



Secretaría del  
Medio Ambiente

# INFORME DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO:

## ESTADO Y TENDENCIAS 1990 - 2007



Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal  
Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire  
Dirección de Monitoreo Atmosférico  
Ciudad de México, 2008

Vigilamos la calidad del aire que respiras



## **DIRECTORIO**

### **MARCELO EBRARD CASAUBÓN**

Jefe de Gobierno del Distrito Federal

### **MARTHA DELGADO PERALTA**

Secretaria del Medio Ambiente

### **J. VÍCTOR HUGO PÁRAMO FIGUEROA**

Director General de Gestión de la Calidad del Aire

### **ARMANDO RETAMA HERNÁNDEZ**

Director de Monitoreo Atmosférico

### **CRISTINA ORTUÑO MOJICA**

Subdirectora de Análisis

### **OLIVIA RIVERA HERNÁNDEZ**

Subdirectora de Monitoreo

### **ALEJANDRO RÍOS MEJÍA**

Subdirector de Sistemas

### **ALFREDO ALFONSO SOLER**

Subdirector de Meteorología

Elaborado por la Subdirección de Análisis de la Dirección de Monitoreo Atmosférico con la colaboración de: Mónica Jaimes Palomera, Gerardo Samuel López Venegas, María Guadalupe Granados Gutiérrez, Alejandro Campos Díaz.

### **AGRADECIMIENTOS**

ROBERTO MUÑOZ CRUZ POR EL APOYO, ASESORÍA Y REVISIÓN DURANTE LA ELABORACIÓN DE ESTE DOCUMENTO.  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE LA SECCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
SUBDIRECCIÓN DE MACROMEDICIÓN Y CONTROL DE REDES DEL SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

### **DISEÑO DE PORTADA**

IVALU LOYA MORENO

**INFORME DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO:  
ESTADO Y TENDENCIA 1990 – 2007.**

Primera Edición, 2008

D. R. Secretaría del Medio Ambiente  
Agricultura 21, 1er. Piso, Col. Escandón,  
Del. Miguel Hidalgo, C. P. 11800  
Tel. 5278 – 9931 ext. 6136 ó 6161  
<http://www.sma.df.gob.mx/simat>

IMPRESO EN MÉXICO / PRINTED IN MEXICO

## PRESENTACIÓN

En la administración del Gobierno del Distrito Federal que encabeza el Lic. Marcelo Ebrard Casaubón, la conservación y recuperación de los recursos naturales se considera una prioridad para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Los esfuerzos para reducir los niveles de contaminación del aire han sido múltiples, se ha dado continuidad a las acciones comprometidas en el **Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002 – 2010** en un marco de gestión metropolitana y se instrumentan acciones específicas como parte de un **Plan Verde** para fortalecer la política de **Nuevo Orden Urbano Sustentable** que promueve el actual gobierno.

Una parte complementaria y necesaria de estos esfuerzos es la revisión de sus resultados por medio del monitoreo de contaminantes, con el propósito de evaluar el cumplimiento de los límites recomendables para proteger la salud humana y su tendencia en el tiempo, es decir una evaluación objetiva de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Dentro de esta visión de la gestión de la calidad del aire se considera como una prioridad mantener informados a los habitantes de la Metrópoli, por lo que el Sistema de Monitoreo Atmosférico continuará siendo un referente informativo que seguirá modernizándose y mejorando sus procesos.

En este orden de ideas, me complace presentar este informe de la calidad del aire 1990 – 2007 para la Zona Metropolitana del Valle de México, con la intención de mejorar la comprensión acerca del estado de este recurso y su comportamiento en el tiempo.

Lic. Martha Delgado Peralta  
Secretaria del Medio Ambiente



## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>1 LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO</b>	<b>3</b>
1.1 PROAIRE 2002 – 2010, Programa para Mejorar la Calidad del Aire	3
1.2 Plan Verde de la Ciudad de México	4
<b>2 EL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO</b>	<b>5</b>
<b>3 ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA ZMVM</b>	<b>7</b>
3.1 Cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental en 2007	7
3.2 Evaluación del estado de la calidad del aire con base en el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire - IMECA	9
3.3 Contingencias ambientales atmosféricas	12
3.4 Incrementos extraordinarios de contaminación	12
<b>4 ANÁLISIS DE TENDENCIA DE CONTAMINANTES CRITERIO Y LLUVIA ÁCIDA</b>	<b>15</b>
4.1 Técnicas para el análisis de tendencia	15
4.1.1 Desempeño anual y suficiencia histórica de las estaciones de monitoreo	15
4.1.2 Indicadores de tendencia	15
4.1.3 Evaluación de tendencia	16
4.1.4 Homogeneidad en el comportamiento de estaciones por contaminante	16
4.2 Tendencia del ozono y de los óxidos de nitrógeno	16
4.3 Monóxido de carbono	20
4.4 Dióxido de azufre	20
4.5 Lluvia ácida	21
4.6 Partículas	24
4.7 Plomo	26
<b>5 ANÁLISIS DEL CLIMA DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO</b>	<b>29</b>
5.1 Consistencia de los registros de temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y precipitación pluvial	30
5.2 Comportamiento de la temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y precipitación pluvial en la ZMVM, 1990 – 2007	34
<b>Anexo 1. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, 2007.</b>	<b>39</b>
<b>Anexo 2. Indicadores de estado de contaminantes criterio en la Zona Metropolitana del Valle de México</b>	<b>41</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>50</b>



## RESUMEN

De acuerdo con las tendencias de la calidad del aire, el ozono y las partículas suspendidas se mantienen como los contaminantes que representan un riesgo para la salud de los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México. La concentración de estos contaminantes en el aire ambiente ha disminuido progresivamente desde 1994, sin embargo para 2007 no se observan cambios significativos con respecto al número de días en los que sus concentraciones se encuentran por debajo de los límites de protección que señalan las Normas Oficiales Mexicanas para calidad del aire. En el caso del ozono en 2007 se registraron 40% de los días por debajo del límite de la norma, comparativamente en 2006 la norma se cumplió en el 41% de los días.

