeste, entre 1995 y 2000, ya que en esta zona se registran habitualmente los niveles más altos del O₃. El cambio del percentil 95 de 0.145 a 0.107 ppm, puede interpretarse en términos del IMECA como un cambio de 69 a 51 puntos. En la estación MER de la zona centro, donde los niveles de NO₂ son mayores, el cambio del percentil 95 fue de 0.151 a 0.119 ppm, en términos del IMECA se puede interpretar como un cambio de 72 a 57 puntos que representa un decremento del 21%.

Tabla 8. Prueba de tendencia de Mann-Kendall para bióxido de nitrógeno (NO₂) en la ZMVM. Periodos 1990 a 2000; 1995 a 2000

Periodo 1990 a 2000 (nivel de confianza 90%)	CES	MER	PED	TLA	XAL
Presenta Tendencia	SI	SI	SI	NO	SI
Tasa instantánea de cambio	- 0.004	- 0.006	- 0.005	---	- 0.004
Concentraciones estimadas al inicio y al final del periodo (ppm)*	0.150 , 0.111	0.183 , 0.122	0.166 , 0.111	---	0.135 , 0.099
Porcentaje de decremento del periodo 1990-2000	- 26%	- 33%	- 33%	---	- 27%
Periodo 1995 a 2000 (nivel de confianza 90%)	CES	MER	PED	TLA	XAL
Presenta Tendencia	SI	SI	SI	NO	SI
Tasa instantánea de cambio	- 0.008	- 0.007	- 0.008	---	- 0.006
Concentraciones estimadas al inicio y al final del periodo (ppm)*	0.147 , 0.108	0.151 , 0.119	0.145 , 0.107	---	0.115 , 0.086
Porcentaje de decremento del periodo 1995-2000	- 27%	- 21%	- 26%	---	- 25%

* Las concentraciones estimadas al inicio y final de cada periodo se determinan por la prueba de Sen's, la cual se basa en un análisis de ajuste lineal considerando periodicidades.

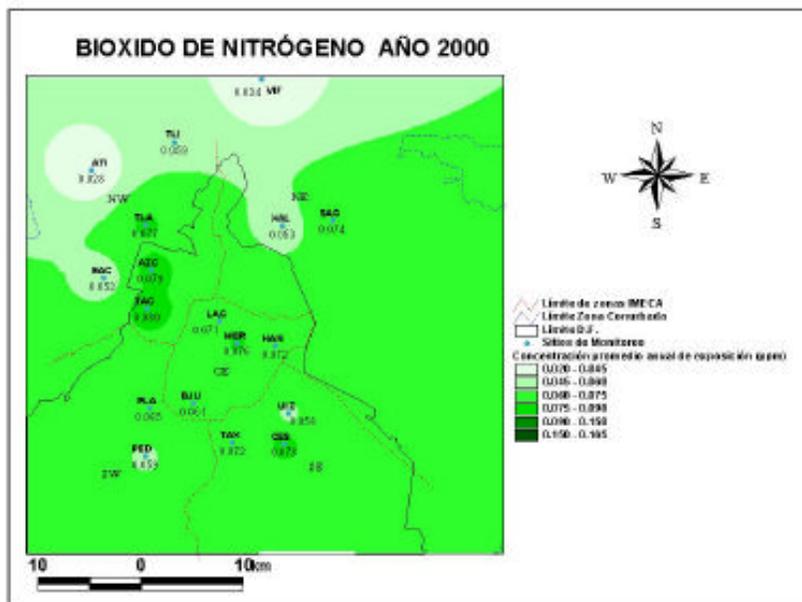
5.3.6 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL NO₂

La distribución espacial del promedio anual del NO₂ en el año 2000, permite identificar las áreas donde se registran los niveles más altos de este contaminante en la ZMVM, que son caracterizadas por las estaciones Tacuba (TAC),

Azcapotzalco (AZC) y Tlalnepantla (TLA) de la zona noroeste, Merced (MER) de la zona centro y Cerro de la Estrella (CES) de la zona sureste (Mapa 3).

De acuerdo con la distribución espacial de este parámetro en el año 2000, en la mayor parte de la ZMVM el promedio anual del NO₂ tuvo valores en el intervalo de 0.060 a 0.075 ppm, las áreas que tienen concentraciones bajas se presentaron en las zonas noroeste y noreste.

Mapa 3. Distribución espacial del bióxido de nitrógeno en la ZMVM (año 2000).



5.3.7 CONCLUSIONES

Los resultados del análisis del NO₂ mediante el IMECA, muestran que a pesar de no rebasar la norma de protección a la salud de 0.21 ppm, promedio de una hora, en más del 10% de los días del año desde 1990, no se puede definir un comportamiento.

El indicador de la segunda concentración máxima anual refleja un comportamiento irregular a lo largo de la década; sin embargo, en el año 2000 refleja un aumento de consideración. Este aumento también se reflejó en el comportamiento del patrón horario.

A través del análisis de las 3 épocas climáticas se pueden definir mejores patrones de comportamiento de este contaminante y señalar que después de la instrumentación del PROAIRE hubo un ligero aumento y que posteriormente ha disminuido paulatinamente. El aumento del año 2000 señalado anteriormente, se debió principalmente a las concentraciones registradas en la época seca-caliente. Este análisis señala también que en las épocas seca-caliente y seca-fría se registran las concentraciones más altas de este contaminante e inclusive excedencias a la norma. En cuanto al análisis espacial, éste reflejó que los niveles altos de NO₂ se presentan localmente, por lo que se definen como áreas de poca influencia al momento de desplegarlas espacialmente.

A pesar del aumento de los niveles de NO₂ en el año 2000, mediante el análisis de tendencia con el método de Mann-Kendall es posible señalar que desde 1995, cuando se instrumentó el PROAIRE, hay una tendencia decreciente en la mayoría de las estaciones representativas de cada zona, excepto TLA de la zona noroeste. Sobresale el decremento del 26% en la estación PED de la zona suroeste, ya que en ésta se registran habitualmente los niveles más altos del O₃.

5.4 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

5.4.1 ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE (IMECA) DE CO

El monóxido de carbono (CO) se considera como uno de los contaminantes criterio controlados en la ZMVM. De acuerdo con la información del IMECA, desde 1993 se rebasa la norma de protección a la salud de 11 ppm, promedio móvil de 8 horas, en alrededor del 1% de los días del año (Tabla 9).

En 1994 predominaron los días con niveles máximos por debajo de 5.5 ppm (equivalente a 50 puntos del IMECA), además de ser el único año que no presentó excedencias, por lo que representa el año más limpio con respecto a este contaminante; en contraste el año 2000 tiene un decremento importante de los días en esta situación y un aumento de las concentraciones máximas en el intervalo de 5.51 a 11 ppm (51 a 100 puntos del IMECA), incluso tiene dos días arriba de la norma, lo cual es semejante a 1999.

Tabla 9. Distribución de los máximos diarios de CO en la ZMVM que se difunden diariamente mediante el IMECA 1990 a 2000.

Intervalo de concentraciones (promedio móvil de 8 hrs) en ppm	IMECA	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
(0-5.5]	0- 50	8	11	81	271	304	140	112	132	120	208	158
(5.5-11.0]	51-100	328	273	259	92	61	220	247	232	240	155	206
(11.0-15.8]	101-150	29	71	24	2	0	5	7	0	5	2	2
(15.8-20.7]	151- 200	0	10	1	0	0	0	0	1	0	0	0
(20.7-25.6]	201- 250	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(25.6-30.5]	251- 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>30.5	> 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de días		365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
Total > NOM		29	81	26	2	0	5	7	1	5	2	2
% total > NOM		7.9	22.2	7.1	0.5	0	1.4	1.9	0.3	1.4	0.5	0.5

(–significa todos los valores que sean mayores a.] –significa todos los valores hasta tomar este valor.

NOM: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993 (CO).

Elaborado con la información de las estaciones: ATI, AZC, EAC, IMP, TAC, TLA, TLI, VAL, ARA, SAG, VIF, XAL, BJU, HAN, LAG, MER, MIN, PED, PLA, SUR, CES, TAX, UIZ.

5.4.2 SELECCIÓN DE ESTACIONES REPRESENTATIVAS

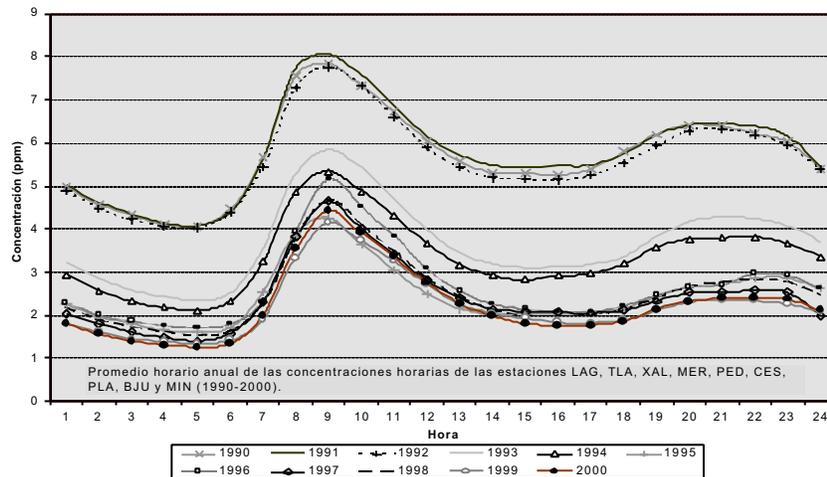
Para evaluar la tendencia de este contaminante se obtuvieron indicadores del comportamiento diario e indicadores generales del estado de la calidad del aire, con información de las estaciones Lagunilla (LAG), Tlalnepantla (TLA), Xalostoc (XAL), Merced (MER), Pedregal (PED), Cerro de la Estrella (CES), Benito Juárez (BJU), Metro Insurgentes (MIN) y Plateros (PLA).

5.4.3 COMPORTAMIENTO HORARIO DEL CO

En la Figura 15 se muestra el comportamiento del promedio horario del CO en la ZMVM, con sus niveles más altos en las horas de actividad vehicular, así como su evolución en la última década. Como se observa, este contaminante presentó un decremento gradual de 1990 a 1997, sin embargo de 1998 al año 2000 no se presenta gran variación, es decir que las concentraciones que se registran en promedio cada hora del día son muy similares. Esta evolución del comportamiento diario sugiere que la continuidad en el PROAIRE de las acciones de prevención y control de este contaminante, permitió mantener una tendencia decreciente y posteriormente su estabilización.

El análisis específico de la información correspondiente al año 2000, indica que las estaciones Tacuba (TAC), Aragón (ARA), Hangares (HAN), Vallejo (VAL) y Taxqueña (TAX), son las que tienen un aumento importante en la presencia de concentraciones entre 5.5 a 11 ppm (51 a 100 puntos del IMECA).

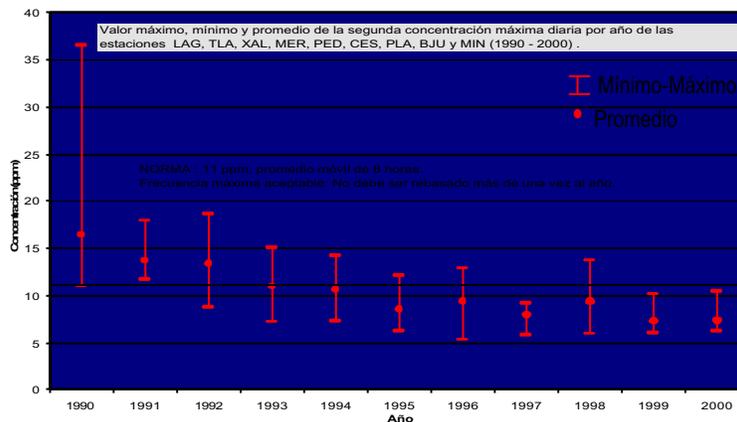
Figura 15. Comportamiento horario del monóxido de carbono en la ZMVM (1990-2000).



5.4.4 ESTADÍSTICAS GENERALES DEL CO

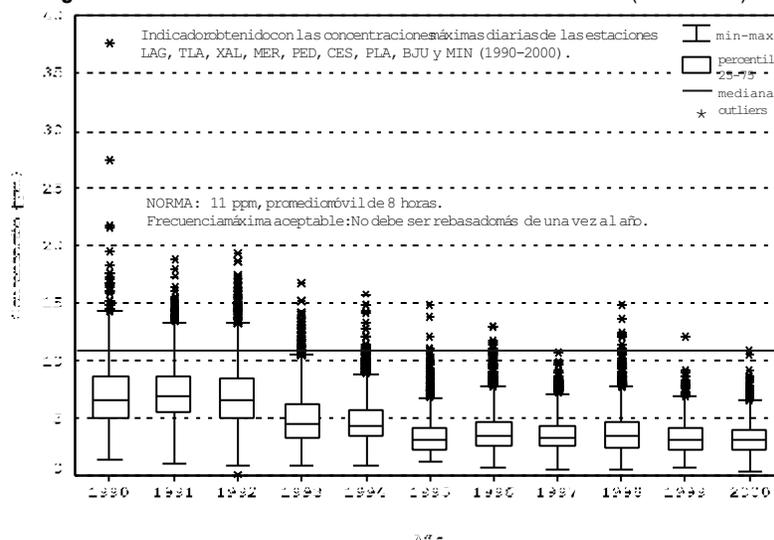
El análisis de tendencia mediante el indicador de la segunda concentración máxima con la información de 9 estaciones de monitoreo, indica un claro descenso en los niveles máximos de este contaminante, con violaciones excepcionales en 1996 y 1998 a la norma de protección a la salud de 11 ppm, promedio móvil de 8 horas. Es importante notar que este indicador presenta en conjunto los valores promedio más bajos de la década en 1999 y 2000 (Figura 16).

Figura 16. Tendencia del monóxido de carbono en la ZMVM Segunda concentración máxima anual (1990-2000).



El análisis de tendencia de las concentraciones máximas diarias de 1990 a 2000 (Figura 17), señala un claro decremento de las mismas cuando se evalúa el percentil 75, en tanto que la mediana indica un comportamiento con poca variación en los últimos años; este último indicador se refiere al comportamiento del 50% de los datos. En esta figura también se observa que en los dos últimos años, prácticamente no se presentan datos atípicos o aberrantes (outliers) que difieran del comportamiento que tienen el resto de las concentraciones máximas.

Figura 17. Tendencia del monóxido de carbono en la ZMVM (1990-2000).



5.4.5 TENDENCIA DEL CO EN ESTACIONES DE LA ZMVM

El análisis de tendencia del CO con el método de Mann-Kendall, señala que ésta es decreciente de 1990 al año 2000 en las 5 estaciones que representan a cada una de las zonas de la ZMVM, con tasas instantáneas de cambio que oscilan entre 0.400 y 0.600 ppm y porcentajes de decremento que llegan a ser del 67% en el caso de la estación CES de la zona noreste. En términos del IMECA, se traduce como el cambio del percentil 95 de los máximos diarios, de 82 puntos en 1990 a 27 puntos en el 2000. En tanto que la estación con menos decremento porcentual es XAL de la zona noreste, con 51% (Tabla 10).

El análisis para el periodo de 1995 a 2000 en que operó el PROAIRE, señala que prácticamente no hubo tendencia en las regiones de la ZMVM, excepto en la estación CES de la zona noreste que tiene un decremento del 18%. Como se menciona anteriormente en los apartados 5.4.3 y 5.4.4, en los últimos años este contaminante presentó estabilidad, por lo que no presenta tendencia en el resto de las zonas.

Tabla 10. Prueba de tendencia de Mann-Kendall para monóxido de carbono (CO) en la ZMVM (por estación).
Periodos 1990 a 2000; 1995 a 2000

Periodo 1990 a 2000 (nivel de confianza 90%)	CES	MER	PED	TLA	XAL
Presenta Tendencia	SI	SI	SI	SI	SI
Tasa instantánea de cambio	- 0.600	- 0.516	- 0.500	- 0.400	- 0.500
Concentraciones estimadas al inicio y al final del periodo (ppm)*	9.00 , 3.00	9.88 , 4.72	7.64 , 2.64	7.73 , 3.73	9.85 , 4.85
Porcentaje de decremento del periodo 1990-2000	- 67%	- 52%	- 65%	- 52%	- 51%
Periodo 1995 a 2000 (nivel de confianza 90%)	CES	MER	PED	TLA	XAL
Presenta Tendencia	SI	NO	NO	NO	NO
Tasa instantánea de cambio	- 0.200	---	---	---	---
Concentraciones estimadas al inicio y al final del periodo (ppm)*	5.47 , 4.47	---	---	---	---
Porcentaje de decremento del periodo 1995-2000	- 18%	---	---	---	---

* Las concentraciones estimadas al inicio y final de cada periodo se determinan por la prueba de Sen, la cual se basa en un análisis de ajuste lineal considerando periodicidades (Gilbert).

5.4.6 CONCLUSIONES

Los resultados del comportamiento de los indicadores para el CO, permiten concluir que es un contaminante que se mantiene controlado en niveles dentro de la norma de protección a la salud de la población, ya que su tendencia es

prácticamente estable en las estaciones que han tenido un buen desempeño histórico (utilizar estas estaciones permite hacer una comparación a lo largo de la década sin perder objetividad). Esta situación permite señalar que el resultado de las acciones de prevención y control ha sido adecuado.

La presencia de niveles altos en el año 2000 y que motivó que el IMECA superara en dos ocasiones los 100 puntos, se debe principalmente a registros en estaciones de monitoreo que tienen pocos años funcionando, por lo que en este análisis de tendencia histórico no se ve reflejado.

Cabe señalar que algunas de las estaciones consideradas en este análisis se encuentran en la cercanía de vías con tránsito vehicular elevado, por lo que puede considerarse cierta representatividad de la exposición directa de las personas a las fuentes de emisión; no obstante, el monitoreo de CO al nivel de piso en sitios de confluencia y en la cercanía de sitios con tránsito vehicular elevado es una asignatura pendiente de desarrollar en la gestión de la calidad del aire.

5.5 BIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

5.5.1 ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE (IMECA) DE SO₂

La disminución del contenido de azufre en los combustibles de uso industrial y del transporte, principalmente a partir de 1993 cuando se introdujo al mercado el Diesel Sin y con la promoción en el uso de energéticos sustitutos del Diesel y el combustóleo, se refleja en la información de la ZMVM que se difunde mediante el IMECA. En la Tabla 11 se observa que en la mayoría de los años de la década el porcentaje de días en que se rebasó una concentración de 0.13 ppm como promedio móvil de 24 horas (equiparable a 100 puntos del IMECA) es bajo. Destaca el año de 1994 por tener en 364 días concentraciones menores a 0.065 ppm como promedio móvil de 24 horas (equiparable a 50 puntos del IMECA) por lo que éste es el año más limpio de la década en términos de SO₂ (Tabla 11).