En el caso de las partículas suspendidas, aun cuando la tendencia decreciente en las concentraciones diarias que se observa en los últimos años para partículas menores a 10 micrómetros y partículas suspendidas totales, indica que hay una disminución del riesgo por la exposición en el corto plazo, el riesgo por la exposición de largo plazo continua siendo preocupante debido a que el promedio anual de 2007 para partículas menores a 10 micrómetros y partículas menores a 2.5 micrómetros excede los límites de la Norma Oficial Mexicana en la mayoría de las estaciones de monitoreo.

Durante 2006, la Comisión Ambiental Metropolitana realizó una adecuación al Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas disminuyendo los umbrales de activación. En el caso de la fase de Precontingencia por ozono, el nivel de activación se redujo de 200 a 170 puntos IMECA, esto tuvo como consecuencia que se observara un incremento en los casos de precontingencia ambiental en los últimos dos años, esto es, se atienden de manera preventiva situaciones que en el pasado pasaban inadvertidas o no se consideraban de riesgo.

Las tendencias del monóxido de carbono, plomo y dióxido de azufre, se mantuvieron durante 2007 en niveles que indican que están “controlados” con concentraciones por debajo de los límites de las Normas Oficiales Mexicanas. En el caso del dióxido de azufre aún se registran eventos de incremento extraordinario que sugieren el uso de combustibles con un contenido de azufre mayor al permitido. Con el apoyo de modelos matemáticos, en la actualidad es posible definir el área de impacto y las posibles fuentes de emisión asociadas a estos incrementos extraordinarios, por lo que se espera mejorar la gestión para el control de este tipo de eventos.

En el caso de los óxidos de nitrógeno no se observa una tendencia clara o su tendencia es creciente en algunas estaciones de monitoreo, esto es un indicativo de la dificultad que implica el control de este contaminante.

En 2007 se observa un incremento en los niveles de acidez en el agua de lluvia, principalmente en las zonas con suelo de conservación o de uso agrícola. El pH del agua de lluvia tuvo valores inferiores a 5.6 en toda la Zona Metropolitana del Valle de México y en la región del suelo de conservación llegó a presentar valores de 4.6.

En el análisis de tendencia de los contaminantes atmosféricos en la Zona Metropolitana del Valle de México es importante estimar la influencia que ejercen las condiciones meteorológicas. En este informe se presenta un análisis de las variables meteorológicas considerando la información disponible del Sistema de Monitoreo Atmosférico y del Sistema de Aguas del Distrito Federal.

Los resultados para la temperatura, la velocidad del viento y la precipitación pluvial sugieren que su asociación con la tendencia de los contaminantes atmosféricos pudiera ser mínima. La humedad relativa muestra variaciones debidas posiblemente a problemas de operación.

Al revisar el comportamiento de cada parámetro meteorológico en los años en que se presentaron fenómenos naturales como "*El Niño*", se perciben cambios importantes que permiten señalar la influencia de este tipo de eventos naturales. Los resultados indican la pertinencia de explorar métodos de análisis para evaluar objetivamente la relación entre parámetros como la temperatura, la velocidad del viento y la precipitación pluvial acumulada en la tendencia de los contaminantes atmosféricos.

# **1 LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO**

A pesar de los esfuerzos realizados para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y de la disminución paulatina de contaminantes como el ozono (O<sub>3</sub>) y las partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), aún no es posible cumplir con los límites que establecen las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental (NOM). A esta situación, se agrega que las concentraciones de partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>) registradas desde el año 2004 se encuentran por encima de los valores seguros para la protección de la salud pública y representan un riesgo para la salud por exposición en el largo plazo (exposición crónica).

Ante este escenario y con el propósito de proteger la salud de la población, en especial de los grupos vulnerables como los niños y los adultos mayores, el Gobierno del Distrito Federal tiene como prioridad continuar colaborando en la aplicación del Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002–2010 (PROAIRE 2002-2010), cuya gestión conjunta los esfuerzos del Gobierno Federal, el Gobierno del Distrito Federal y el Gobierno del Estado de México en el marco de la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM, 2002).

Más aún, el actual Gobierno de la Ciudad de México instrumenta el “Plan Verde” que propone para un mediano plazo (15 años) que esta urbe se encamine hacia la sustentabilidad. El plan contempla reducir las concentraciones ambientales del O<sub>3</sub> y las partículas finas por ser los contaminantes atmosféricos con mayor presencia y afectación a la salud de la población, así como también la reducción de las emisiones de los contaminantes tóxicos y de los gases de efecto invernadero.

## **1.1 PROAIRE 2002 – 2010, Programa para Mejorar la Calidad del Aire**

El PROAIRE 2002–2010 tiene como antecedentes el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 1995–2000 (PROAIRE, 1995-2000) y el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA), su diseño integra un conjunto de acciones de corto, mediano y largo plazo con las que se busca:

- a) Eliminar las concentraciones de O<sub>3</sub> superiores a 200 puntos del IMECA
- b) Reducir el número de días con concentraciones de O<sub>3</sub> entre 101 y 200 puntos IMECA
- c) Aumentar el número de días con concentraciones de O<sub>3</sub> inferiores al límite de 0.110 ppm que señala la NOM (100 puntos del IMECA)

En el PROAIRE 2002-2010 se plantea también que es necesario continuar con la reducción y control de las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO), para lo cual prevé que disminuyan los promedios diarios o anuales y los eventos de incremento extraordinario del

primero de estos contaminantes. En el caso de CO se señala que es necesario eliminar las concentraciones que exceden 9 ppm.

En el caso de las partículas se considera una prioridad aumentar el número de días con concentraciones diarias dentro del límite de la NOM, reducir el promedio anual conforme a la NOM y establecer metas de reducción para PM2.5.

## 1.2 Plan Verde de la Ciudad de México

Las acciones para mejorar la calidad del aire propuestas en el *Plan Verde* de la Ciudad de México tienen el propósito de reducir los daños a la salud de la población y mejorar aspectos de la calidad de vida de las personas. Las medidas se diseñaron considerando la información del crecimiento de la población, la expansión de la mancha urbana y el consumo de energía por la industria y el parque vehicular. El *Plan Verde* es además un mecanismo de comunicación para que los ciudadanos conozcan el trabajo gubernamental y el logro de los objetivos propuestos (GDF-SMA, 2007).

Con el *Plan Verde* se promueve el transporte público masivo seguro, eficiente, moderno y limpio, también incorpora alternativas de transporte escolar y de personal y promueve el uso de transporte no motorizado. En el caso de las áreas periféricas del Distrito Federal, que se han transformado en generadoras de partículas, se contemplan acciones de reforestación o revestimiento de vialidades. Los alcances cuantificables del *Plan Verde* para los siguientes años se resumen de la siguiente forma:

Año compromiso	Metas
A partir de 2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorporar un transporte público con tecnologías limpias, EURO-IV, en el 100% del Sistema de Metrobus y en la Red de Transporte Público.</li> </ul>
A partir de 2008 – 2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducir diesel de ultra bajo azufre en el transporte público.</li> </ul>
2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustituir 5,000 microbuses por unidades nuevas de mayor capacidad y con tecnologías menos contaminantes.</li> <li>• Impulsar la verificación vehicular obligatoria al transporte de carga.</li> </ul>
2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir el 50% de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles.</li> <li>• Reducir por lo menos 80% de las emisiones de PM<sub>10</sub>.</li> <li>• Reducir 10 mil toneladas anuales de contaminantes provenientes de la industria.</li> <li>• Sustituir el parque vehicular del Gobierno de la Ciudad por unidades energéticamente eficientes y de baja contaminación.</li> <li>• Incorporar nuevas tecnologías en el 70% del parque de vehículos que emplean Diesel.</li> <li>• Sustituir 4,500 microbuses por 850 unidades del Sistema Metrobus.</li> <li>• Sustituir el 100% de los taxis por unidades menos contaminantes.</li> </ul>

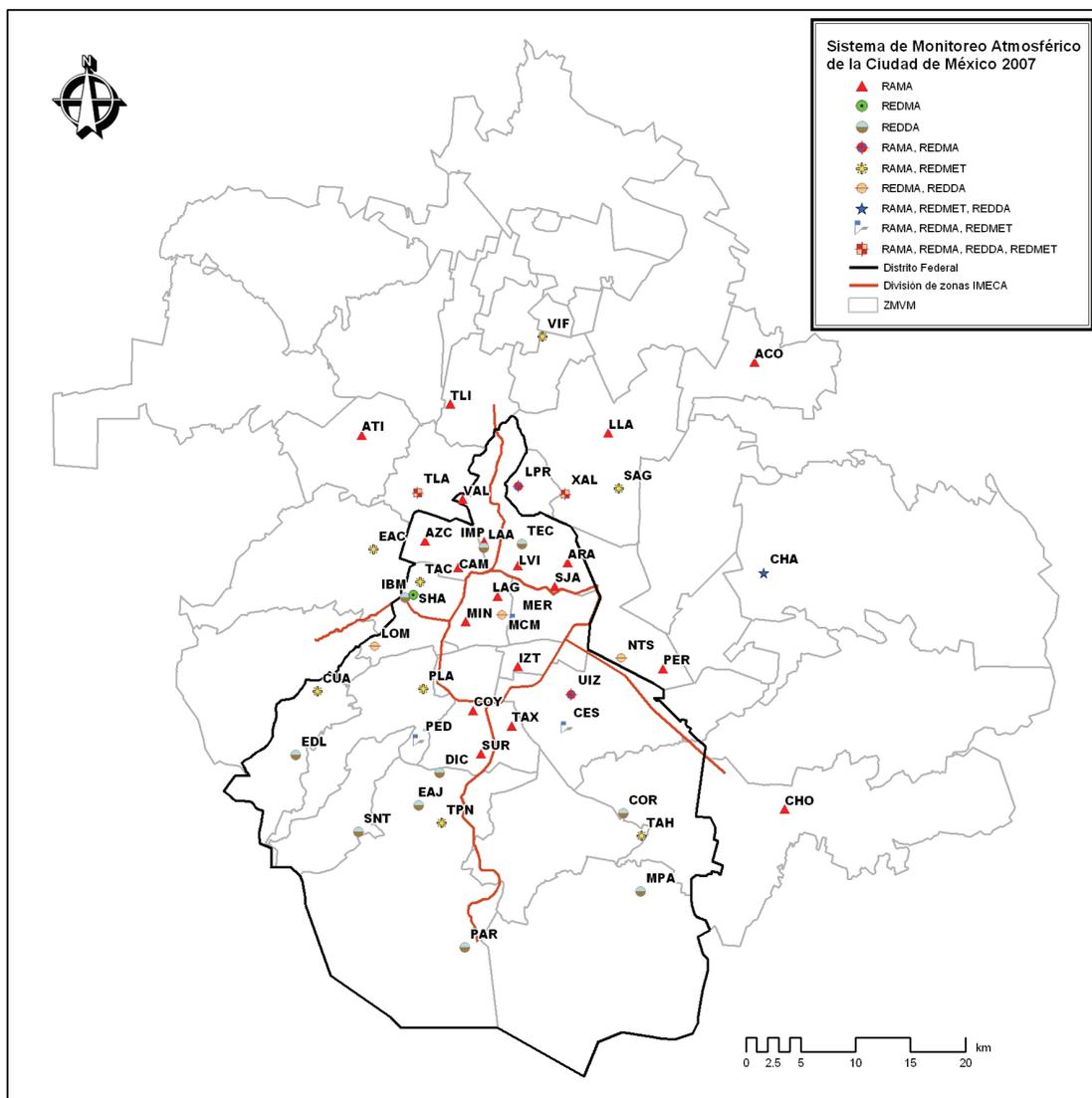
El *Plan Verde* es un instrumento de gestión “vivo” que se evaluará y enriquecerá permanentemente, por lo que es necesario elaborar inventarios de emisiones de contaminantes criterio, tóxicos y de gases de efecto invernadero, así como modelar el efecto de las acciones de control y los posibles escenarios.