En esta década destaca el año 1992 por presentar en el 4% de los días valores superiores a 0.130 ppm como promedio móvil de 24 horas (equivalente a 100 puntos del IMECA), y desde ese año no se habían presentado excedencias en gran número hasta el 2000 que se registraron en el 2% de los días; la mayoría de estos eventos fueron originados por los registros de la estación Tlalnepantla, que es una zona principalmente industrial. En este año también destacó el aumento en la frecuencia de concentraciones en el intervalo de 0.065 y 0.130 ppm (promedio móvil de 24 hrs), que representan valores del IMECA entre 51 y 100 puntos.

Tabla 11. Distribución de la información de la ZMVM que se difunde diariamente mediante el IMECA del SO₂ de 1990 a 2000.

Intervalo de concentraciones (promedio móvil de 24 hrs) en ppm	IMECA	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
(0-0.065]	0- 50	181	87	180	333	364	347	343	348	337	340	293
(0.065-0.130]	51-100	180	276	171	32	1	18	21	17	28	25	66
(0.130-0.239]	101-150	4	2	14	0	0	0	2	0	0	0	7
(0.239-0.348]	151- 200	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(0.348-0.456]	201- 250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(0.456-0.565]	251- 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>0.565	> 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de días		365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366
Total > 0.13 ppm (promedio móvil de 24 horas)		4	2	15	0	0	0	2	0	0	0	7
% total > 0.13 ppm (promedio móvil de 24 horas)		1.1	0.5	4.1	0	0	0	0.5	0	0	0	1.9

(–significa todos los valores que sean mayores a.] –significa todos los valores hasta tomar este valor.

Elaborado con la información de las estaciones: ATI, AZC, EAC, TAC, TLA, TLI, VAL, ARA, LPR, LVI, LLA, SAG, VIF, XAL, BJU, HAN, LAG, MER, PED, PLA, SUR, CES, TAH, TAX, UIZ.

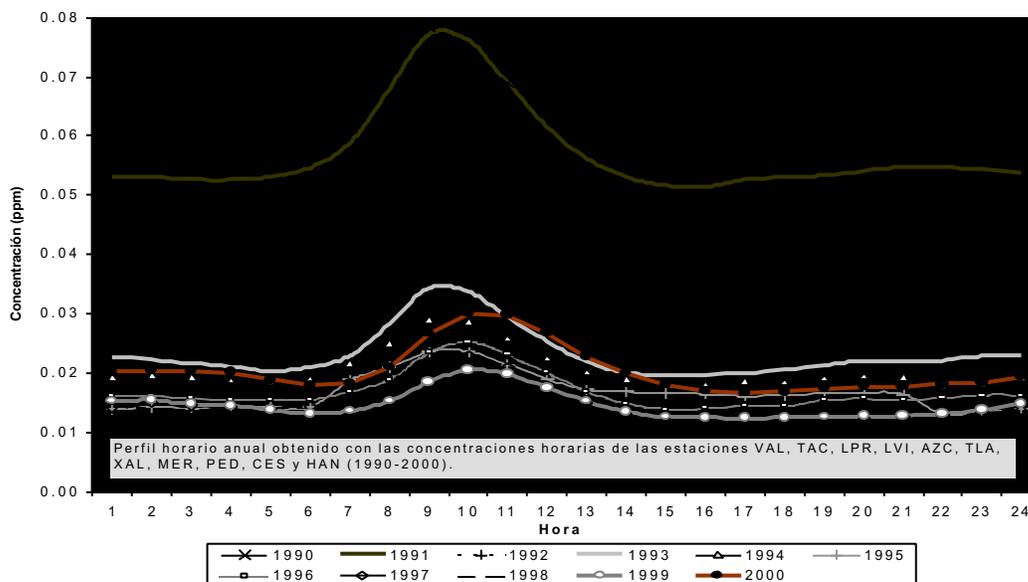
5.5.2 SELECCIÓN DE ESTACIONES REPRESENTATIVAS

Para evaluar la tendencia del SO₂ se obtuvieron los indicadores del comportamiento diario e indicadores generales con la información de las estaciones de monitoreo Vallejo (VAL), Tacuba (TAC), La Presa (LPR), La Villa (LVI), Azcapotzalco (AZC), Tlalnepantla (TLA), Xalostoc (XAL), Merced (MER), Pedregal (PED), Cerro de la Estrella (CES) y Hangares (HAN). Para evaluar la calidad del aire con respecto al SO₂ se considera el número de días al año que se registran valores por arriba de la norma de 0.13 ppm, como promedio de 24 horas.

5.5.3 COMPORTAMIENTO HORARIO DEL SO₂

El comportamiento horario del SO₂ en la ZMVM se relaciona estrechamente con las actividades económicas, su incremento inicia a partir de las 5:00 horas y sus concentraciones más altas se registran alrededor de las 10:00 horas. En la Figura 18 se observa la evolución de este comportamiento de 1990 a 2000, el cual tiene un decremento sustancial después de 1992 y continua disminuyendo gradualmente hasta 1999, ya que en el año 2000 se presentó un aumento en el promedio por hora a lo largo del día, lo que sugiere un aumento general de este contaminante y no solo la presencia de eventos extraordinarios.

Figura 18. Comportamiento horario del bióxido de azufre en la ZMVM (1990-2000).

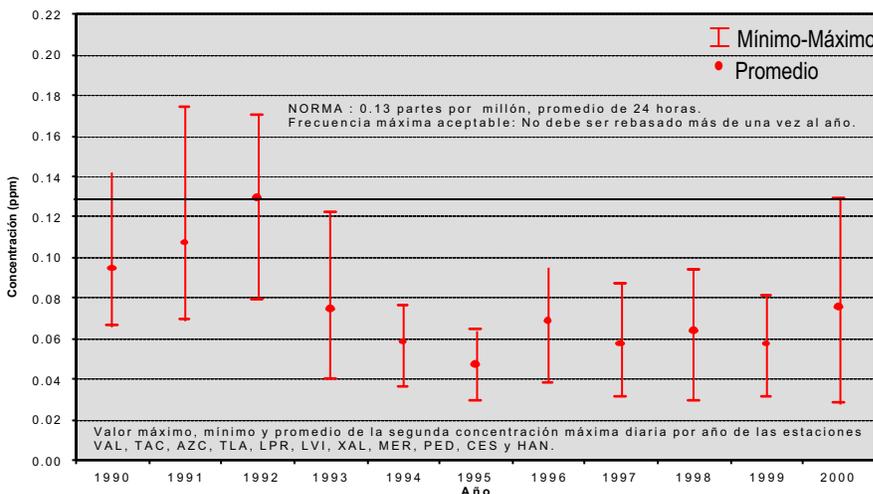


5.5.4 ESTADÍSTICAS GENERALES DEL SO₂

Las estadísticas generales del SO₂ señalan una tendencia semejante a la del comportamiento horario, es decir, un decremento significativo entre 1992 y 1993, seguido de una lenta disminución hasta 1999 y un incremento en el año 2000 (Figuras 19 y 20).

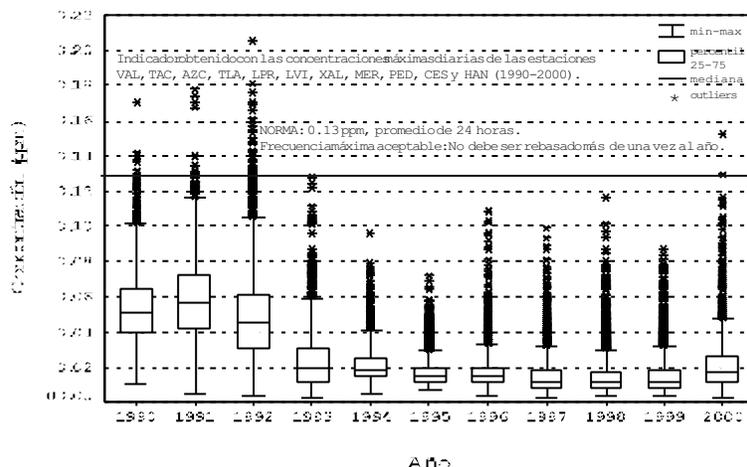
La norma de protección a la salud para SO₂ señala que puede rebasarse una vez al año una concentración de 0.130 ppm, como promedio de 24 horas. El comportamiento del indicador de la segunda concentración máxima anual en la gráfica 19, indica que las concentraciones altas de este contaminante registradas en el año 2000, no ocurrieron como eventos extraordinarios, por lo que la concentración máxima registrada en este indicador es cercana al valor normado.

Figura 19. Tendencia del bióxido de azufre en la ZMVM
Segunda concentración máxima anual (1990-2000).



El análisis de tendencia con el percentil 75 y la mediana, indican de manera más clara el aumento del SO₂ en el año 2000. La concentración que se observa por arriba de la norma de 0.130 ppm, promedio de 24 horas, ocurrió en la estación TLA de la zona noroeste (Figura 20).

Figura 20. Tendencia del bióxido de azufre en la ZMVM (1990-2000).



Otra forma de evaluar la tendencia que ha presentado este contaminante en la última década, es por medio del valor normado para exposición crónica, el cuál define una concentración de 0.030 ppm como media aritmética anual de las concentraciones horarias, que no debe excederse para brindar protección de la salud de la población susceptible.

En la Tabla 12 se muestra que al evaluar este criterio en la última década para las 5 estaciones representativas de la ZMVM, durante el periodo 1993 - 1999 todas tuvieron valores aceptables y que en el año 2000 hay un aumento importante en 3 de las 5 estaciones, de las cuales TLA y XAL están en el límite normado.

Tabla 12. Promedio anual de las concentraciones horarias de SO₂ en las 5 estaciones representativas de la ZMVM (1990-2000).

Año	TLA	XAL	MER	PED	CES
1990	0.050	0.060	0.069	0.050	0.040
1991	0.037	0.076	0.077	0.055	0.046
1992	0.054	0.072	0.046	0.041	0.034
1993	0.022	0.027	0.024	0.013	0.018
1994	0.023	0.024	0.019	0.015	0.017
1995	0.016	0.017	0.015	0.014	0.013
1996	0.018	0.020	0.020	0.012	0.013
1997	0.020	0.019	0.014	0.010	0.013
1998	0.018	0.018	0.017	0.010	0.013
1999	0.016	0.017	0.019	0.011	0.012
2000	0.030	0.029	0.024	0.010	0.018

5.5.5 TENDENCIA DEL SO₂ EN ESTACIONES DE LA ZMVM

El análisis de tendencia con la prueba de Mann-Kendall, indica que en las 5 estaciones representativas de las 5 zonas, hay una tendencia decreciente en el periodo 1990 – 2000, siendo más notable la reducción del 111% en la estación CES, en tanto que la estación TLA de la región norte tuvo el menor decremento con 39% (ver Tabla 13).

Los resultados de este análisis para el periodo 1995 - 2000 en que operó el PROAIRE, indican que las estaciones CES, PED y MER, al no presentar tendencia tienen un comportamiento estable lo cual indica que las acciones instrumentadas en los primeros 5 años de esta década, influyeron en la reducción de este contaminante en la atmósfera y que las acciones llevadas a cabo con el PROAIRE permitieron mantenerlo en niveles satisfactorios para la salud.

En el caso de las estaciones TLA y XAL de la región norte, el análisis de tendencia señala un incremento importante. Al equiparar este aumento en términos del IMECA, en la estación TLA la tendencia aumenta de 28 a 38 puntos IMECA en este periodo, en tanto que en XAL aumenta de 21 a 44 puntos.

Tabla 13. Prueba de tendencia de Mann-Kendall para bióxido de azufre (SO₂) en la ZMVM. Periodos 1990 a 2000; 1995 a 2000

Periodo 1990 a 2000 (nivel de confianza 90%)	CES	MER	PED	TLA	XAL
Presenta Tendencia	SI	SI	SI	SI	SI
Tasa instantánea de cambio	- 0.003	- 0.005	- 0.004	- 0.002	- 0.007
Concentraciones estimadas al inicio y al <i>final</i> del periodo (ppm)*	0.072 , -0.008	0.072 , 0.0219	0.049 , 0.007	0.061 , 0.037	0.094 , 0.027
Porcentaje de decremento del periodo 1990-2000	- 111%	- 70%	- 85%	- 39%	- 71%
Periodo 1995 a 2000 (nivel de confianza 90%)	CES	MER	PED	TLA	XAL
Presenta Tendencia	NO	NO	NO	SI	SI
Tasa instantánea de cambio	---	---	---	+ 0.003	+ 0.006
Concentraciones estimadas al inicio y al <i>final</i> del periodo (ppm)*	---	---	---	0.036 , 0.049	0.027 , 0.057
Porcentaje de decremento del periodo 1995-2000	---	---	---	+ 37%	+ 112%

*La pendiente se estima por el método de Sen's y a partir de esta se obtienen las concentraciones estimadas de cada periodo de tiempo seleccionado

5.5.6 CONCLUSIONES

Con base en la información que arroja este análisis de tendencia, se puede señalar que después de la instrumentación del PROAIRE, se ha logrado controlar al SO₂ en niveles aceptables para la salud humana, de manera que las estaciones que representan al centro y sur de la ZMVM no presentan tendencia entre 1995 y el año 2000 y son las que mejores niveles de protección de la salud de la población susceptible brindan.

Por su parte, los resultados para la región norte de la ZMVM en el año 2000 son una señal de alerta ya que el aumento de este contaminante, como se mencionó anteriormente, se observa en todas las horas del día y los resultados de la mediana, el percentil 75 y la norma anual de exposición, indican la presencia de concentraciones más altas que se registran cotidianamente. El análisis de tendencia refuerza estas conclusiones, ya que a pesar de que la tasa de cambio puede definirse como "baja" para las estaciones de esta región, los niveles de SO₂ son tan bajos que cualquier cambio por ligero que sea define cambios sustanciales en la tendencia.

Cabe señalar que en los últimos 20 días del año 2000 se presentaron eventos extraordinarios de emisión, cuando en 7 ocasiones las concentraciones de la estación TLA sobrepasaron 0.200 ppm, 4 de las cuales ocurrieron entre las 9:00 y 11:00 de la mañana y los 3 restantes entre las 21:00 y 01:00 horas. Esta situación pudo deberse al uso de combustibles con alto contenido de azufre como el combustóleo, por algunas empresas que lo emplearon debido al incremento del precio en el gas natural a finales del año 2000.

5.6 PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS (PM₁₀)

5.6.1 ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE (IMECA) DE PM₁₀

Este contaminante, al igual que el ozono, representa uno de los principales problemas de contaminación del aire en la ZMVM. De acuerdo con la información que se difunde diariamente al público mediante el IMECA, el periodo con niveles históricos más altos de PM₁₀ ocurrió entre 1996 y 1998, cuando se rebasó con mayor frecuencia el límite normado de 150 µg/m³, como promedio móvil de 24 horas. En contraste, 1999 parece ser el año más limpio de estos cinco años, ya que solo en el 5% de días (20 días) se rebasó el valor mencionado (Tabla 14).

En el año 2000 la presencia de concentraciones en el intervalo mayor a 150 y hasta 300 µg/m³, (equivalentes a 101 y 175 puntos del IMECA), represento el 12% (45 días) de los días del año. En 3 días de estos días se presentaron concentraciones superiores a 300 µg/m³, las cuales se registraron en la estación Tláhuac de la zona sureste, por lo que fue necesario instrumentar el PCAA durante 3 días (30 de enero al 1º de febrero). En el anexo 3 se presenta un listado de la activación del PCAA debido a niveles elevados de PM₁₀.

Tabla 14. Distribución de la información de la ZMVM que se difunde diariamente mediante el IMECA del PM₁₀ de 1995 a 2000.

Intervalo de concentraciones (promedio móvil de 24 hrs) µg/m ³	IMECA	1995	1996	1997	1998	1999	2000
(0-50]	0 – 50	5	6	0	7	42	24
(50-150]	51 – 100	268	180	212	169	303	297
(150-300]	101 – 175	92	178	148	184	20	42
>300	>175	0	2	5	5	0	3
Total de días		365	366	365	365	365	366
Total > 150 µg/m ³ (como promedio móvil de 24 horas)		92	180	153	189	20	45
% total > 150 µg/m ³ (como promedio móvil de 24 horas)		25	49	42	52	5	12

(–significa todos los valores que sean mayores a.] –significa todos los valores hasta tomar este valor

Elaborado con la información de las estaciones: EAC, TLA, TLI, LVI, SAG, VIF, XAL, HAN, MER, PED, PLA, SUR, CES, TAH, TAX.

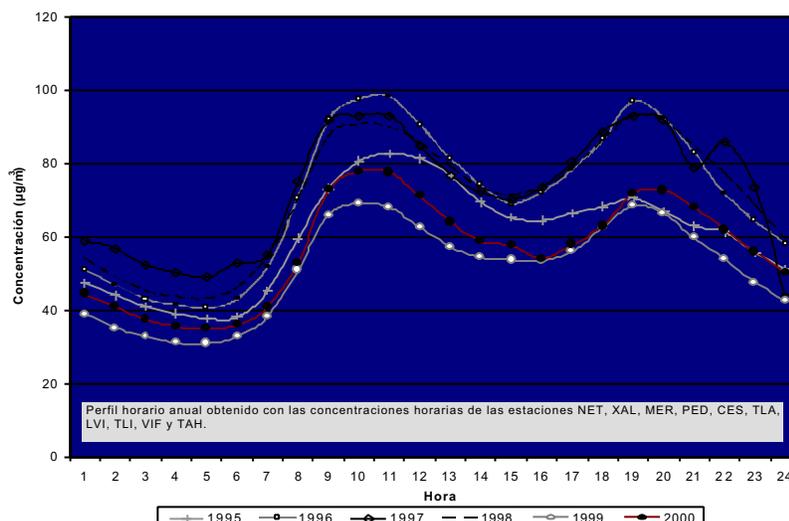
5.6.2 SELECCIÓN DE ESTACIONES REPRESENTATIVAS

Los indicadores del comportamiento horario e indicadores generales de las PM₁₀, se obtuvieron con información de las estaciones Xalostoc (XAL), Merced (MER), Pedregal (PED), Cerro de la Estrella (CES), Netzahualcoyotl (NET), La Villa (LVI), Tlalnepantla (TLA), Tultitlán (TLI), Villa de las Flores (VIF) y Tláhuac (TAH). Para evaluar la calidad del aire con respecto a las PM₁₀ se considera el número de veces que se registran valores por arriba de la norma de 150 µg/m³, como promedio de 24 horas.