## 2 EL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

En el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) se realiza de manera continua la medición de gases, partículas suspendidas y parámetros meteorológicos, así como el muestreo y análisis de partículas suspendidas y agua de lluvia (depósito húmedo). El SIMAT integra cuatro subsistemas: Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET), Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) y Red de Depósito Atmosférico (REDDA). En el Mapa 1 se observa la distribución de las estaciones en la ZMVM.

Al concluir el año 2007 el SIMAT mantiene en operación 49 estaciones de monitoreo, 36 se ubican en el Distrito Federal y 13 en los municipios del Estado de México. En el Anexo 1 se describe el estado actual del SIMAT indicando las estaciones que se encuentran en servicio o que se han retirado de operación.

**Mapa 1. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, 2007.**





### 3 ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA ZMVM

Debido a que la gestión de la calidad de aire tiene el propósito principal de proteger la salud de la población, en este capítulo se evalúa el estado de este recurso con respecto a las NOM y las situaciones extraordinarias de contaminación, las cuales pueden motivar la activación del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA).

#### 3.1 Cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental en 2007

En México la Secretaría de Salud es la entidad responsable de la publicación, revisión y actualización de las NOM que existen para O<sub>3</sub>, dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), CO, SO<sub>2</sub>, PST, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y plomo (Pb). En la Tabla 1 se presentan los límites de concentración en aire ambiente señalados por la NOM. Su complemento son las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-ECOL) que definen los métodos de referencia o equivalentes<sup>1</sup> para medir O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, PST y Pb. Para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> el SIMAT realiza mediciones empleando métodos de referencia<sup>2</sup> o equivalentes<sup>3</sup> establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés).

Durante 2007, en la ZMVM se registraron 220 días con concentraciones de O<sub>3</sub> por encima de la NOM para el valor promedio de 1 hora (0.110 ppm), con un total de 694 horas. La estación Pedregal (PED) ubicada en la zona suroeste, registró el mayor número de excedencias con un total de 140 días por encima de la NOM (Tabla 1 y Tabla A2 del Anexo 2). El indicador para el promedio de 8 horas, el cual debe ser menor a 0.080 ppm, se rebasó en todas las estaciones de monitoreo, con un valor máximo en la estación Tlalpan (TPN) de 0.122 ppm (Tabla 1 y Tabla A3 del Anexo 2).

Históricamente la magnitud de las concentraciones de O<sub>3</sub> ha disminuido en la ZMVM, en los años recientes hay un mayor porcentaje de días en los que no se rebasan los límites señalados por la NOM (Tabla A1 del Anexo 2), no obstante el número de días en que se rebasan estos límites en las estaciones de monitoreo, sobretodo de la región suroeste, es un indicativo de las posibles situaciones de riesgo por niveles de O<sub>3</sub> que aún prevalecen.

En el caso de las PST, en 2007 se excedió el valor de NOM de 210 µg/m<sup>3</sup> en las zonas suroeste y noreste, con 250 µg/m<sup>3</sup> en la estación Cerro de la Estrella (CES) y 314 µg/m<sup>3</sup> en la estación Xalostoc (XAL), respectivamente (Tabla 1 y Tabla A5 del Anexo 2).

---

<sup>1</sup> Método de Referencia. Procedimiento de análisis y medición descrito en una norma oficial mexicana, que debe aplicarse para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente y que sirve también, en su caso, para contrastar el método equivalente, cuando éste se haya establecido en la norma oficial mexicana.

Método equivalente. Procedimiento de análisis y medición para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente, señalado como tal en una norma oficial mexicana por producir resultados similares a los que se obtienen con el método de referencia, susceptible de aplicarse en sustitución de éste.

<sup>2</sup> Analizadores de Alto Volumen para PM<sub>10</sub> y analizadores de Bajo Volumen para PM<sub>2.5</sub>.

<sup>3</sup> Analizadores automáticos TEOM y Beta.

Para PM<sub>10</sub> en 2007 solamente dos estaciones de la región noreste registraron excedencias al valor para exposición aguda (120 µg/m<sup>3</sup>, promedio de 24 horas), La Presa (LPR) con 131 µg/m<sup>3</sup> y XAL con 125 µg/m<sup>3</sup> (Tabla A6 del Anexo 2). En el caso del indicador de exposición crónica (50 µg/m<sup>3</sup>, promedio anual), se excedió únicamente en la región noreste, en las estaciones XAL con 70 µg/m<sup>3</sup>, LPR con 57 µg/m<sup>3</sup> y Netzahualcóyotl Sur (NTS) con 52 µg/m<sup>3</sup> (Tabla 1 y Tabla A8 del Anexo 2).