5.6.3 COMPORTAMIENTO HORARIO DE LAS PM₁₀

El comportamiento horario de las PM₁₀ en la ZMVM muestra el perfil de concentraciones durante 24 horas, con periodos de incremento por la mañana y tarde que corresponden con las actividades antropogénicas principalmente. La evolución en el tiempo de este patrón permite corroborar la descripción del apartado anterior, con los niveles más altos entre 1996 y 1998, 1999 como el año con los niveles más bajos y un repunte en el año 2000 (Figura 21).

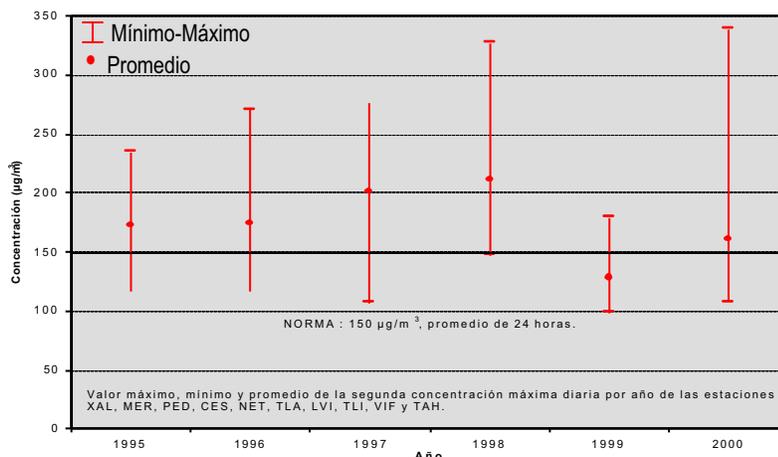
Figura 21. Comportamiento horario de las PM₁₀ en la ZMVM (1995-2000).



5.6.4 ESTADÍSTICAS GENERALES DE LAS PM₁₀

El comportamiento de las PM₁₀ mediante el indicador de la segunda concentración máxima anual, muestra también el patrón definido anteriormente (1999 con los valores más bajos y un repunte en el año 2000). En este análisis destaca que el valor de este indicador en 1999 está por debajo del valor que marca la norma de protección a la salud de 150 µg/m³, como promedio de 24 horas, y solo presentó un valor extremo que supera la norma. Cabe mencionar que el aumento que presentó este indicador en el año 2000 refleja la influencia de eventos críticos en algunas estaciones, ya que el valor promedio del indicador fue de 161 µg/m³ y el valor máximo fue de 339 µg/m³ (Figura 22).

Figura 22. Tendencia de las PM₁₀ en la ZMVM Segunda concentración máxima anual (1995-2000).



El análisis de tendencia de las PM₁₀ en las tres épocas climáticas, muestra que en la época de lluvias y seca-fría se ha presentado un decremento generalizado en los últimos 4 años. De acuerdo con estos resultados, el aumento de los niveles de PM₁₀ en 1998 solo se presenta en la época seca-caliente, lo que se asocia con el gran número de incendios forestales que se presentaron en el país en este año (Figuras 23, 24 y 25).

Las PM₁₀ representan un mayor problema para la ZMVM en las épocas seca-caliente y la seca-fría. En el año 2000 las concentraciones máximas de ambas épocas fueron similares, de acuerdo con el percentil 75 y la mediana; la diferencia entre éstas épocas se presenta en las concentraciones extremas o atípicas (outliers), que son más frecuentes en la época

seca-fría. En esta época se presentaron en 19 ocasiones excedencias a la norma de salud en el año 2000, la mayoría de éstas se presentaron en las zonas noreste y sureste, inclusive 17 de éstas corresponden a eventos registrados en la estación XAL.

Como sucede con el resto de los contaminantes criterio, en la época de lluvias disminuyen considerablemente los niveles de PM₁₀ debido a la humedad y al lavado atmosférico, su influencia en los dos últimos años motivó que no se rebasara la norma correspondiente en esta época del año.

Tendencia de PM₁₀ en la ZMVM por época climática (1995-2000).

Figura 23. Época seca-caliente (marzo a mayo).

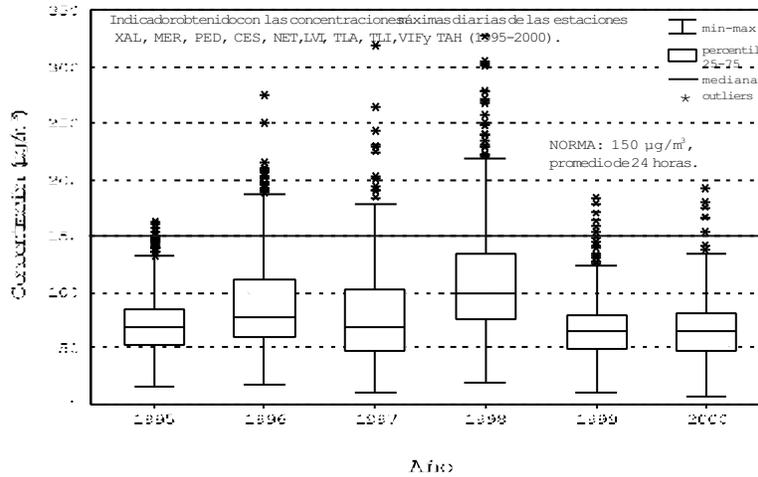


Figura 24. Época de lluvias (junio a octubre).

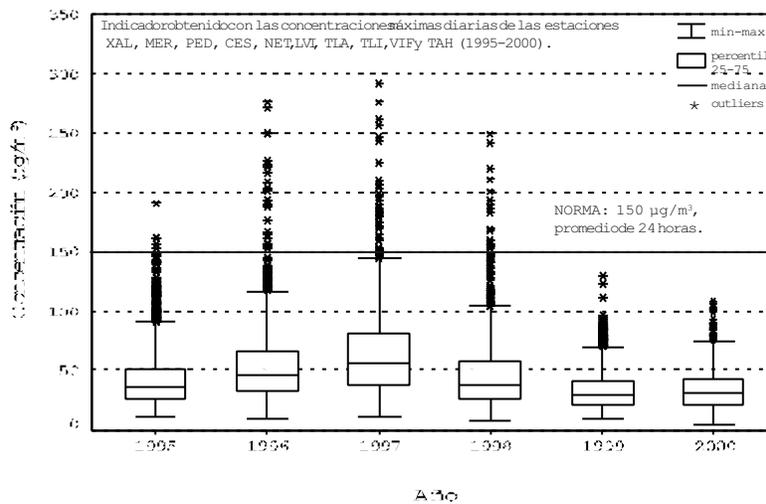
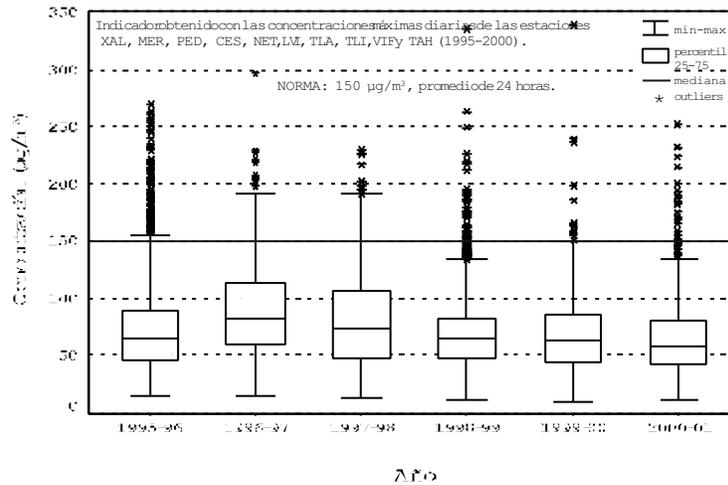


Figura 25. Época seca-fría (noviembre a febrero).



5.6.5 TENDENCIA DE LAS PM₁₀ EN ESTACIONES DE LA ZMVM

Los resultados del análisis de tendencia con el método de Mann-Kendall (Tabla 15), señalan la ausencia de tendencia en las regiones sur y centro, considerando la información de las estaciones CES, MER y PED de la ZMVM durante el periodo 1995–2000. Por su parte, las estaciones TLA y XAL que representan a la región norte, presentaron un decremento porcentual del 38% en ese mismo periodo, en el caso de XAL este decremento implicó que el percentil 95 disminuyera de 165 a 102 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en términos del IMECA equivaldría a una reducción de 108 a 76 puntos.

Este análisis sugiere que los niveles de PM₁₀ de la ZMVM se han reducido en la región norte, mientras que en las regiones sur y centro se mantienen prácticamente igual desde 1995. Es importante destacar que a pesar de los eventos ocurridos en 1998, estos no interfieren en la tendencia de las estaciones que representan a las regiones sur y centro, además de que los eventos extraordinarios o atípicos ocurren en mayor proporción en la región norte.

Tabla 15. Prueba de tendencia de Mann-Kendall para Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) en la ZMVM (por estación) de 1995 a 2000

Periodo 1995 a 2000 (nivel de confianza 90%)	CES	MER	PED	TLA	XAL
Presenta Tendencia	NO	NO	NO	SI	SI
Tasa instantánea de cambio	---	---	---	- 9.225	- 12.667
Concentración estimada al inicio y al final del periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	---	---	---	121 , 76	165 , 102
Porcentaje de decremento del periodo 1995-2000	---	---	---	- 38%	- 38%

*La pendiente se estima por el método de Sen's y a partir de esta se obtienen las concentraciones estimadas de cada periodo de tiempo seleccionado

5.6.6 CONCLUSIONES

A pesar de que en el año 2000 se observa un aumento en el valor de algunos indicadores de las PM₁₀, esta situación puede asociarse con eventos locales y temporales específicos, lo cual se observó en el análisis de frecuencias del IMECA y del comportamiento del indicador de la segunda concentración máxima anual, con las concentraciones de PM₁₀ registradas en la estación Tláhuac de la zona sureste. Estos eventos motivaron inclusive que se aplicara el PCAA durante 3 días.

Este aumento también se observa en el análisis de comportamiento horario de las PM₁₀, alrededor del medio día y por la tarde, lo que sugiere que el aumento se registró en la mayoría de las horas del día.

Estos resultados, en asociación con los encontrados con el análisis temporal, indican que durante el año 2000 las concentraciones extremas de las PM₁₀ predominaron en la época seca-fría. La otra época del año en que se presentan

niveles altos de este contaminante es la época seca-caliente, de hecho en ambas épocas se presentaron 19 excedencias a la norma de salud, la mayoría de éstas se presentaron en las zonas noreste y sureste.

No obstante este aumento en el año 2000, el comportamiento de las PM₁₀ en los 6 años de monitoreo, a pesar de presentar fluctuaciones, indica disminuciones paulatinas a lo largo del período. Esto es más notable en el análisis por épocas climáticas, siendo la época de lluvias el período del año donde no se registran violaciones a la norma en los últimos 2 años, en tanto que en las épocas seca-caliente y seca-fría estas excedencias a la norma ocurren cada vez más como eventos atípicos.

Aunado a lo anterior, el análisis de tendencia con el método de Mann-Kendall mostró que en las estaciones de las zonas sur y centro no se presentó tendencia durante el periodo de 1995 al 2000; mientras que las estaciones TLA y XAL de la zona norte, tuvieron un decremento del 38%.

Estos resultados sugieren que las PM₁₀ están presentando niveles estables en las zonas centro y sur, en tanto que en las zona norte, donde representan un mayor problema, han tenido una disminución paulatina en los 6 años de monitoreo. Por otra parte, los eventos extraordinarios de contaminación por PM₁₀ son cada vez más atípicos. En el caso de la estación TAH, donde se registraron las concentraciones que motivaron la contingencia del año 2000, ésta se encuentra rodeada de terrenos de cultivo y que en esta época del año no se trabajan.

Cabe señalar que en estos 6 años de análisis las concentraciones registradas en 1998, cuando se rebasó con mayor frecuencia el límite de 150 µg/m³, como promedio de 24 horas, se debieron al gran número de incendios que se registraron en todo el país. Por su parte, 1999 se reconoce como el año donde los niveles de PM₁₀ fueron los más bajos del período de monitoreo.

6. RED MANUAL DE MONITOREO ATMOSFÉRICO (REDMA)

6.1 INDICADORES DE TENDENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE

6.1.1 SELECCIÓN DE ESTACIONES

Los indicadores de la Calidad del Aire de los contaminantes que mide la REDMA consideran las estaciones Tlalnepantla (TLA), Xalostoc (XAL), Merced (MER), Pedregal (PED) y Cerro de la Estrella (CES). Estas estaciones cuentan con el mejor desempeño histórico, ya que cuentan con más años de operación y más del 75% de muestreos al año.

Cada una de estas estaciones representa a la zona donde se localiza, lo que permite evaluar la tendencia de las Partículas Suspensas Totales (PST), Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) y el Plomo (Pb) en cada una de éstas y al mismo tiempo evaluar respecto de las normas de protección a la salud de estos contaminantes, que tienen una periodicidad anual o trimestral.

6.1.2 INDICADORES GENERALES

Un Indicador General es un parámetro que permite evaluar el estado de Calidad del Aire respecto de un fenómeno de contaminación específico. En este informe se emplean diferentes parámetros estadísticos (mediana, percentil 75 y percentil 25) como indicadores generales de tendencia, además de los promedios periódicos que hace referencia a las normas de protección a la salud de este tipo de contaminantes.

6.1.3 INDICADOR ESPACIAL

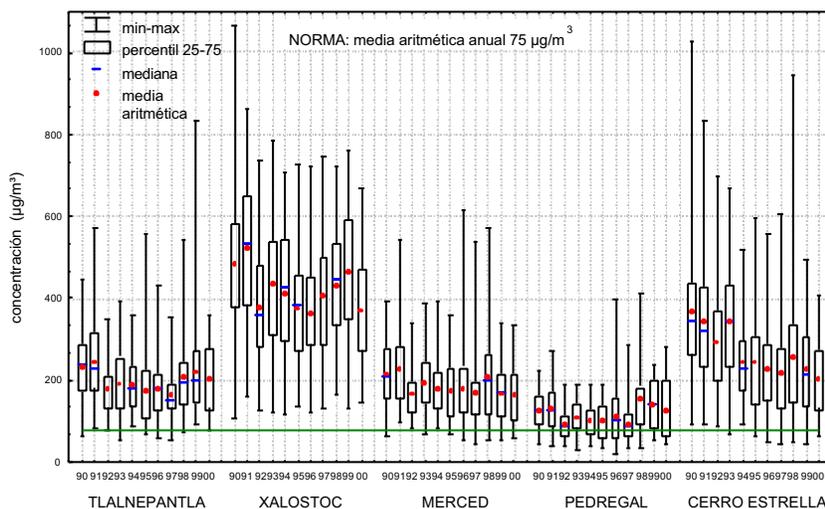
En este informe se emplea como *Indicador de Distribución Espacial* de PM₁₀ el promedio anual de los muestreos de concentraciones de cada estación de muestreo. Este indicador permite identificar con mayor detalle las áreas de riesgo en la ZMVM, para su presentación en mapas se emplean métodos de interpolación.

6.2 TENDENCIA DE LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST)

El análisis de tendencia de las PST en las estaciones seleccionadas, indica que la norma anual de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como media aritmética anual, se rebasa desde 1990 en las 5 zonas de la ZMVM. Lo anterior a pesar del decremento paulatino de las concentraciones de PST que desde 1998 presentan las estaciones que representan a las zonas sureste, suroeste y centro.

Sobresale en el análisis de PST que después de 1995 la media aritmética, el percentil 75, el percentil 25 y la mediana tuvieron un incremento en todas las zonas, sin embargo los valores de las medias aritméticas en el año 2000 registraron un decremento. En el caso de la estación XAL que representa a la zona noreste, el valor de la media supera los 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en algunos años y es notable el patrón ascendente de 1996 a 1999 (Figura 26).

Figura 26. Tendencia histórica de PST en la ZMVM (1990-2000).

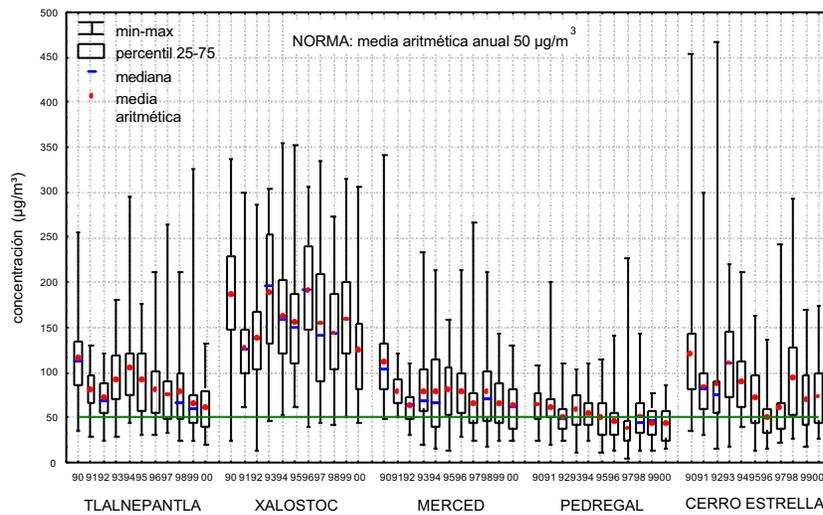


6.3 TENDENCIA DE LAS PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS (PM₁₀)

El análisis de tendencia de las PM₁₀ de los muestreadores manuales indica decrementos paulatinos en la mayoría de las zonas de la ZMVM desde 1996 cuando se instrumentó el PROAIRE y hasta el año 2000, con excepción de la estación CES que representa a la zona noreste.

En el caso de la estación PED de la zona suroeste, es notable que desde 1996 no rebasa la norma anual de 50 µg/m³ como media aritmética anual. Al igual que las PST, las PM₁₀ que se registran en la estación XAL de la zona noreste, tienen históricamente los niveles más altos; sin embargo, el valor de la media y la mediana en el año 2000 son los más bajos de la década (Figura 27).

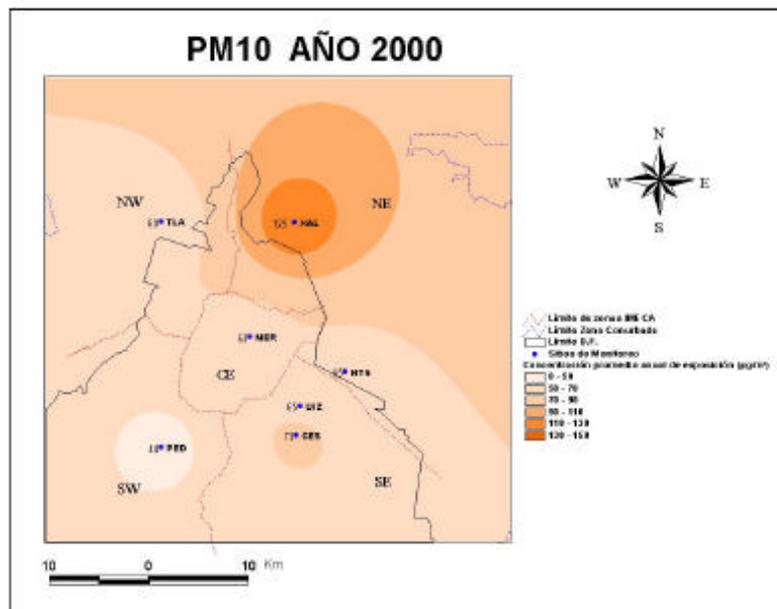
Figura 27. Tendencia histórica de PM₁₀ en el Valle de México (1990-2000).



6.3.1 INDICADOR ESPACIAL - PM₁₀

El Mapa 4 señala la distribución espacial del promedio anual de los muestreos de las PM₁₀ correspondiente al año 2000. Es notable que predominan los promedios anuales en el intervalo de 50 a 70 µg/m³ en la mayor parte de la ZMVM, siendo el área de mayor riesgo la zona noreste, donde el promedio anual de la estación XAL fue de 125 µg/m³ y la de menor riesgo el suroeste, donde la estación PED tuvo un promedio anual de 44 µg/m³.

Mapa 4. Distribución espacial de las PM₁₀ en la ZMVM (año 2000).



6.4 TENDENCIA DEL PLOMO (Pb)

La reducción del Pb en las gasolinas es una de las principales acciones a las que se atribuye la disminución de este contaminante en la atmósfera. En las Figuras 28 y 29, se observa que la tendencia del contenido de Pb en PST y PM₁₀, presenta el mismo patrón decreciente.

Con respecto a la norma de este contaminante, de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio trimestral, desde el primer trimestre de 1992 el contenido de este contaminante en las PST no supera este valor y se ha mantenido con muy poca variación entre 1995 y 1999, con valores en su mayoría por abajo de $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este comportamiento se interrumpió en el cuarto trimestre de 1999, cuando en la estación XAL de la zona noreste se incrementaron los niveles de este metal. Este tipo de eventos se asocia con el entorno de esta estación, donde el uso del suelo es principalmente industrial.

Figura 28. Tendencia histórica del plomo en PST en la ZMVM (1990-2000).

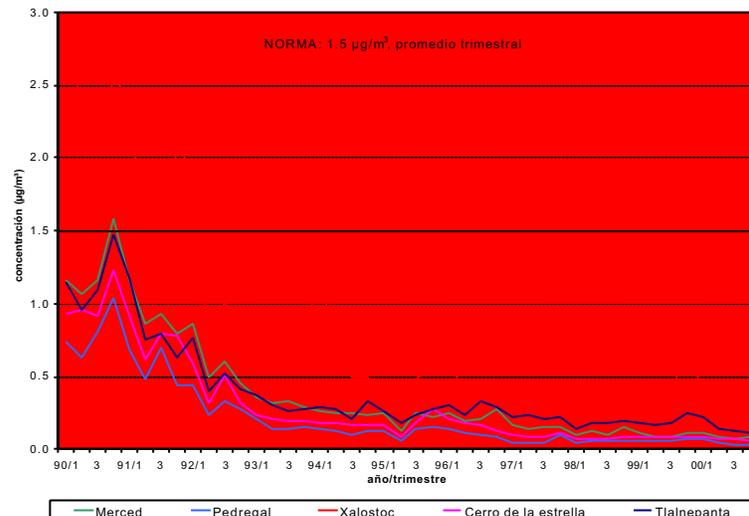
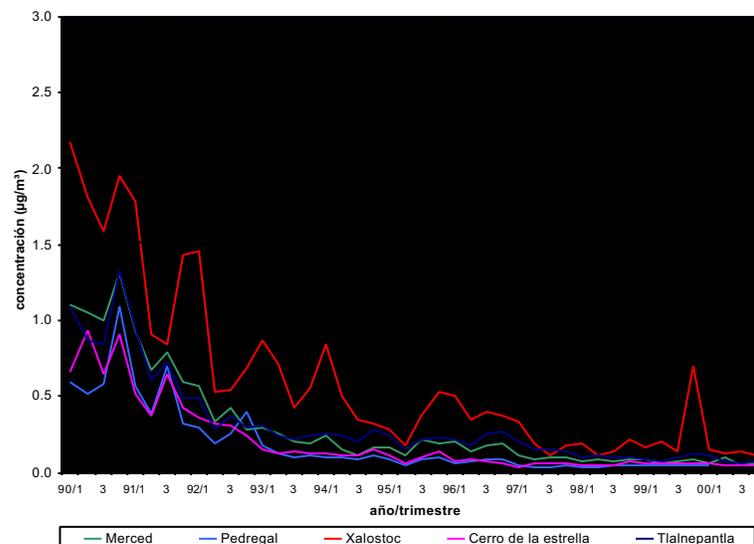


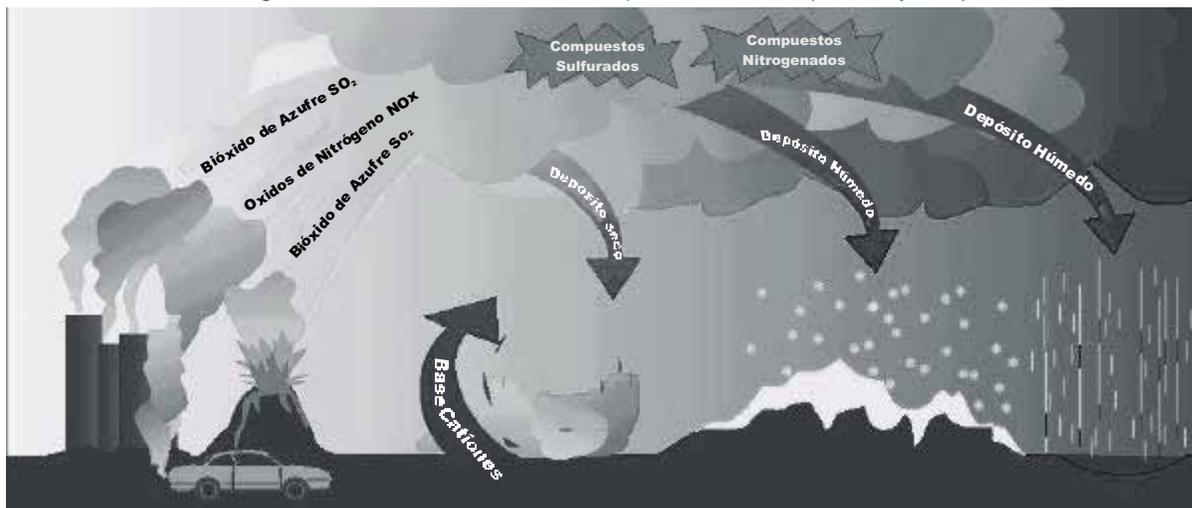
Figura 29. Tendencia histórica del plomo en PM₁₀ en la ZMVM (1990-2000).



7. RED DE DEPÓSITO ATMOSFÉRICO (REDDA)

El depósito atmosférico es el proceso por el cual las partículas, aerosoles, gases y todos aquellos compuestos que se encuentran en la atmósfera, generados por fuentes naturales (incendios forestales, volcanes y sal oceánica) o actividades antropogénicas (plantas termoeléctricas, vehículos automotores, fábricas y otras actividades humanas), se depositan de forma natural en la superficie terrestre (NADP, 1999. USEPA Office of Water, 2001).

Figura 30. Proceso de formación del depósito atmosférico (húmedo y seco)



Tomado de Inside Rain NADP, 1999

Algunos de los compuestos que se encuentran en la atmósfera sufren transformaciones que generan compuestos ácidos. Estos compuestos producen el depósito atmosférico ácido, llamado Precipitación Ácida o Lluvia Ácida (NADP, 1999). En condiciones normales el agua de lluvia presenta una ligera acidez (la cual se mide por medio del pH) causada por el ácido carbónico en la formación de las nubes; cuando la humedad atmosférica alcanza un equilibrio con el bióxido de carbono el valor de pH se encuentra entre 5.0 y 5.6 unidades (GDF, 2000).

Los óxidos de azufre (SOx) y los óxidos de nitrógeno (NOx), son compuestos generadores de la lluvia ácida, ya que se transforman en sulfatos y nitratos que al reaccionar con agua, oxígeno y algunos oxidantes, forman compuestos ácidos como el ácido sulfúrico (H₂SO₄) y el ácido nítrico (HNO₃) (USEPA Office of Water, 2001).

La lluvia es un mecanismo natural de limpieza de la atmósfera y tiene propiedades de acarreo únicas, por lo que la composición del agua de lluvia es un indicador útil de los niveles de contaminación ambiental. Entre los efectos de la precipitación ácida se encuentran la acidificación de lagos y arroyos; enriquecimiento de aguas costeras y cuencas de ríos que a la larga conducen a la eutrofización, agotamiento de nutrientes del suelo, destrucción de bosques susceptibles, daños de los cultivos agrícolas, impacto sobre la biodiversidad de los ecosistemas y daño en edificios, monumentos y esculturas, algunos de los cuales son parte de la herencia cultural de los países (USEPA, 1998; USEPA, 1999; GDF, 2000).

7.1 COMPOSICIÓN DE LA RED DE DEPÓSITO ATMOSFÉRICO

A través de la Red de Depósito Atmosférico (REDDA) es posible evaluar el fenómeno de "lluvia ácida" en la ZMVM. Este problema ambiental que afecta los ecosistemas ha recibido considerable atención en los últimos 20 años, particularmente en áreas con altos niveles de contaminación atmosférica (GDF, 2000).

La información que proporciona la REDDA permite evaluar indirectamente la eficacia de las medidas instrumentadas para prevenir y controlar las emisiones de los contaminantes precursores del depósito ácido atmosférico o lluvia ácida: el bióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NOx).

Actualmente la red cuenta con 16 sitios equipados con un muestreador automático de depósito atmosférico (húmedo y seco) y un pluviógrafo automático localizados en el área urbana, rural y de conservación ecológica de la ZMVM; cada una de estos sitios se caracteriza por tener diferentes tipos de vegetación, uso del suelo, microclima y otras características propias.

De los muestreos del depósito húmedo que se realizan en la ZMVM, se analizan los parámetros que tienen mayor representatividad química en el agua de lluvia. En la tabla 16 se describen brevemente estos parámetros.

Tabla 16. Parámetros analizados en el agua de lluvia

Parámetro	Función	Fuentes de origen	Precursor
Potencial de Hidrógeno (pH)	Nivel de acidez del agua o alcalinidad. Concentración de iones de hidrógeno en el agua (el agua de lluvia no contaminada tiene un pH de 5.6).		Cuando hay presencia de contaminantes el pH tiende a modificarse. La ligera acidez que presenta el agua de lluvia en condiciones normales es causada por la formación de ácido carbónico.
Conductancia específica (CE)	Es la capacidad del agua de conducir corriente debido a la presencia de iones en el agua de lluvia	Es una medida indirecta de la presencia de sólidos disueltos como cloruros, sulfatos, sodio, potasio, etc.	
Nitrato (NO ₃ ⁻)	Forma el ácido nítrico componente de la lluvia ácida	Flujo vehicular alto, emisión por industrias de fuente de área y fuentes naturales.	NOx
Sulfato (SO ₄ ⁼)	Forma el ácido sulfúrico componente de la lluvia ácida	Alta densidad industrial: industria química, alimenticia y de transformación, en menor proporción vehículos, fuentes naturales (actividad volcánica y biológica), incendios.	SO ₂ , H ₂ S, aerosoles de sulfato
Amonio (NH ₄ ⁺)	Neutralizador de los compuestos acidificantes en la atmósfera	Producción ganadera, uso de fertilizantes, procesos industriales (elaboración de alimentos y forrajes), en menor proporción por flujo vehicular, combustión de carbón, actividad bacteriana y de la respiración humana, materia en descomposición abundante en tiraderos a cielo abierto.	Amoniaco
Calcio (Ca ⁺⁺)	Neutraliza los compuestos ácidos de la lluvia	Erosión del suelo, origen natural en rocas silíceas.	Los suelos alcalinos
Magnesio (Mg ⁺⁺)	Neutraliza los compuestos ácidos de la lluvia	Erosión del suelo, origen natural en plantas, agua de mar y corteza terrestre.	Suelos ricos en magnesita y dolomita
Sodio (Na ⁺)	Neutraliza los compuestos ácidos de la lluvia	Erosión del suelo, polvos provenientes de la corteza terrestre.	Cloruro de Sodio
Potasio (K ⁺)	Neutraliza los compuestos ácidos de la lluvia	Erosión del suelo e incendios , polvos provenientes de la corteza terrestre.	Combustión de material vegetal.

7.2 INDICADORES

7.2.1 SELECCIÓN DE ESTACIONES

Los indicadores de depósito atmosférico de los contaminantes que se miden en la REDDA se obtuvieron con información de 5 estaciones representativas de la ZMVM: Cerro del Tepeyac (TEC) ubicada en la zona noreste, Tlalnepantla (TLA) de la zona noroeste, Plaza de Santa Catalina (PSC) de la zona centro, Centro de Educación Ambiental Acuexcómatl (CEA) de la zona sureste y Lomas (LOM) de la zona suroeste. Estas estaciones tienen un desempeño histórico adecuado y tienen más del 75% de determinaciones al año con su respectiva determinación de iones.

En este análisis se considera información del período de mayo a noviembre, cuando se presenta la mayor cantidad de eventos de lluvia en la ZMVM. En el caso de la estación de la zona centro, para el análisis de 1997 se utilizó la información

de la estación Museo de la Ciudad de México, de 1998 al 2000 se empleó la información de la estación RAMA (ubicada en la calle de Brasil 74), esta estación cambió de nombre en el año 2000, actualmente se conoce como estación Plaza de Santa Catarina (PSC). En el caso de la estación de la zona sureste, el análisis de 1997 se realizó con información de la estación Xochimilco (XCH), a partir de 1998 la información correspondió a la estación Centro de Educación Ambiental Acuexcómatl (CEA). Es importante señalar que entre el 45 y 60% de los muestreos de 1997 cuentan con determinaciones del ion amonio (NH_4^+).

7.2.2 INDICADORES GENERALES

En esta publicación el Indicador General se entiende como un parámetro que permite evaluar el estado de la calidad del aire respecto de los componentes del agua de lluvia. Como indicadores generales de tendencia se utilizan en este informe diferentes parámetros estadísticos (promedio ponderado mensual y anual, percentiles, deciles, máximo y mínimo).

7.2.3 INDICADOR ESPACIAL

Este indicador permite evaluar en el espacio el comportamiento de los parámetros del agua de lluvia e identificar con mayor detalle las áreas donde su valor es bajo, por lo que se visualiza mediante mapas. En el caso del pH, se emplea como indicador espacial al promedio ponderado (ver glosario) mensual de las 16 estaciones de monitoreo, para observar su comportamiento a lo largo de la temporada de lluvia. En el caso de los iones se emplea el promedio ponderado anual.

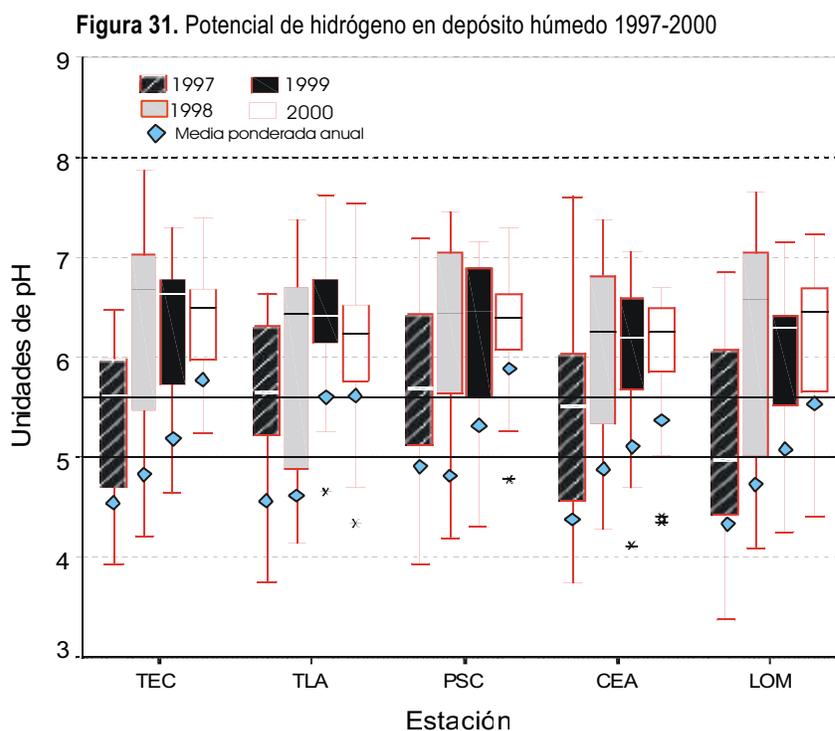
7.3 TENDENCIAS

7.3.1 ACIDEZ DEL AGUA DE LLUVIA (pH)

El promedio ponderado anual del pH como indicador de tendencia, muestra un comportamiento creciente de 1997 al 2000, en las cinco estaciones analizadas (Figura 31). En 1997 y 1998 sus valores se encontraron entre 4.0 y 5.0 unidades, que indican niveles ácidos, mientras que en los dos últimos años la mayoría de las estaciones tuvieron valores dentro del intervalo de 5.0 a 5.6 unidades.

Este aumento en los valores del pH también se observó en el comportamiento de la mediana, el percentil 25 y el percentil 75. Es importante mencionar que el año 2000 más del 75% de las muestras tomadas en estas estaciones, tuvieron valores con tendencia a la alcalinidad.

En el análisis comparativo de cada año, se observó que las estaciones localizadas hacia el sur de la ZMVM, presentan con mayor consistencia valores del pH con tendencia a la acidez. El caso más notable fue la estación LOM, que en 1997 tuvo en el 50% de los muestreos valores de pH por debajo de 5.0 unidades.