En el caso de PM<sub>2.5</sub>, el indicador de exposición aguda (65 µg/m<sup>3</sup>, promedio de 24 horas) no se excedió en ninguna estación de la ZMVM (Tabla A7 del Anexo 2), sin embargo el indicador de exposición crónica (15 µg/m<sup>3</sup>, promedio anual) se excedió en toda la ZMVM (Tabla 1 y A9 del Anexo 2). Este es un indicativo de la situación de riesgo por exposición a partículas finas que prevalece en la ZMVM.

El CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> continuaron presentando en 2007 concentraciones que aseguran el cumplimiento de sus NOM respectivas y el Pb no rebasa el límite definido en su NOM desde el año 1993 (Tabla A10 y A11 del Anexo 2).

**Tabla 1. Cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental en 2007.**

Contaminante	Cumplimiento de la NOM en la ZMVM	Exposición aguda (frecuencia aceptable)	Valor máximo registrado para el indicador de exposición aguda <sup>4</sup>	Días con excedencia (exposición aguda)	Exposición crónica	Valor máximo para el indicador anual de exposición crónica <sup>5</sup>
Ozono (O <sub>3</sub> ) <sup>6</sup>	No	0.11 ppm promedio horario (ninguna vez al año)	0.203 ppm (estación PED)	220	0.080 ppm promedio de 8 horas (5° máximo anual)	0.122 ppm (estación TPN)
Monóxido de carbono (CO) <sup>7</sup>	Sí	11 ppm promedio de 8 horas (una vez al año)	4.5 ppm (estación EAC)	0	---	---
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) <sup>8</sup>	Sí	0.21 ppm promedio de 1 hora (una vez al año)	0.187 ppm (estación EAC)	0	---	---
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) <sup>9</sup>	Sí	0.13 ppm promedio de 24 horas (una vez al año)	0.082 ppm (estación VIF)	0	0.03 ppm promedio anual	0.011 ppm (estación TLA)
Partículas <sup>10</sup>	Suspendidas totales (PST)	No	210 µg/m <sup>3</sup> percentil 98 anual	314 µg/m <sup>3</sup> (estación XAL)	---	---
	Menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> )	No	120 µg/m <sup>3</sup> percentil 98 anual	131 µg/m <sup>3</sup> (estación LPR)	---	50 µg/m <sup>3</sup> promedio anual
	Menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> )	No	65 µg/m <sup>3</sup> percentil 98 anual	52 µg/m <sup>3</sup> (estación XAL)	---	15 µg/m <sup>3</sup> promedio anual
Plomo (Pb) <sup>11</sup>	Sí	---	---	---	1.5 µg/m <sup>3</sup> promedio trimestral	0.125 µg/m <sup>3</sup> (estación XAL)

NOTA: EAC – estación ENEP-Acatlán; VIF – estación Villa de las Flores; TLA – estación TlalnepanTLA

<sup>4</sup> Se obtienen de la siguiente forma: O<sub>3</sub> promedio de 1 hora, máximo anual de promedios de una hora y O<sub>3</sub> promedio de 8 horas, quinto máximo anual de promedios móviles de 8 horas; CO, máximo anual de promedios móviles de 8 horas; SO<sub>2</sub>, máximo anual de promedios de 24 horas; PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, percentil 98 de promedios de 24 horas; NO<sub>2</sub>, máximo anual de promedios de una hora.

<sup>5</sup> Se obtienen de la siguiente forma: SO<sub>2</sub>, PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, promedio aritmético anual; Pb, promedio aritmético trimestral.

<sup>6</sup> Modificación a la NOM-020-SSA1-1993, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 30 de octubre de 2002.

<sup>7</sup> NOM-021-SSA1-1993, publicada en el DOF el 23 de diciembre de 1994.

<sup>8</sup> NOM-022-SSA1-1993, publicada en el DOF el 23 de diciembre de 1994.

<sup>9</sup> NOM-023-SSA1-1993, publicada en el DOF el 23 de diciembre de 1994.

<sup>10</sup> Modificación a la NOM-025-SSA1-1993, publicada en el DOF el 26 de septiembre de 2005.

<sup>11</sup> NOM-026-SSA1-1993, publicada en el DOF el 23 de diciembre de 1994.

### 3.2 Evaluación del estado de la calidad del aire con base en el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire - IMECA

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) es el medio para informar cada hora a la población de la ZMVM, qué tan limpio o contaminado se encuentra el aire. Si el IMECA de un contaminante es mayor a 100 puntos significa que hay un riesgo de afectación a la salud.



El IMECA se calcula para los contaminantes: O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. El proceso de cálculo del IMECA se define en la Norma Técnica Ambiental del Distrito Federal (NADF-009-AIRE, 2006). El IMECA se describe con valores, calificativos, colores y recomendaciones para facilitar su interpretación a la población, por ejemplo, si el IMECA tiene valores entre 0 y 50 la calidad del aire se califica como “buena”, se le asocia el color verde y la recomendación sería “adecuada para llevar a cabo actividades al aire libre”.

**Tabla 2. Índice Metropolitano de la Calidad del Aire para la comunicación de riesgos a la salud.**

VALORES	CALIFICACIÓN	COLOR	RECOMENDACIONES
0 - 50	Buena	Verde	Adecuada para llevar a cabo actividades al aire libre.
51 - 100	Regular	Amarillo	Posibles molestias en niños, adultos mayores y personas con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias como el asma.
101 - 150	Mala	Naranja	Causante de efectos adversos a la salud en la población, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias como el asma.
151 - 200	Muy Mala	Rojo	Causante de mayores efectos adversos a la salud en la población en general, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias como el asma.
>200	Extremadamente Mala	Púrpura	Causante de efectos adversos a la salud de la población en general. Se pueden presentar complicaciones graves en los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias como el asma.