El agrupamiento de los valores de pH de los muestreos obtenidos en las 5 estaciones, muestra una tendencia a la alcalinidad el transcurso de los 4 años de evaluación. De 1997 al 2000 los muestreos con valores de pH por abajo de 5 unidades disminuyeron un 28%, mientras que en el intervalo de pH por arriba de 5.6 unidades, se incrementó un 36%. (Tabla 17).

Tabla 17. Intervalos de pH en la ZMVM (1997-2000).

	< 5		5-5.6		>5.6		Total
	# datos	%	# datos	%	# datos	%	
1997	37	33	21	19	53	48	111
1998	40	35	17	15	57	50	114
1999	10	8	13	10	110	83	133
2000	7	5	15	11	115	84	137

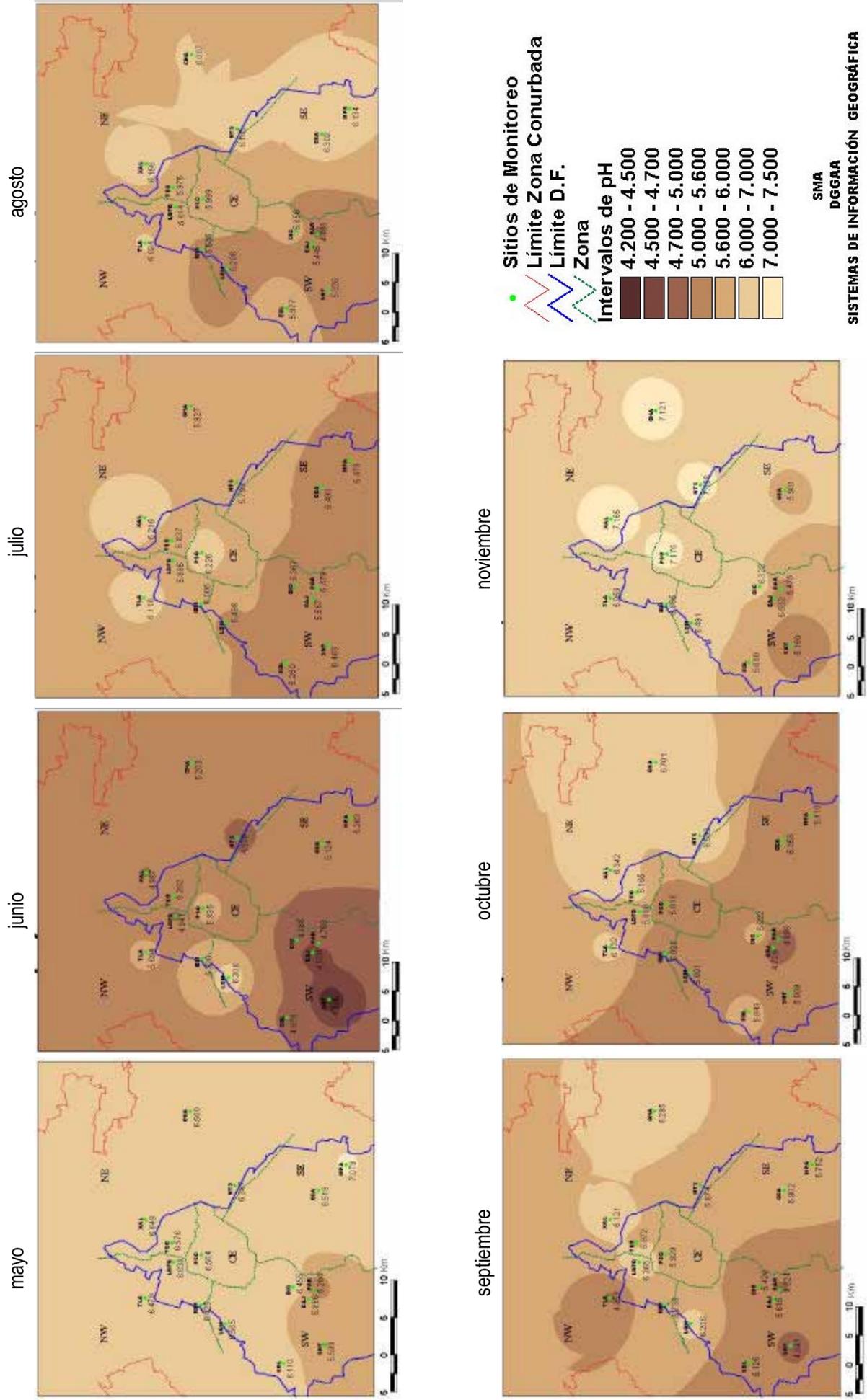
7.3.1.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ACIDEZ DEL AGUA DE LLUVIA (pH) – MAYO A NOVIEMBRE 2000

El análisis espacial del comportamiento del pH del año 2000 en la ZMVM, indica que al iniciar la temporada de lluvias se presentaron valores de pH alcalino y que al avanzar la temporada de lluvias los valores del pH tienden a la acidez.

Este fenómeno se explica porque en la época de sequías se acumulan concentraciones de cationes (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , NH_4^+) en la atmósfera (posiblemente derivados de la erosión de suelo), de manera que al iniciar la temporada de lluvias se propicia el lavado atmosférico de estos elementos, los cuales neutralizan los componentes ácidos del agua de lluvia (derivados de las industrias y fuentes móviles). Posteriormente, la presencia de aniones es mayor en la atmósfera y se incrementa la acidez del agua de lluvia. Al acercarse el fin de la temporada de lluvias (octubre-noviembre), nuevamente se incrementa la presencia de cationes en la atmósfera y los valores de pH tienden nuevamente a ser alcalinos (Mapa 5).

En este análisis también se observa que en la zona suroeste se presentaron los valores más ácidos, lo que se asocia al arrastre de aniones y una menor presencia de cationes. Cabe señalar que en esta región el tipo de suelo es ígneo, el cual es menos erosionable.

Mapa 5. Distribución mensual del pH del agua de lluvia de la ZMVM de mayo a noviembre del 2000.



7.3.2 ANIONES: NITRATO (NO_3^-) Y SULFATO (SO_4^{2-}).

El comportamiento de los nitratos y sulfatos durante el período 1997 a 2000, evaluado con la mediana, señala que al menos el 50% de los valores se mantienen por debajo de un umbral. En el caso del ion nitrato, el valor máximo que alcanzó la mediana en las 5 estaciones consideradas fue de 4.20 mg/l. Por su parte, en la mayoría de los años evaluados el ion sulfato tuvo una mediana cercana a 6 mg/l (Figuras 32 y 33).

Para ambos iones, fue característico que las determinaciones de los valores señalados tuvieran una mayor variación, lo cual se observa en las fluctuaciones del percentil 75 (75% de sus datos) a lo largo del período de análisis.

El estudio de Casimiro et al de 1991, donde evalúa la composición del agua de lluvia al oeste del Océano Atlántico desde el continente europeo, permite definir concentraciones de fondo, es decir, sitios donde el agua de lluvia sin contaminar tiene una concentración de NO_3^- de 0.2 mg/l y una concentración de SO_4^{2-} de 0.5 mg/l. En términos de comparación con los datos registrados en la ZMVM, indicaría que los niveles de NO_3^- que se registran en esta metrópoli superan en 10 o 24 veces los que se registran en sitios sin contaminación antropogénica, mientras que los niveles de SO_4^{2-} se superan de 8 a 18 veces.

Figura 32. NO_3^- en depósito húmedo 1997-2000

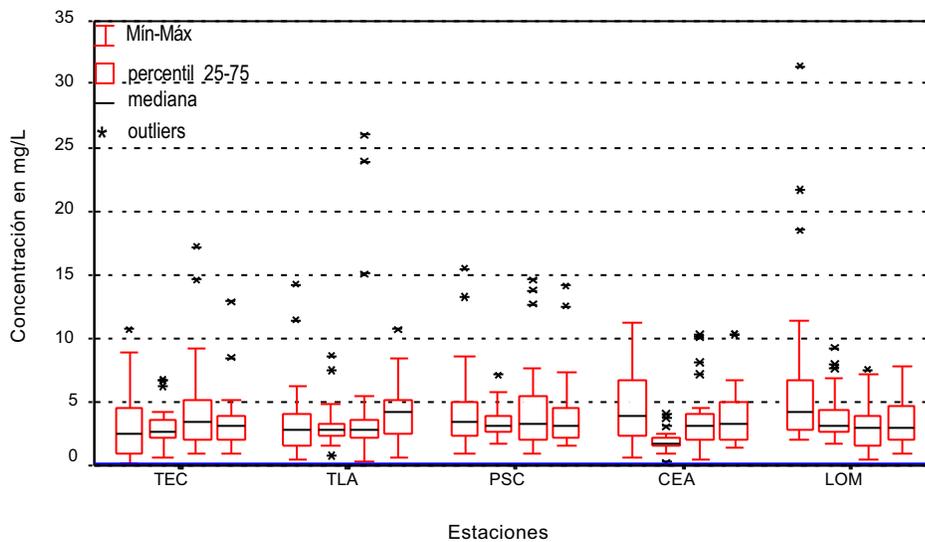
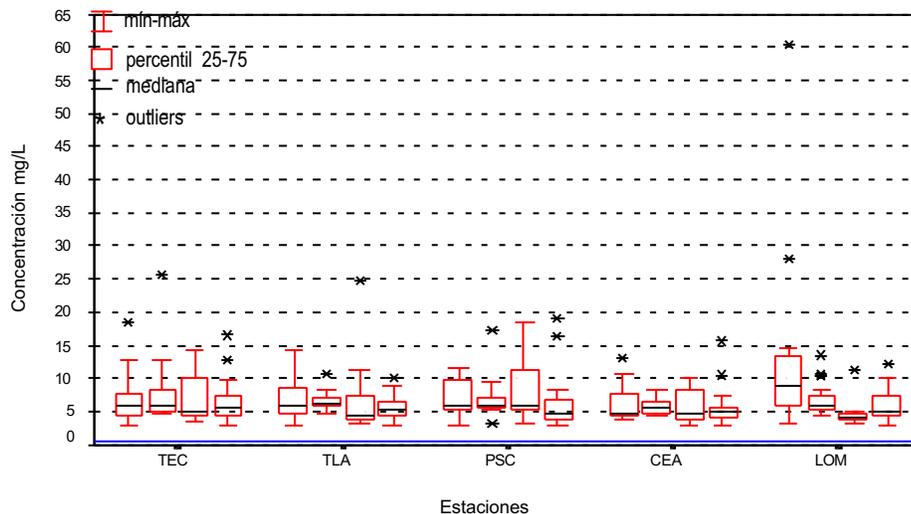


Figura 33. SO_4^{2-} en depósito húmedo 1997-2000



7.3.2.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL NITRATO (NO₃⁻) Y SULFATO (SO₄²⁻)

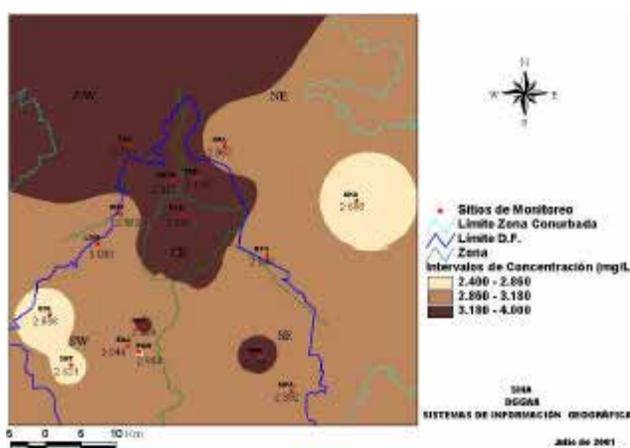
El análisis de la distribución espacial de los iones nitrato y sulfato en el año 2000, permite identificar las áreas de la ZMVM donde se registran los niveles más altos.

En el Mapa 6 de la distribución del ion nitrato, se observa que las zonas noroeste y centro tuvieron los niveles más altos de este ion. En algunas estaciones como DICONSA (DIC) de la zona suroeste y Centro de Educación Ambiental Acuexcómatl (CEA) de la zona sureste, se registraron niveles altos de este parámetro; sin embargo, estos niveles difirieron de los registrados en el resto de estas zonas.

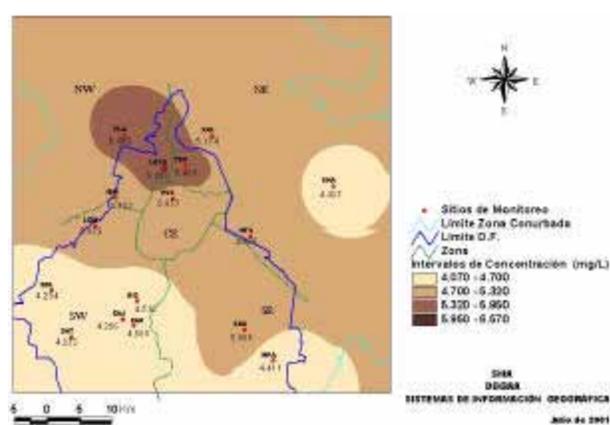
Por su parte, la distribución espacial del ion sulfato en el Mapa 7, señala que sus valores más altos se restringen a la zona norte de la ZMVM y que disminuyen gradualmente hacia el centro y el sur. Como se ha señalado anteriormente, el norte de la ZMVM concentra la mayor parte de las industrias.

Es notable que la estación Chapingo (CHA) tuvo niveles bajos de ambos iones, cuando en el resto de la zona noreste predominaron niveles altos. El entorno de este sitio se caracteriza por tener áreas rurales, residenciales y boscosas.

Mapa 6. Ion nitrato



Mapa 7. Ion sulfato



7.3.3 CATIONES AMONIO (NH₄⁺), CALCIO (Ca⁺⁺), MAGNESIO (Mg⁺⁺), SODIO (Na⁺) y POTASIO (K⁺).

En el análisis estadístico de cationes, se observó que las concentraciones de NH₄⁺, Ca⁺⁺, y Mg⁺⁺ por arriba del decil 80 aumentaron gradualmente en el periodo de 1997 al 2000 (Tablas 18-20). Esto significa que los niveles extremos de estos cationes aumentaron en el transcurso de estos años, en tanto que el 80% de las concentraciones restantes no tuvieron cambios considerables en su magnitud.

Tabla 18. Deciles del Ion Amonio (NH₄⁺) de las cinco estaciones de la ZMVM (1997-2000).

AÑO	Determinaciones	Faltantes	50	80	90	100
1997	58	53	1.26	1.93	2.41	3.61
1998	90	24	1.79	2.84	3.43	9.26
1999	83	50	1.32	2.21	2.72	5.53
2000	106	31	1.80	2.50	3.30	8.60

Tabla 19. Deciles del Ion Calcio (Ca⁺⁺) de las cinco estaciones de la ZMVM (1997-2000).

AÑO	Determinaciones	Faltantes	50	80	90	100
1997	103	8	1.11	2.07	3.16	10.72
1998	100	14	0.87	2.31	3.52	12.65
1999	114	19	1.21	3.94	9.03	18.57
2000	100	0	0.88	0.55	5.54	10.00

Tabla 20. Deciles del Ion Magnesio (Mg^{++}) de las cinco estaciones de la ZMVM (1997-2000).

AÑO	Determinaciones	Faltantes	50	80	90	100
1997	101	10	0.18	0.38	0.95	1.86
1998	100	14	0.13	0.29	0.51	1.55
1999	114	19	0.19	0.58	1.14	1.93
2000	130	7	0.15	0.39	1.03	2.47

Tabla 21. Deciles del Ion Sodio(Na^+) de las cinco estaciones en la ZMVM (1997-2000).

AÑO	Determinaciones	Faltantes	50	80	90	100
1997	103	8	0.42	0.79	1.79	5.41
1998	100	14	0.31	1.10	2.10	12.09
1999	111	22	0.52	2.27	3.57	7.53
2000	128	9	0.26	0.75	1.09	3.74

Tabla 22. Deciles del Ion Potasio (K^+) de las cinco estaciones de la ZMVM (1997-2000).

AÑO	Determinaciones	Faltantes	50	80	90	100
1997	100	11	0.16	0.40	0.57	1.65
1998	89	25	0.12	0.55	0.79	7.60
1999	109	24	0.22	1.03	1.67	4.00
2000	127	10	0.14	0.44	0.97	3.42

7.3.3.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL AMONIO (NH_4^+), CALCIO (Ca^{++}), MAGNESIO (Mg^{++}), SODIO (Na^+) y POTASIO (K^+).

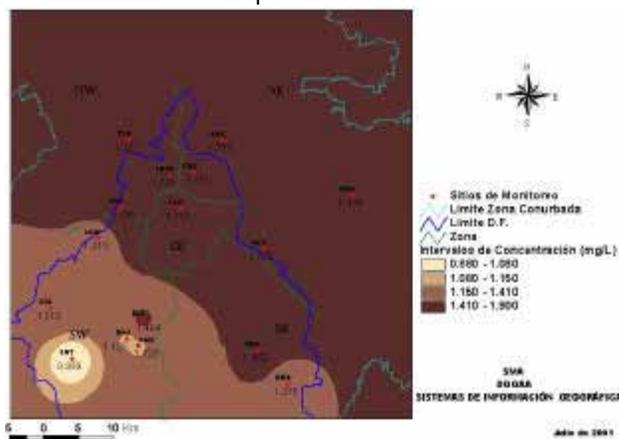
La distribución espacial del ion amonio durante el 2000, muestra un gradiente de concentración del noreste al suroeste, presentándose las concentraciones más altas en la zona norte. Esta situación puede asociarse con los drenajes y basureros a cielo abierto, por lo que cabría esperar un aporte significativo de estas fuentes en el norte de la Ciudad. En el caso de la estación CHA, su entorno rural justifica la presencia de niveles altos del amonio (Mapa 8).

La distribución espacial de los iones Mg^{++} , Na^+ , Ca^{++} y K^+ en el año 2000 permite identificar a las zonas norte y centro como las áreas con los niveles más altos. Esta situación se explica por la presencia de suelos en proceso de erosión y naturaleza del suelo, que es la principal fuente de emisión de este tipo de cationes en la ZMVM (Mapas 9 a 12).