La revisión histórica<sup>12</sup> de los días con valores IMECA mayores a 100 puntos para el período de 1990 a 2007 (Tabla 3), muestra que el O<sub>3</sub> ha tenido año con año la mayor frecuencia y que en los últimos años ésta ha disminuido, reflejando así la situación de riesgo descrita en el apartado anterior. En 2007 las excedencias a 100 puntos ocurrieron en promedio durante 2 horas en 220 días.

El cálculo del IMECA de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se realiza con promedios móviles de 24 horas como un procedimiento para adaptar el indicador que establece la NOM. En el caso del IMECA de PM<sub>10</sub> se

<sup>12</sup> Para homologar las condiciones de esta revisión se recalculó el IMECA en el período 1990 – 2007 con base en los lineamientos que establece la NADF-009-AIRE, 2006, en el caso de las PM<sub>10</sub> y las PM<sub>2.5</sub> se consideraron promedios móviles de 24 horas.

observa un cambio en la frecuencia de días con calidad del aire “mala” o “muy mala” a partir del año 1999; en 2007 se registraron 35 días con calidad del aire “mala”. Por su parte, el IMECA de PM2.5 muestra que en 2007 más del 37% de los días del año reportan una calidad del aire “mala”. El IMECA de CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> durante 2007 presentaron una calidad del aire “regular” o “buena” (Tabla 3).

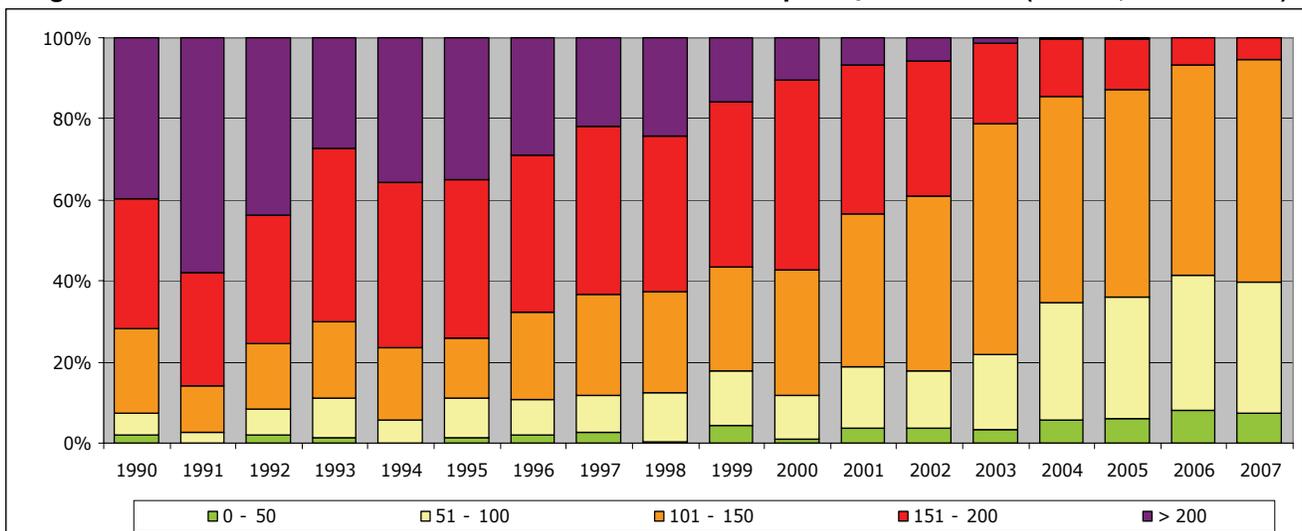
**Tabla 3. Número de días con valores del IMECA superiores a 100 puntos.**

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
O <sub>3</sub> <sup>13</sup>	No de días	328	353	332	324	344	324	327	322	320	300	323	296	300	285	237	233	214	220
	Promedio de horas	5	7	6	5	5	5	5	4	5	4	4	4	4	3	2	2	2	2
NO <sub>2</sub>	No de días	29	13	8	28	27	34	80	36	29	18	23	1	0	5	3	3	1	0
CO	No de días	29	81	26	2	0	5	7	1	5	2	2	0	0	0	0	0	0	0
SO <sub>2</sub>	No de días	4	2	15	0	0	0	2	0	0	0	7	17	3	0	0	0	0	0
PM <sub>10</sub>	No de días	---	---	---	---	---	92	180	153	189	20	45	49	19	56	16	17	36	35
PM <sub>2.5</sub>	No de días	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	67	182	192	156	138

PM<sub>10</sub>. Su monitoreo con analizadores automáticos como método de referencia inició desde 1993, pero la suficiencia de información se alcanzó en 1995.  
 PM<sub>2.5</sub> Su monitoreo con analizadores automáticos como método de referencia inició en 2003, pero la suficiencia de información se alcanzó en 2004.

En el caso del O<sub>3</sub> a partir del año 2004, se observa una disminución en los días con calidad del aire “extremadamente mala” y “mala”, así como un incremento en los días con calidad del aire “buena”, “regular” y “mala” (Figura 1 y Tabla A12 del Anexo 2).

**Figura 1. Frecuencias de días conforme a la calidad del aire por O<sub>3</sub> en la ZMVM (IMECA, 1990 – 2007).**

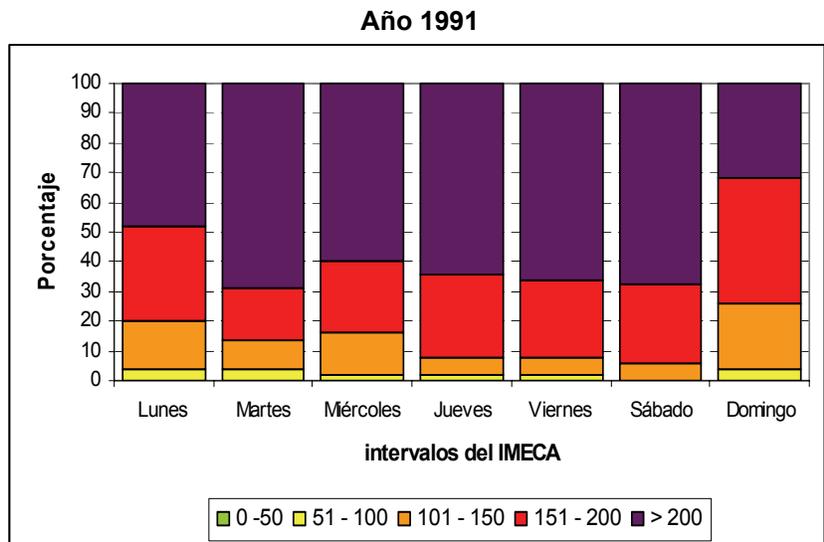
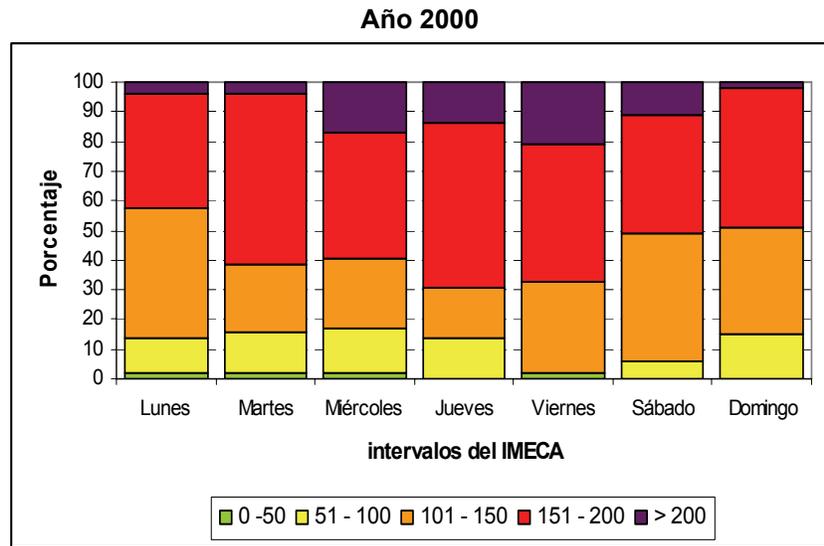
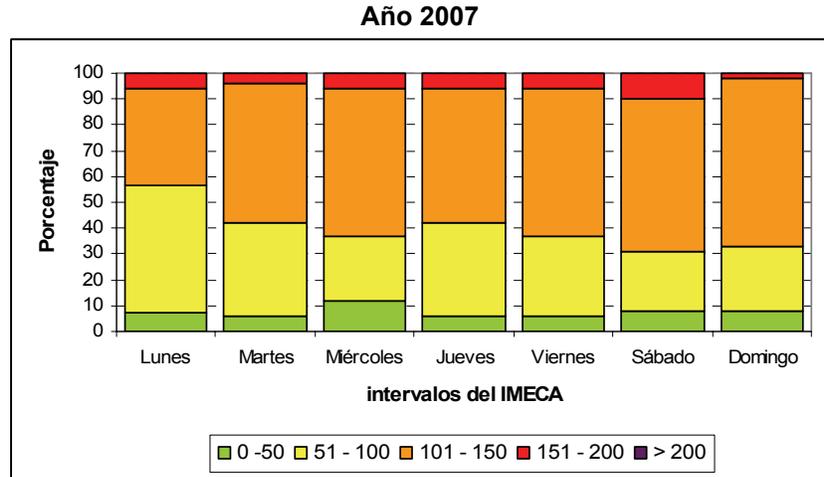


<sup>13</sup> La NADF-009-AIRE, 2006 contempla el cálculo del IMECA de O<sub>3</sub> considerando el límite de 0.11 ppm, promedio de una hora.

**Figura 2. Distribución de la calidad del aire por O<sub>3</sub>, por día de la semana (IMECA 1991, 2000 y 2007).**

Durante 2007, los lunes registraron la mejor calidad del aire por O<sub>3</sub>, con un 57% de días menores a 100 puntos IMECA. En contraste los fines de semana se registraron el menor número de días con calidad del aire menor a 100 puntos IMECA, 31% en sábados y 33% en domingos (Figura 2).

Comparativamente en el año 2000 los días de la semana con mayor frecuencia de calidad del aire “buena” o “regular”, fueron los miércoles (17%), domingos y martes (15%). Mientras que en el año 1991 la calidad del aire predominante fue “extremadamente mala”, los días calificados como “regulares” llegaron a representar sólo un 4% en domingos, lunes y martes (Tabla A4 del Anexo 2).



### 3.3 Contingencias ambientales atmosféricas

El 30 de agosto de 2006<sup>14</sup> la Comisión Ambiental Metropolitana realizó una adecuación a los niveles de activación del PCAA, con base en las aplicación de nuevas políticas de gestión y con el propósito de salvaguardar la salud de la población (GODF, 2006). Esta revisión actualiza los valores modificados el 30 de octubre de 1998 (GODF, 1998).

En 2007 se activó en 3 ocasiones el PCAA en la fase de Precontingencia Ambiental por O<sub>3</sub>. La Fase I por O<sub>3</sub> no se ha activado desde septiembre del 2002 (Tabla 4).

La instrumentación del PCAA por PM<sub>10</sub> ha ocurrido en los días 25 de diciembre o 1 de enero de los últimos años, esta situación se asocia con la quema de juegos pirotécnicos o materiales como madera, plásticos y llantas usadas.