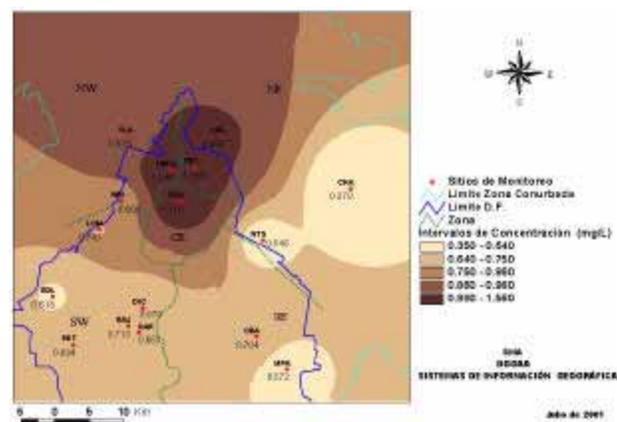
En los estudios de Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ, 1999), el Mg^{++} , Na^+ , Ca^{++} y K^+ en partículas finas se originan de procesos naturales como la erosión del suelo y polvos provenientes de la corteza terrestre, ya que los suelos predominantes en la ZMVM son alcalinos por su origen lacustre. En este trabajo se informa que el Ca^{++} y el K^+ en la zona sur, específicamente en las estaciones Tlalpan (TLA) y Pedregal (PED), también se originan de actividades humanas.

Distribución espacial de iones medidos en la ZMVM durante el 2000.

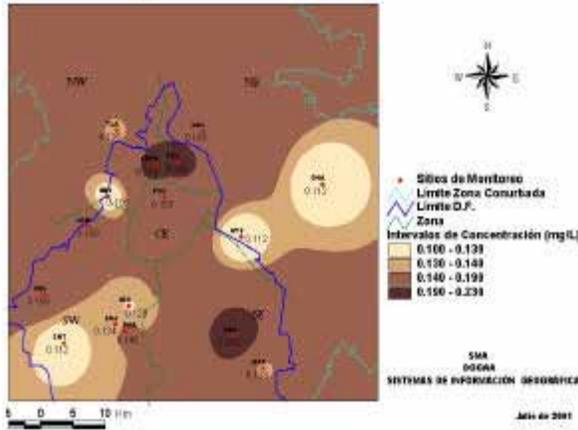
Mapa 8. Ion amonio



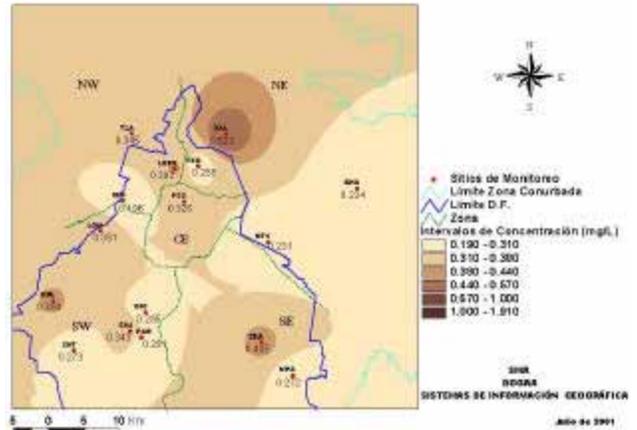
Mapa 9. Ion calcio



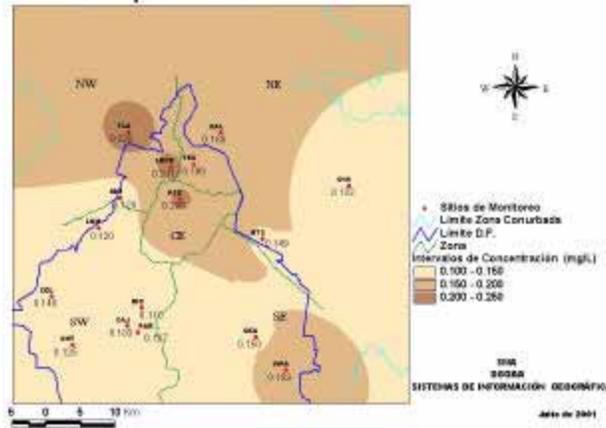
Mapa 10. Ion magnesio



Mapa 11. Ion sodio



Mapa 12. Ion potasio



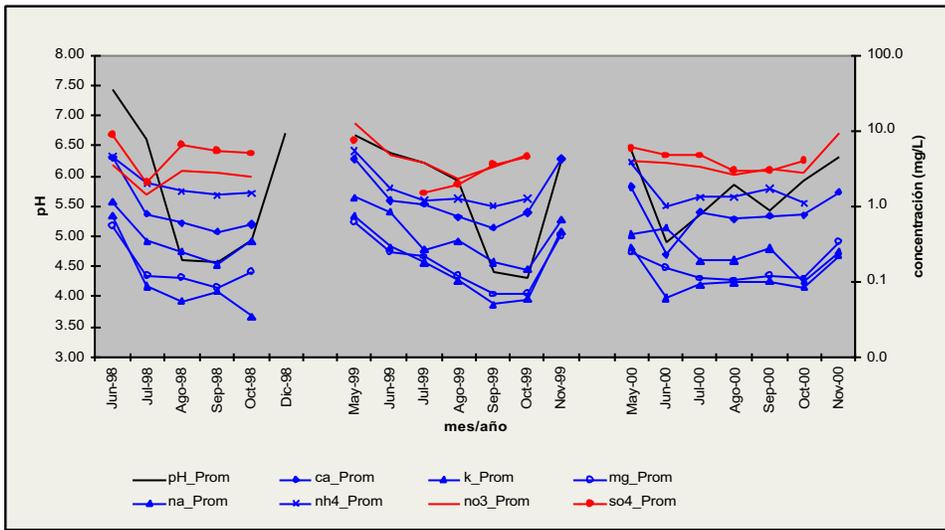
7.3.4 CORRELACIÓN ENTRE ANIONES Y CATIONES

En el análisis de correlación (Tabla 23), el pH del agua de lluvia presentó una correlación significativa con todos los cationes principalmente con Ca^{++} y K^+ , que estos pueden influenciar notablemente el balance iónico del agua de lluvia, sin embargo no se encontró correlación significativa con los aniones, lo que sugiere que los cationes neutralizan el efecto de los aniones en la acidificación del agua de lluvia. En las Figuras 34 y 35 se observa que al aumentar las concentraciones de cationes, el pH aumenta dando niveles alcalinos, y que al disminuir los cationes el pH disminuye, posiblemente no neutralizan a los aniones, dando como resultado un pH ácido. En las tablas de correlación de cada figura se observa como los cationes son los únicos que presentan una correlación significativa con el pH, tanto en la zona suroeste como en la noroeste. La alta correlación entre los cationes se debe al comportamiento químico de estos iones, además de su origen común, como son fuentes naturales (partículas con compuestos alcalinos).

Tabla 23. Matriz de correlaciones totales, no lineal (Spearman r, con un nivel de significancia > 95%), de mayo a noviembre del 2000

	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+	NH_4^+	NO_3^-	$\text{SO}_4^{=}$	pH
Ca^{++}	1.000	0.648	0.772	0.586	0.706	0.571	0.594	0.416
Mg^{++}		1.000	0.741	0.736	0.466	0.433	0.477	0.299
K^+			1.000	0.715	0.574	0.509	0.551	0.381
Na^+				1.000	0.407	0.402	0.385	0.270
NH_4^+					1.000	0.671	0.727	0.258
NO_3^-						1.000	0.708	*
$\text{SO}_4^{=}$							1.000	*
..								1.000

Figura 34. Promedios ponderados mensuales de la estación DIC

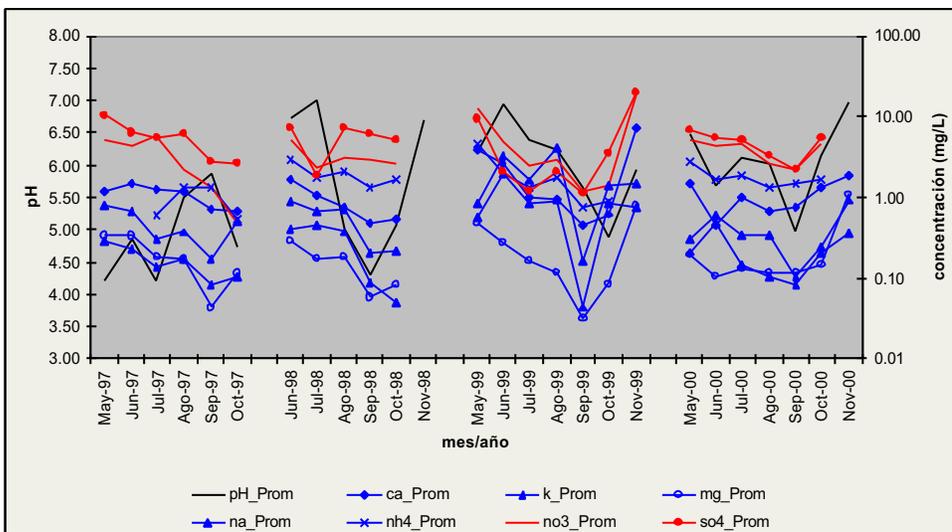


Tablas de correlación

Correlación de la estación DIC						
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	N
pH	0.633	0.622	0.609	0.572	0.333	

Correlación de la Zona Suroeste						
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	N
pH	0.472	0.419	0.391	0.335	0.354	

Figura 35. Promedios ponderados mensuales de la estación TLA



Tablas de correlación

Correlación de la estación TLA							
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼
pH	0.411	0.428	0.577	0.509	-	-	-

Correlación de la Zona Noroeste							
	Ca	Mg	K	Na	NH ₄	NO ₃	SO ₄
pH	0.548	0.545	0.564	0.470	0.291	-	-

7.4 CONCLUSIONES

En los últimos años el promedio ponderado anual del pH del agua de lluvia, se ha mantenido en el intervalo considerado como normal de agua de lluvia, lo que puede asociarse con una mayor presencia de cationes en la atmósfera y que neutralizan los efectos ácidos originados por nitratos y sulfatos. Esto se sustenta en el análisis de aniones, los cuales presentan entre 8 a 24 veces por arriba de concentraciones de fondo.

El suroeste es la zona que presenta el pH con niveles ácidos y que se asocia con el arrastre de partículas de la zona norte que es principalmente industrial, ya que los vientos predominantes en la ZMVM son del noreste con dirección al suroeste.

El análisis de correlación mostró una asociación positiva entre los cationes y pH, ya que al aumentar los cationes el pH tiende a ser alcalino y cuando disminuyen el pH tiende a la acidez. Los aniones tienen un comportamiento aparentemente estable, ya que no presentan una variación temporal importante.

8. Glosario

Aerotransportado: Que es transportado por el viento.

Alcalinidad: Desprendimiento de iones OH^- de una sustancia en solución, permitiendo la neutralización de sustancias ácidas.

Anión: Componente iónico en solución cuya disponibilidad de electrones es alta por lo que posee carga eléctrica negativa.

Biota: Perteneciente o relativo a la vida; que se refiere a las unidades orgánicas que componen la biosfera.

Bióxido de azufre: Gas incoloro, irritante para los ojos, las mucosas y las vías respiratorias. Es un contaminante que se produce como resultado de la combustión de combustibles que contienen cierta cantidad de azufre. En la atmósfera es capaz de oxidarse a SO_3 (trióxido de azufre o anhídrido sulfúrico) que a su vez puede reaccionar con el agua para dar ácido sulfúrico (H_2SO_4), uno de los componentes de la lluvia ácida. Fórmula SO_2 .

Bióxido de nitrógeno: Gas de color rojo oscuro que se produce en la combustión por oxidación del nitrógeno de la atmósfera y de compuestos nitrogenados el combustible. Es muy tóxico y uno de los gases generadores de lluvia ácida. Fórmula NO_2 .

Cadena alimenticia: Seriación de especies existentes en los ecosistemas a través de la cual se trasmite la energía. El conjunto de cadenas tróficas se llama **red alimentaria**.

Capa de ozono: Situada en las capas superiores de la atmósfera, entre 10 y 50 kilómetros de altura, registra las mayores concentraciones de ozono (molécula triatómica de oxígeno, O_3). El ozono absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta de origen solar, impidiendo que llegue a la superficie de la Tierra. Dado que esta radiación es mutagénica, el descubrimiento en los años ochenta de un «agujero» en la capa de ozono sobre la Antártida produjo la suficiente alarma como para que se propusieran limitaciones en la producción de sustancias de uso industrial como los clorofluorocarbonos (CFC), que se sabe son capaces de destruir el ozono.

Catalizador: Sustancia que acelera reacciones químicas sin intervenir en la composición de los productos.

Catión: Componente iónico en solución cuya disponibilidad de electrones es baja, por lo que posee carga eléctrica positiva.

Clima: Estado medio de las condiciones atmosféricas de una región. Los principales elementos del clima son la temperatura ambiente, las precipitaciones, la humedad relativa y la insolación, entre otros, cuya variación estacional es fundamental para la clasificación de los climas.

Combustibles fósiles: Carbón, petróleo y gas natural. Son materiales de origen orgánico, producidos a partir de restos de seres vivos en épocas geológicas anteriores. Constituyen la mayor parte de las fuentes de energía consumidas en todos los países. Son recursos no renovables y su combustión es la principal responsable de las emisiones contaminantes a la atmósfera.

Combustión: Es el proceso de oxidación rápido de materiales orgánicos acompañados de liberación de energía en forma de calor y luz.

Compostaje: Transformación de la basura en abono. Para ello la fracción orgánica de los residuos sólidos se somete a una fermentación microbiana controlada para obtener un humus artificial o composta utilizable como abono agrícola.

Conato de incendio: Siniestro en el que han intervenido los dispositivos de control de incendios y que ha supuesto la quema de una superficie inferior a 1 hectárea.

Concentración: Cantidad de una sustancia contenida en la unidad de peso o volumen de un medio dado.

Conductancia: Propiedad de las sustancias en solución para conducir la corriente eléctrica.

Conductancia específica: Propiedad de las sustancias en solución para conducir la corriente eléctrica a 25°C .

Contaminación atmosférica: Mezcla de sustancias emitidas a la atmósfera que alteran sus composición natural y provocan efectos adversos a los seres vivos y los materiales.

Contaminantes criterio del aire: Son aquellos que simultáneamente son abundantes, y tienen efectos nocivos en la salud. Para ellos se han emitido normas técnicas para regular su medición y normas de salud para protección de la salud de los seres vivos. Los contaminantes criterio del aire normados en México son monóxido de carbono, bióxido de nitrógeno, bióxido de azufre, ozono, las partículas en suspensión y el plomo.

Correlación: Es una medida de la asociación lineal entre dos variables (no necesariamente mide una asociación de causa-efecto).

Cortafuegos: Tala controlada en montes, masas forestales y zonas cultivadas, áreas alargadas y desprovistas de vegetación, a modo de senderos, destinados a cortar el avance de posibles incendios.

Cuenca endorreica: Región interior cuya red hidrográfica no desagua al mar. Topográficamente son depresiones, y pueden estar rodeadas de terrenos montañosos. El clima corresponde a una variante continental del clima general de la región, por lo que suelen ser zonas secas. Son frecuentes los lagos y lagunas o charcas saladas, a veces con salinidad muy elevada e incluso con precipitación de sales.

Depósito atmosférico: Material que cae a la superficie terrestre después de un tiempo de estadía en la atmósfera, la interacción de ciertos elementos provoca que el depósito atmosférico tenga en ocasiones propiedades ácidas.

Depósito húmedo: Está constituido por lluvia, granizo, nieve, niebla y llovizna, puede caracterizarse como una mezcla de partículas y gases disueltos en el agua, así como de partículas no disueltas.

Depósito seco: Incluye toda la materia sin presencia de la fase acuosa, que es dispersada por los vientos y depositada sobre las superficies.

Depósito total: Constituye todos los elementos del depósito atmosférico, incluyendo las fases sólida, líquida y gaseosa.

Ecosistema: Unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio siempre determinado.

Edafología: Ciencia que se encarga del estudio de los suelos.

Emisiones: Liberación de contaminantes (partículas sólidas, líquidas o gases) al ambiente, procedentes de una fuente productora. El nivel de emisión de una fuente se puede reportar en unidades de masa por unidad de tiempo (p.e.: toneladas/año).

Emisiones antropogénicas: Descarga de contaminantes a la atmósfera proveniente de chimeneas y otros conductos de escape de las áreas industriales, comerciales y residenciales, así como de los vehículos automotores, locomotoras o escapes de aeronaves y barcos.

Emisiones naturales: Salida de contaminantes hacia el ambiente a partir de una fuente natural (erosión del suelo por el viento, vulcanismo, etc.) y/o procesos metabólicos de plantas y animales.

Erosión: Es la destrucción y eliminación del suelo. Los factores que acentúan la erosión del suelo son: el clima, la precipitación, la velocidad del viento, la topografía, el grado y la longitud del declive, las características físico-químicas del suelo, la cubierta vegetal, su naturaleza y el grado de cobertura, los fenómenos naturales como terremotos, y factores humanos como la tala indiscriminada, la quema subsecuente y el pastoreo en exceso.

Eutrofización: Acumulación de residuos orgánicos en el agua de lagos y mares, que causa la proliferación de ciertas algas.

Fotoreactividad: Característica de algunos contaminantes del aire que tienen la capacidad de reaccionar en presencia de la luz solar.

Fuentes de área: Son todos aquellos establecimientos comerciales, industriales, habitacionales o lugares donde se desarrollan actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas de contaminantes y que por su tamaño no llegan a considerarse como fuentes puntuales, pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte considerable de contaminantes a la atmósfera. En esta categoría se incluyen la mayoría de los establecimientos comerciales, de servicio, y los hogares, como ejemplo se pueden mencionar a las panaderías, tintorerías, fabricación de tabiques, uso de combustibles y productos en el hogar, manejo de maquinaria de construcción, tractores, locomotoras, extracción de arena y grava, etc.

Fuentes móviles: Cualquier máquina, aparato o dispositivo que emite contaminantes a la atmósfera, al agua y/o al suelo, que no tiene un lugar fijo, siendo todo vehículo automotor como los automóviles, barcos, aviones, etc.

Fuentes naturales o biogénicas: Son fenómenos o procesos que presentan emisiones de manera natural en los ecosistemas. En este tipo de emisión se encuentran la erosión del suelo, las emisiones volcánicas, las generadas por los incendios forestales, por las heces fecales de animales y por los procesos metabólicos de la vegetación, entre otros.

Fuentes puntuales o fijas: Se define como una instalación establecida en un sitio con la finalidad de desarrollar procesos industriales o actividades que puedan generar contaminantes a la atmósfera, por ejemplo se pueden citar: a las termoeléctricas, grandes industrias químicas, cementeras, fábricas de vidrio, procesadores de metales, industria de alimentos, entre otras.

Gasóleo: Producto de destilación del petróleo. Es un líquido volátil, utilizado como combustible en los motores Diesel.

Gasolina: Mezcla de hidrocarburos ligeros. Volátil, inflamable, de olor característico, se utiliza como combustible en motores de explosión interna y tiene aplicaciones industriales como desengrasante, disolvente y materia prima de síntesis. Se obtiene por destilación del petróleo, por hidrogenación de carbón o dióxido de carbono, por cracking o rotura de compuestos hidrocarbonados de cadena larga y por polimerización e hidrogenación de hidrocarburos de cadena corta.

Humedad relativa: Relación, expresada en tanto por ciento, entre la cantidad de vapor de agua existente en el aire y la cantidad de vapor que saturaría este aire a una temperatura y presión dadas.

Inversión térmica: Las inversiones térmicas ocurren debido a que la capa de aire que se encuentra en contacto con esta superficie adquiere una temperatura menor que las capas superiores, por lo que se vuelve más densa. Las capas de aire que se encuentran a mayor altura y que están relativamente más calientes actúan entonces como una tapa que impide el movimiento ascendente del aire contaminado

Latitud geográfica: La latitud de un punto de la superficie terrestre es el ángulo entre la vertical del punto y el ecuador. Se mide en grados sexagesimales y varía de 0° en el Ecuador a 90° en los Polos. Las latitudes de los puntos de cada hemisferio se distinguen con la notación N o S (por ejemplo, 45°N, 15°S). La latitud es una de las coordenadas geográficas que definen la localización de un punto sobre la superficie terrestre.

Lavado atmosférico: Mecanismo natural de limpieza de la atmósfera a través de la lluvia que remueve los gases atmosféricos, aerosoles, partículas, y todos aquellos compuestos que han sido introducidos a la atmósfera por diferentes fuentes de emisión.

Longitud geográfica: La longitud de un punto de la superficie terrestre es el ángulo entre la vertical del punto y el meridiano origen de longitudes. Como tal se toma el meridiano de Greenwich. Se mide en grados sexagesimales y varía de 0° a 180°. Las longitudes orientales se designan con la notación E (por ejemplo 5°E) y las occidentales con W (por ejemplo 125°W).

Lluvia ácida: Es toda agua de lluvia cuyos valores de pH son inferiores a los de la lluvia normal, es decir, valores por debajo de pH= 5 a 5.6.

Media aritmética: Valor que resume la información de un conjunto de observaciones definido por la suma de los valores de las medidas, dividida por el número de éstas. Este valor puede ser una representación sesgada de la información cuando se presentan datos muy alejados al resto (observaciones atípicas).

Mediana: Valor que divide el conjunto de observaciones en dos grupos con igual número de elementos, los cuales previamente se ordenaron de menor a mayor para elegir justo aquel que deja el 50% por abajo y el 50% por arriba.

Monóxido de carbono: Gas incoloro, inodoro e insípido, producto de la combustión incompleta de sustancias orgánicas. Es una sustancia tóxica por su capacidad para unirse a la hemoglobina, impidiendo que capte y transporte el oxígeno. Fórmula CO.

Neutralización: Capacidad de las sustancias a contrarrestar las propiedades ácidas o alcalinas de otra sustancia, hasta llegar al punto óptimo de neutralización que es el valor de pH = 7.

Norma de emisión: Límite cuantitativo para la descarga al ambiente de una sustancia potencialmente tóxica a partir de una fuente en particular.

Ozono: Molécula triatómica de oxígeno, presente de forma natural en las altas capas de la atmósfera. El ozono presente en la tropósfera es un contaminante secundario que se genera a partir de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos en presencia de luz solar. El ozono es un potente oxidante y por tanto un contaminante del aire.

PCAA: Plan de Contingencias Ambientales Atmosféricas

Percentil: En una población o conjunto de observaciones valor por debajo del cual se encuentra un porcentaje determinado del total de datos. La mediana también se conoce como percentil 50.

pH: Valor logarítmico negativo de la concentración de iones hidrógeno (H^+), el cual representa el potencial de acidez de una sustancia o compuesto. La escala de pH tiene un intervalo de 0 a 14; donde los valores cercanos a 0 son ácidos (como el ácido de baterías con pH de 1), el valor 7 se considera neutro (agua pura) y valores mayores a 7 son alcalinos (como la sosa cáustica con pH de 13). Debido a que la escala de pH es logarítmica, un valor de pH = 4 es 10 veces más ácido que el de pH = 5 y 100 veces más ácido que el valor de pH = 6 y así sucesivamente.

Plomo: Elemento químico denso, blando, maleable y dúctil, de bajo punto de fusión, resistente a muchos ácidos, aunque no a todos y opaco a los rayos X. Sus propiedades hacen que posea numerosas aplicaciones (industria química y metalúrgica y construcción). El plomo y sus compuestos son tóxicos para los seres vivos, produciendo en el hombre la grave enfermedad llamada saturnismo. Es un contaminante importante y que tiende a acumularse.

Pluviómetro: Dispositivo mediante el cual se mide la lámina de precipitación pluvial en un sitio determinado, el pluviómetro puede contar con un sistema de registro de datos llamado pluviógrafo.

Precusores: Compuestos que mediante una serie de reacciones químicas dan lugar a la formación de otras sustancias.

Promedio ponderado: Cálculo que permite estimar la media aritmética de un parámetro asignando diferentes pesos a las observaciones. Por ejemplo en varios eventos de precipitación pluvial el pH del agua de lluvia se pondera con el volumen obtenido, de tal forma que los eventos donde se tuvo una mayor precipitación tengan mayor influencia en el cálculo, que aquellos en donde la lluvia resultó escasa.

Radiación solar. Energía que se propaga en el espacio procedente del sol.

Rainout: Lavado dentro de la nube. Proceso mediante el cual las partículas contaminantes sirven como núcleos de condensación, incorporándose a la nube durante su proceso de formación.

Sistema de Monitoreo Atmosférico: Sistema de redes de monitoreo a cargo del GDF integrado por la RAMA, REDMET, REDRA, REDMA y REDDA

Sitio de monitoreo: Área de estudio donde se supervisa continuamente la calidad del aire o el depósito atmosférico.

Tropósfera: Es la capa de la atmósfera en contacto con la superficie de la tierra y tiene la característica de disminuir en temperatura con la altitud.

Washout: Lavado fuera de la nube. Proceso en el que los gases y las partículas se incorporan por adsorción a las gotas de lluvia durante su caída desde la nube hasta el suelo.

8. PUBLICACIONES Y PAGINAS ELECTRÓNICAS CONSULTADAS

- 1.- Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000, Gobierno del Estado de México, Departamento del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud, 1996.
- 2.- Evaluación del cierre del Programa para Mejorar la Calidad del Aire 1995-2000, Comisión Ambiental Metropolitana (CAM), 2000.
- 3.- El medio ambiente en la cuenca de México, Ezcurra, E. De las Chinampas a la Megalópolis., 2ª Edición, FCE, 1998.
- 4.- <http://www.inegi.gob.mx> XII Censo General de Población y Vivienda 2000 por entidad federativa.
- 5.- Indicadores de Sustentabilidad, INE-SEMARNAP, internet: <http://www.ine.gob.mx>
- 6.- Indicadores Ambientales para la Región Fronteriza 1997, Ríos, A. R. (INE-SEMARNAP), Swartz-Larson, D. (EPA), Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Desarrollo Social, Agencia de Protección Ambiental, Comisión Internacional de Límites y Aguas, Secretaría de Salud, 1997.
- 7.- Informe Anual de la Calidad del Aire 1998, Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, 1998.
- 8.- Estudio de Emisión de Partículas Generadas por Fuentes Naturales Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Centro de Ciencias de la Atmósfera, 1990.
- 9.- Plan for Approving Air Quality-Related Indicators, State of California - Air Resources Board, 1991.
- 10.- Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, Van Nostrand Reinhold, Gilbert, R.O., USA, 1987.
- 11.- "Inside Rain", National Atmospheric Deposition Program, Illinois, USA, 1999.

- 12.- "Air Pollution and Water Quality Atmospheric Deposition Initiative", United States Environmental Protection Agency's office of wetlands, Oceans & Watersheds, <http://www.epa.gov/OWOW/oceans/airdep/air1.html>.
- 13.- National Air Quality and Emissions Trends Report, United States Environmental Protection Agency, 1998.
- 14.- National Air Quality and Emissions Trends Report, United States Environmental Protection Agency, 1999.
- 15.- Programa de Precipitación Ácida de la ZMCM informe anual 1999, Gobierno del Distrito Federal, Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, 2000.
- 16.- Basic: Water Quality Terminology, USGS Water Quality Monitoring, United States, 2001 <http://bcn.boulder.co.us/basin/data/COBWQ/info/SC.html>.
- 17.- Instituto Nacional Investigaciones Nucleares (ININ), "Estudio retrospectivo del indicador de materia particulada aerotransportada (MPA) en el intervalo de 2.5 mm(PM2.5) en Xalostoc, Ticomán, Pedregal y Tlalpan", Convenio de colaboración entre el Gobierno del Distrito Federal y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), 1999.

ANEXO 1 ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLES

Al aplicar la prueba de Mann-Kendall al valor del consumo total mensual de los combustibles, se encontró que no existe tendencia en los datos (Figura A1). Con un 95% de confianza no hay evidencia de la presencia de tendencia en el consumo de combustibles. Los datos presentan una pendiente estimada de 0.8.

A partir del consumo mensual se obtiene el consumo anual de combustibles, en la Figura A2 se muestra este consumo anual, aquí se observa que a partir de 1995 y hasta 2000 se muestra un pequeño incremento en el consumo de los combustibles. Si se considera el consumo total por año a partir de 1995 se obtiene la Tabla A1. Aplicando a estos datos la prueba de tendencia de Mann-Kendall, se encontró que presentan tendencia creciente con una tasa de cambio de 205.01 millones de litros anual con un porcentaje de incremento de consumo de combustibles de 1995 a 2000 del 9.7%.

Figura A1. Consumo total mensual de combustibles (1990 a 2000)

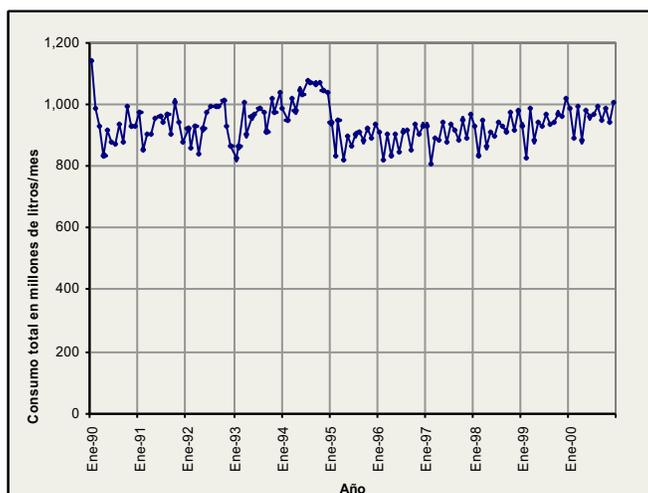


Figura A2. Consumo total anual de combustibles (1990 a 2000)

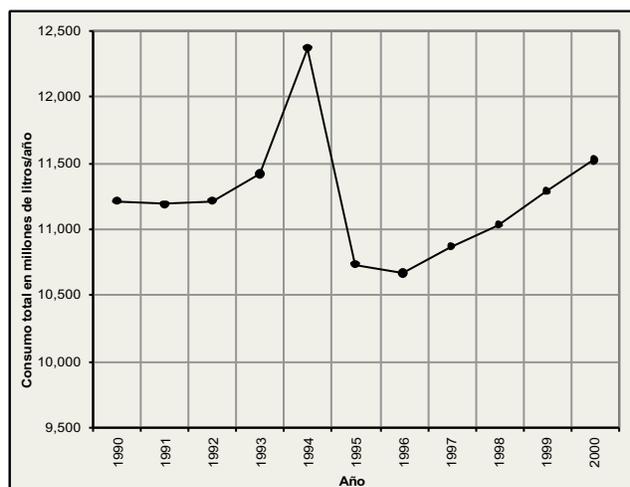


Tabla A1. Consumo de combustibles total anual de 1995 a 2000.

AÑO	(millones de litros)
1995	10,735.05
1996	10,662.46
1997	10,867.47
1998	11,028.85
1999	11,282.88
2000	11,519.59

Tabla A2. Millones de litros de combustible consumidos anualmente en la ZMVM desagregado por tipo de combustible (1990-2000)

	Premium	Nova	Magna	Gas N. ¹	Gas LP	Diáfano	Gasóleo D.	Diesel IBA	P. Diesel	Diesel E.	Diesel N.	Diesel I.	Gasóleo I.	Comb. I.	C. T. A.	C. P. M.
1990		4094	36	4474	2221	437				612	133				12006	1000
1991		4351	339	4450	2316	24				460	25		14		11978	998
1992		3737	928	3784	2601	20				516			300		11886	991
1993		3291	1506	3608	2508	17			239	552		42	293		12056	1005
1994		3043	1959	3709	2702	22			1094			261	236		13027	1086
1995		2679	2111	2154	2704	19		0.3	1024			209	218		11117	926
1996	4	2286	2405	1977	2780	18		1	1099			212	232		11013	918
1997	144	613	4038	2126	2719	6	1	209	1150				240		11245	937
1998	304		4548	2248	2653			186	1206					282	11428	952
1999	374		4493	2318	2872			239	1212					186	11694	975
2000	480		4504	2524	2889			252	1218					99	11968	997

¹ Gas Natural (equiv. en millones de litros de gasolina/mes)

C. T. A. = Consumo Total Anual

C. P. M. = Consumo Promedio Mensual

ANEXO 2 AVANCES DEL PROGRAMA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE MÉXICO 1995-200 (PROAIRE)

META I: *INDUSTRIA LIMPIA*; MEJORAMIENTO E INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA Y LOS SERVICIOS.

Dado que la industria y los servicios son sectores importantes en la emisión de contaminantes, el objetivo principal de esta meta se centró en el uso de estrategias de mejoramiento e incorporación de nuevas tecnologías, contando para ello con 20 instrumentos.

Tabla A3. Avances de la META I: *Industria limpia*; Mejoramiento e Incorporación de Nuevas Tecnologías en la Industria y los Servicios.

Fecha	Normas Oficiales Mexicanas
1995	NOM-092-ECOL-1994 y NOM-093-ECOL-1994. Establecen la obligatoriedad de Instalar Sistemas de Recuperación de Vapores (SRV) en todas las gasolineras de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), así como el método de prueba para verificar estos sistemas
29-ene-97	NOM-EM-118-ECOL-1997. Especificaciones que debe reunir el gas LP que se utiliza en las fuentes fijas ubicadas en la ZMVM, además de establecer la mezcla más adecuada de propano y butano
16-jul-97	NOM-027-SEDG-1996. Controles primarios y controles programadores de seguridad contra falla de flama para quemadores de gas natural
12-sep-97	NOM-001-SEDG-. Plantas de almacenamiento para gas LP. Diseño y construcción
1-ene-98	NOM-085-ECOL-1994. Aplicación de niveles de emisión más estrictos para óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas provenientes del sector industrial
26-ene-98	NOM-002-SECRE-1997. Instalaciones para el aprovechamiento de gas natural
27-ene-98	NOM-001-SECRE-1997. Calidad del gas natural
15-may-98	NOM-003-SECRE-1997. Distribución de gas natural
	NOM-005-SECRE-1997. Gas natural y estaciones de servicio
14-jul-98	NOM-121-ECOL-1998. Establece los límites máximos permisibles de emisiones a la atmósfera provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías, unidades de uso múltiple, carga y camiones ligeros
24-nov-98	NOM-117-ECOL-1998. Especificaciones de protección ambiental para la instalación y mantenimiento de los sistemas para el transporte y distribución de hidrocarburos y petroquímicos
20-ene-99	PROY-NOM-004-SEDG-1998. Instalaciones de aprovechamiento de gas LP. Diseño y construcción
27-ene-99	NOM-006-SECRE-1999. Odorización del gas natural
12-feb-99	NOM-EM-011-SEDG-1999. Recipientes portátiles para contener gas LP no expuestos a calentamiento por medios artificiales.
31-may-99	PROY-NOM-124-ECOL-1999 Especificaciones de protección ambiental para el diseño, construcción, operación, seguridad y mantenimiento de los diferentes tipos de estaciones de servicio
14-jun-99	NOM-123-ECOL-1998. Establece el contenido permisible de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en la fabricación de pintura
26-jun-99	NOM-002-SEDG-1999. Bodegas de distribución de gas LP en recipientes portátiles. Diseño, construcción y operación
23-ago-99	NOM-EM-001-SEDG-1999. Valoración de las condiciones de seguridad de los vehículos que transportan, suministran y distribuyen gas LP
27-dic-99	PROY-NOM-009-SECRE-1999. Monitoreo, detección y clasificación de fugas de gas natural en ductos
4-feb-00	NOM-007-SECRE-1999. Transporte de gas natural
3-mar-00	NOM-011/1-SEDG-1999. Condiciones de seguridad de los recipientes portátiles para contener gas LP en uso

Año	Acciones	Avances
	En caso de contingencia ambiental la termoeléctrica Jorge Luque reduce hasta el 53% de su capacidad total de generación	
	En caso de contingencia ambiental la termoeléctrica Valle de México reduce hasta un 50% su capacidad total de generación	
1995-1997	Durante diciembre y enero la Comisión Federal de Electricidad (CFE) puso fuera de servicio una de las unidades de generación de la Central debido a que las condiciones de demanda eléctrica lo permitieron	
1996-1997	La termoeléctrica Valle de México llevó a cabo una serie de trabajos en sus unidades generadoras para la reducción de las emisiones de NOx, que consistieron en la modificación del diseño del sistema de aire y gases en la combustión de los generadores de vapor	Tres unidades tuvieron una disminución del 47% y la cuarta registró disminución del 64%
1996	Programa de instalación del Sistema de Recuperación de Vapores (SRV) de Gasolina Fase 0: Terminal de Abastecimiento, contempló la recuperación de los vapores que se escapan de los tanques de almacenamiento	Esta fase se concluyó en las cuatro terminales de distribución
	Fase 1: Autotanque distribuidores o "pipas". En esta fase del SRV se colectan los vapores que son desplazados cuando la pipa descarga al tanque de almacenamiento de las gasolineras	Esta fase se encuentra concluida
1-oct-97	Fase 2: Básicamente corresponde a la colección de gases generados durante la venta de gasolinas a vehículos automotores. Existen 14 empresas autorizadas para la venta e instalación de los SRV y ocho tecnologías certificadas de recuperación de vapores	
17-mar-97	La Comisión Reguladora de Energía (CRE) inició el proceso para ampliar la red de distribución de gas natural en la ZMVM, definiendo dos zonas geográficas de distribución de gas natural	Existen 1,500 km de la red de distribución y abastece a 312 industrias
1-dic-97	PEMEX-Refinación sustituyó en la ZMVM el gasóleo industrial con 2% de azufre por un combustible industrial cuyo contenido máximo de azufre en peso es del 1%	Actualmente en el mercado
Ene-1998	PEMEX Gas y Petroquímica Básica conjuntamente con la Secretaría de Energía, integraron un grupo de trabajo para llevar a cabo el Programa integral para la reposición de cilindros y la modernización del sistema de distribución de gas LP	Identificación total de recipientes portátiles y destrucción del 4% (sep99), reposición del 17% de recipientes (sep00)
1999	De las 171 estaciones de servicio existentes en el Estado de México, el 88% tienen instalado y operando el SRV	

META II: VEHÍCULOS LIMPIOS; DISMINUCIÓN DE LAS EMISIONES POR KILÓMETRO, MEJORAMIENTO E INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES. En el ámbito mundial los vehículos automotores se destacan por consumir la tercera parte del petróleo y en los países desarrollados el transporte absorbe la mitad del consumo de este combustible. En la ZMVM este sector consume cerca del doble de energía que consume la industria instalada y constituye la principal fuente de emisiones.

Tabla A4. Avances de la META 2: *Vehículos Limpios*; Disminución de las emisiones por kilómetro, Mejoramiento e Incorporación de Nuevas Tecnologías en Vehículos Automotores

Fecha	Normas Oficiales Mexicanas
Ene-99	NOM-EM-132-ECOL-1998. Establece el procedimiento de aceleración simulada en todos los vehículos en circulación que son definidos como operables en el dinamómetro
6-ago-99	NOM-EM-127-ECOL-1998. Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible
6-sep-99	NOM-EM-128-ECOL-1998. Establece los límites máximos permisibles de emisión de HC no quemados, CO, NOx y PST, provenientes del escape de automóviles y camiones nuevos en planta
6-sep-99	NOM-042-ECOL-1999. Vehículos automotores nuevos en planta con peso bruto vehicular que no exceda los 3,856 kilogramos

Fecha	Acciones
24-nov-99	NOM-047-ECOL-1999. Establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes provenientes de los vehículos
20-nov-89	El programa Hoy No Circula fue planteado originalmente como un programa temporal y su aplicación se hizo permanente. En 1990 se ahorraron 402 mil litros diarios del consumo total de gasolina
1-oct-93	Introducción del combustible diesel bajo en azufre con 0.05 % en peso
30-dic-96	Acuerdo por el que los vehículos automotores pueden exentar el programa Hoy No Circula, a partir de 1997 se iniciaron las exenciones
1996	PEMEX puso a la venta las gasolinas PEMEX Magna y PEMEX Premium, las cuales presentan una reducción de 50% en su límite máximo de contenido de azufre
Nov-97	La gasolina con plomo Nova Plus dejó de distribuirse
Dic-97	El Gobierno del Estado de México (GEM) firmó un convenio para el uso de gas natural en unidades de transporte público de pasajeros, en la primera etapa se convirtieron 72 unidades de transporte público
1997	Introducción de transporte eléctrico para la distribución de refrescos y perecederos en el primer cuadro de la Ciudad
30-oct-98	La última modificación realizada al Programa Hoy No Circula indica las medidas para otorgar el holograma 0, doble 0, 1 y 2 a los vehículos
1998	El GEM otorgó ocho camiones tipo Kodiak a gas LP a los municipios de Ecatepec, Coacalco, Cuautitlán, Texcoco y Tultitlán
Feb-99	El GEM entregó 92 patrullas ecológicas a gas natural comprimido (GNC) a 18 municipios conurbados, en el marco del "Programa piloto de conversión y adquisición de unidades vehiculares que usen como combustible gas natural para probar bajo condiciones reales de manejo los beneficios de los combustibles alternos"
29-jul-00	El gobierno de Francia otorgó recursos para la conversión al uso de GNC de 860 microbuses del transporte público de pasajeros del Distrito Federal, año-modelo 1992 y 1993
	Actualmente se encuentran en operación 2 estaciones de servicio de GNC: una cerca del paradero de cuatro caminos y la segunda en la Delegación Venustiano Carranza
	En el Distrito Federal se cuenta con 1,033 unidades a gas natural de uso intensivo

META III: NUEVO ORDEN URBANO Y TRANSPORTE PÚBLICO; REGULACIÓN DEL TOTAL DE KILÓMETROS RECORRIDOS POR VEHÍCULOS AUTOMOTORES. Debido a que en la ZMVM se generan más de 20 millones de viajes al día, de los cuales el 82% corresponde al transporte público, 13% en el Sistema Colectivo Metro y el resto en autobuses urbanos, suburbanos, trolebús y taxis, en esta meta se definió como la necesidad de reordenar de manera integral el transporte urbano e incorporar bases para modernizar el transporte concesionado.

Tabla A5. Avances de la META 3: *Nuevo Orden Urbano y Transporte Público*; Regulación del Total de Kilómetros Recorridos por Vehículos Automotores

Fecha	Acciones
23-sep-96	Inició la revista para el transporte de carga
15-oct-96	Inició la revista para el transporte de pasajeros
May-98	En la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) se firmó el Convenio de coordinación de acciones para la verificación de unidades con placas federales entre la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), y el Gobierno del Distrito Federal (GDF) y el Gobierno del Estado de México (GEM)
16-jul-98	Inició la Revista para el servicio de transporte de carga en general
Abr-99	El GDF entregó 100 nuevos autobuses que se incorporarán al transporte público de pasajeros
Jun-99	En el GEM se renovaron 52,608 unidades del transporte público que representa un avance del 75%

Fecha	Acciones
31-oct-99	La SETRAVI en el marco del Programa de Otorgamiento de 18,000 concesiones, ha entregado 3,270 juegos de placas del servicio de transporte público de taxi
31-dic-99	Se estableció la revista vehicular para vehículos de transporte público de pasajeros y de carga del DF durante el año 2000
1999	Se adjudicó a la empresa Sociedad Cooperativa Monte de las Cruces, la concesión con dos rutas con un parque vehicular de 26 autobuses
1999	Se les adjudicó a las empresas Transportes Unidos del Sur y Unión de Transportistas del Noroeste, la concesión de 16 rutas con un parque vehicular de 121 autobuses
1999	Se adjudicaron seis rutas para Autotransportes Monte alto y Anexas, para operar con 61 autobuses
1999	Dentro del programa de paradas fijas se colocaron 4,200 parabuses
Oct-00	Se adjudicaron dos rutas a la empresa Autotransportes Urbanos Sur – Oriente, con un parque vehicular de 14 autobuses
Ago-00	La línea B del Metro localizada al centro-poniente de la Ciudad presenta un avance global del 92.8% en las obras de construcción, que incluye obra civil y electromecánica
1996-99	Se autorizaron 35 nuevos desarrollos habitacionales en el Estado de México, correspondiendo a un fraccionamiento y 34 conjuntos urbanos
	<p>Mejoramiento de las vialidades existentes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se puso en servicio el cruce vial de Río Mixcoac e Insurgentes Sur • Conclusión de la primera etapa del proyecto del corredor vial Canal de Miramontes y de proyectos vueltas izquierdas en el circuito interior cruce con Barranca del Muerto. • Ampliación a 12 carriles de la autopista México–Querétaro y a 6 carriles de la carretera Lechería–Cuautitlán • Ampliación de la avenida Central • Entronque autopista Peñón–Texcoco con la carretera Los Reyes–Texcoco – Lechería • Rehabilitación de cuerpos centrales de la avenida Ceylán • Rehabilitación del puente "El Tornillo" y del camino Los Reyes • Construcción de los distribuidores viales Hidalgo–San Rafael y Ceylán y el puente vehicular cuerpo B • Construcción de los puentes Benito Juárez, Rosario Castellanos, Carlos Fuentes y San Juan Totoltepec • Construcción de la vía Adolfo López Mateos y de la avenida Palo Solo • Construcción del distribuidor vial sobre la avenida Adolfo López Mateos–Av. Alcanfores • Construcción de 49.6 km del anillo transmetropolitano
ene-jul00	A través del Programa Radar de Apoyo Vial se han prestado 54 mil 482 auxilios mecánicos directamente en la red vial
	Se amplió el sistema de trolebuses con 200 nuevas unidades que fueron recibidas en Instalaciones de Servicios Eléctricos, mismas que gradualmente se irán incorporando a las rutas establecidas. Durante 1997, 50 de estas unidades fueron incorporadas a las líneas del Eje Central y Eje 7-A Sur.
	Entre los avances obtenidos destaca la puesta en marcha de 13 estaciones de la líneas B en el tramo de Buena Vista –Aragón a partir de diciembre de 1999

META IV: RECUPERACIÓN ECOLÓGICA; ABATIMIENTO DE LA EROSIÓN. El principal objetivo de la meta IV es la conservación y recuperación ecológica y el abatimiento de la erosión, por lo que se definió una estrategia general de integración de políticas metropolitanas (Transporte, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente). Esta meta se diseñó con 12 instrumentos para aminorar el problema de la emisión de partículas y preservar, rescatar y agilizar algunas acciones encaminadas al rescate de flora y fauna nativas.

Tabla A6. Avances de la META 4: *Recuperación Ecológica; Abatimiento de la Erosión.*

Fecha	Acciones
1993-97	Subproyecto Reforestación Urbano-Agrícola en 28 municipios del Valle Cuautitlán-Texcoco, se plantaron 981,029 árboles en zonas urbanas
1995-99	El GEM pavimentó más de 5,700 m ² de vialidades primarias y secundarias, principalmente en los municipios de Nezahualcóyotl y Ecatepec, así como la construcción de 197,113 m ² de vialidades primarias y 107,080 m ² de secundarias en el municipio de Valle de Chalco Solidaridad, 325,020 m ² de bacheo; 14,073 de banquetas y 7,037 de guarniciones
1995-99	En el subproyecto Sierra de Guadalupe se construyeron 1,687.38 m ³ de muros de piedra y 1,863 m ³ de presas de gavión, respecto al control y combate de incendios forestales, se construyeron 32.8 km de brecha corta fuego y 19.65 km de líneas negras. Se atendieron en promedio 150 incendios por año, se plantaron 4'560,190 árboles y 5,000 unidades de pasto vetiver
1996-97	En el lago de Guadalupe se extrajo mecánicamente más de 40,000 toneladas de lirio, lodo y basura
1997-99	Se repavimentaron 6'412,810 m ² de carpeta asfáltica en vialidades primarias y 3'162,730 m ² en vialidades secundarias
1998-00	El programa emergente de reforestación rural incluyó 6 delegaciones con ámbito rural (Alvaro Obregón, Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta), donde se plantaron 41.5 millones de árboles
1999-00	Se realizaron acciones para erradicar la formación de tolvaneras en el ex Lago de Texcoco, además se construyeron y plantaron 24.16 km. de terraplenes dentro de la Zona Federal, se construyeron 14 presas de control de azolves, se produjeron 4'868,000 árboles y se plantaron 2'085,770 árboles
Oct-99	La Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU) del GDF lleva a cabo trabajos de barrido manual y mecánico en la red primaria de la Ciudad de México en 319,262 km. Dentro del programa de recolección de basura en tiraderos clandestinos en la vía pública, la DGSU atiende 960 sitios en 350 colonias de 12 demarcaciones políticas se tuvo un avance de 494,971 m ³
Oct-99	La DGSU informa que se viene operando el relleno sanitario Bordo Poniente en su IV etapa; en este sitio se depositan los residuos sólidos recolectados en la Ciudad de México, se han recibido 2'557,910 toneladas de residuos sólidos y 389,285 toneladas de material inerte
Nov-99	La Comisión de Recursos Naturales (CRN) informa que mediante el programa de participación ciudadana se han plantado 1'874,442 plantas en las 16 demarcaciones territoriales del DF
2000	En la Delegación Benito Juárez se llevaron a cabo 2 proyectos de forestación y reforestación. El primero fue para la recuperación de áreas erosionadas en 4 parques de la delegación y se sembraron un total de 42,357 plantas. El segundo se dirigió a la recuperación de 4 remanentes, sembrando 20,426 plantas
	La Delegación Magdalena Contreras, puso en marcha el Programa de Fomento Rural y Restauración Ecológica (PROFORE), se está construyendo un cordón frutícola-forestal se han plantado 52,618 árboles
	En la Laguna de Zumpango el GEM realizó anualmente labores de retiro de lirio acuático, rectificación y limpieza de bordos y canales en 410 hectáreas
	La Residencia General de Infraestructura Hidráulica Laguna de Zumpango llevó a cabo infraestructura mayor en 790 hectáreas, que consintió en protección de taludes internos y externos, obra civil de la planta de bombeo Zumpango, así como la subestación eléctrica y construcción de la línea de conducción
	Dentro del programa de recuperación lacustre de Xochimilco se reforestaron en la Zona Chinampera 150,000 árboles, en promedio mensual se controlan 9 toneladas de lirio acuático, se adquirieron 47,100 plantas, se realizó control de malacoma en 1,300 ha, se plantaron 250,000 árboles y arbustos
	La DGSU del GDF realizó la pavimentación en colonias populares con obras de bacheo y carpeta asfáltica en 148,940 m ² de superficie en el DF y 543 kilómetros en los municipios del área conurbada
	En la Delegación Gustavo A. Madero se concluyó con la repavimentación de 8,436 m ² de la Avenida Chalma -La Villa, así como la ampliación de esta vialidad en una superficie de 12,180 m ²
	En la Sierra Santa Cruz Catalina se construyeron 0.32 km de barda perimetral, se habilitaron 0.47 hectáreas deportivas y recreativas, se habilitaron 1.24 hectáreas de áreas verdes, se plantaron un total de 120,005 árboles de diferentes especies

ANEXO 3 CONTINGENCIAS EN LA ZMVM

Tabla A7. Contingencias ambientales instrumentadas por niveles de ozono mayores a 0.294 ppm (250 puntos IMECA).

Zona	ppm	Valor de Activación IMECA	Estación donde se registró	Fecha	Hora
CE	0.293	249	Merced	Sábado, 2 febrero 1991	13:00
SO	0.404	340	Pedregal	Miércoles, 23 octubre 1991	14:00
NO	0.406	342	ENEP -Acatlan	Jueves, 6 febrero 1992	13:00
SO	0.323	274	Pedregal	Martes, 18 febrero 1992	14:30
SO	0.326	276	Plateros	Viernes, 6 marzo 1992	12:00
SO	0.475	398	Plateros	Lunes, 16 marzo 1992	14:00
SO	0.346	293	Pedregal	Jueves, 19 marzo 1992	12:00
SO	0.429	360	Plateros	Viernes, 20 marzo 1992	13:00
NO	0.355	300	ENEP -Acatlan	Viernes, 18 diciembre 1992	14:00
SO	0.402	338	Pedregal	Miércoles, 30 diciembre 1992	16:00
SO	0.321	272	Plateros	Viernes, 12 febrero 1993	14:30
SO	0.328	278	Pedregal	Martes, 16 febrero 1993	14:30
SO	0.342	289	Pedregal	Jueves, 18 febrero 1993	13:30
SO	0.3	255	Plateros	Viernes, 26 febrero 1993	13:30
NO	0.302	257	ENEP -Acatlan	Lunes, 13 septiembre 1993	14:00
NO	0.302	257	Azcapotzalco	Jueves, 28 octubre 1993	14:00
SO	0.302	257	Plateros	Jueves, 11 noviembre 1993	14:00
SO	0.313	266	Plateros	Martes, 16 noviembre 1993	14:00
NO	0.319	271	ENEP -Acatlan	Jueves, 2 diciembre 1993	14:00
SO	0.326	276	Plateros	Lunes, 13 diciembre 1993	14:00
SO	0.329	279	Pedregal	Lunes, 20 diciembre 1993	14:00
NO	0.304	258	ENEP -Acatlan	Miércoles, 22 diciembre 1993	13:00
SO	0.297	253	Pedregal	Miércoles, 21 diciembre 1994	15:00
*	*	*		Viernes, 24 Marzo 1995	0:00
SO	0.299	254	Pedregal	Martes, 6 Junio 1995	13:00
CE	0.334	283	B. Juárez	Viernes, 23 Junio-1995	15:00
SO	0.349	295	Pedregal	Lunes, 31 Julio 1995	13:00
SO	0.299	254	Pedregal	Viernes, 1 Diciembre 1995	15:00
NO	0.317	269	Tacuba	Viernes, 19 Enero 1996	15:00
SO	0.301	256	Pedregal	Martes, 15 Octubre 1996	15:00
SO	0.323	274	Pedregal	Martes, 29 Octubre 1996	14:00
SO	0.308	262	Pedregal	Martes, 29 Abril 1997	15:00
NO	0.318	270	Tacuba	Sábado, 27 Septiembre 1997	16:00
NO	0.294	250	ENEP -Acatlan	Miércoles, 22-Octubre 1997	17:00
SO	0.295	251	Pedregal	Lunes, 25 Mayo 1998	14:00

* Contingencia aplicada de manera preventiva debido a los altos índices presentados el día anterior a la aplicación del programa y pronóstico meteorológico desfavorable para el día posterior.

Tabla A8. Contingencias ambientales instrumentadas por niveles de ozono mayores a 0.282 ppm (240 puntos IMECA).

Zona	ppm	Valor de Activación IMECA	Estación donde se registró	Fecha	Hora
SO**	0.285	243	Pedregal	Viernes, 5 Junio 1998	14:00
NE	0.285	243	San Agustín	Martes, 6 Octubre 1998	14:00
NO	0.308	262	ENEP-Acatlan	Jueves, 3 Diciembre de 1998	15:00
SO	0.308	262	Pedregal	Lunes, 11 Enero 1999	17:00
NO	0.284	242	Azcapotzalco	Jueves, 11 de marzo 1999	17:00
SO	0.321	272	Plateros	Viernes, 15 Oct. 1999	15:00

**A partir del 29 de Mayo de 1998 el programa de contingencias ambientales atmosféricas se aplica bajo el nuevo criterio de 240 puntos IMECA.

Tabla A9. Contingencias ambientales instrumentadas por niveles de PM10 mayores a 300 µg/m³ (175 puntos IMECA).

Zona	µg/m ³	Valor de Activación	Estación donde se registró	Fecha	Hora
NE	308	179	Nezahualcoyotl	Sábado, 19 Diciembre 1998	03:00
SE	320	185	Tláhuac	Domingo, 30 Enero 2000	07:00