**Tabla 4. Instrumentación del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas, 1990 – 1992, 1995, 1998 – 2007.**

Fase del PCAA	1990	1991	1992	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Precontingencia de O <sub>3</sub>	---	---	---	---	77	39	24	14	9	2	0	0	0	3
Precontingencia de PM <sub>10</sub>	---	---	---	---	4	0	3	0	0	1	0	1	2	0
Contingencia Fase I de O <sub>3</sub>	---	2	4	5	4	3	0	0	1	0	0	0	0	0
Contingencia Fase I de PM <sub>10</sub>	---	---	---	---	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
Contingencia combinada de O <sub>3</sub> y PM <sub>10</sub>	---	---	---	---	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Contingencia Fase II de O <sub>3</sub>	---	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Contingencia Fase II de PM <sub>10</sub>	---	---	---	---	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La fase de Precontingencia del PCAA no se instrumentaba antes de 1998.

### 3.4 Incrementos extraordinarios de contaminación

El 5 de diciembre del año 2000 se instrumentó un sistema para informar la presencia de concentraciones horarias atípicas (extraordinarias) de PM<sub>10</sub> ( $\geq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> ( $\geq 0.200 \text{ ppm}$ ), para que las autoridades apliquen de manera inmediata acciones de inspección de emisiones, con el propósito de anticipar algún impacto nocivo en la salud de la población.

Desde la instrumentación de este sistema, el mayor número de incrementos se registraron en el Estado de México por PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub>, comparado con el Distrito Federal (Tabla 5). Durante 2007 se registraron el menor número de eventos.

<sup>14</sup> El 30 de agosto de 2006 se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, el decreto por el que se modifica y adiciona el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas. De esta forma, la Fase de Precontingencia se activa, cuando el IMECA de PM<sub>10</sub> es mayor a 160 puntos ( $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , conforme a la NADF-009-AIRE, 2006) o el IMECA de O<sub>3</sub> es mayor a 170 puntos (0.187 ppm, conforme a la NADF-009-AIRE, 2006) y la Fase I se activa cuando el IMECA de PM<sub>10</sub> es mayor a 175 puntos ( $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , conforme a la NADF-009-AIRE, 2006) o el IMECA de O<sub>3</sub> es mayor a 200 puntos (0.220 ppm, conforme a la NADF-009-AIRE, 2006).

**Tabla 5. Incrementos extraordinarios registrados en el Distrito Federal y Estado de México.**

Año	PM <sub>10</sub>		SO <sub>2</sub>		NO <sub>2</sub>	
	Distrito Federal	Estado de México	Distrito Federal	Estado de México	Distrito Federal	Estado de México
2000	1	12	0	12	---	---
2001	25	120	8	85	---	---
2002	27	56	6	27	---	---
2003	72	108	7	15	7	1
2004	22	39	7	34	3	1
2005	19	50	10	57	3	1
2006	48	58	3	16	0	2
2007	2	14	1	15	0	0

El año 2000 incluye información desde el día 5 de diciembre, lo que debe considerarse al comparar con el resto de los años. Antes de marzo de 2003 no se reportaban eventos extraordinarios por NO<sub>2</sub>.



## 4 ANÁLISIS DE TENDENCIA DE CONTAMINANTES CRITERIO Y LLUVIA ÁCIDA

### 4.1 Técnicas para el análisis de tendencia

Con el propósito de evaluar el impacto de las acciones de prevención y control de la contaminación atmosférica en la ZMVM, en este capítulo se determinan los cambios en las concentraciones de los contaminantes a lo largo del tiempo, para verificar los impactos positivos o negativos de las acciones instrumentadas en los programas de control (PICCA, 1990; PROAIRE 1995 – 2000, 1996; PROAIRE 2002 – 2010, 2002).

La información del monitoreo del SIMAT se procesa mediante herramientas estadísticas que disminuyen la incertidumbre o heterogeneidad para estimar la tendencia de los diferentes contaminantes e inferir de forma objetiva acerca de la eficiencia de los programas antes mencionados.

Para el análisis de tendencia de las concentraciones de los gases y partículas, se evalúan los siguientes aspectos.

- Suficiencia de datos
- Selección de indicadores de tendencia
- Identificación de homogeneidad entre estaciones

#### 4.1.1 Desempeño anual y suficiencia histórica de las estaciones de monitoreo

La operación adecuada de una estación de monitoreo garantiza la información suficiente para realizar estudios de tendencia, para lo anterior es importante evaluar lo siguiente en cada una:

Desempeño anual. Con este criterio se evalúa la suficiencia de información anual de una estación, la cual se califica de la siguiente forma:

**Bueno:** cantidad de registros mayor o igual al 75%

**Regular:** mayor al 50% y menor al 75%

**Malo:** menor o igual al 50%

Para incluir la información de una estación de monitoreo al análisis de tendencia, sólo se consideran los años con un desempeño anual “bueno”.

#### 4.1.2 Indicadores de tendencia

El análisis de tendencia se realizó por medio de indicadores para cada contaminante atmosférico, los cuales deben evitar el sesgo que provocan las concentraciones altas que se asocian a eventos específicos o puntuales de contaminación. En este informe se emplea el percentil 90 como el

indicador de tendencia, ya que representa hasta el 90% de los registros de una población y caracteriza los valores altos, minimizando la influencia de eventos atípicos.

#### **4.1.3 Evaluación de tendencia**

El análisis de tendencia se realiza para cada estación de monitoreo por medio de la prueba estadística no paramétrica de Mann Kendall (Gilbert, 1987). Cuando la tendencia es creciente o decreciente se estima una tasa de cambio anual (pendiente de cambio –  $m$ ) por medio de la prueba estadística de Sen (Gilbert, 1987), la cual considera el efecto de la variación estacional. También se estima el porcentaje de cambio entre los indicadores del primero y último año del período de análisis (% de cambio).

Si en una estación el patrón de tendencia presenta un cambio rápido en un período de años y posteriormente tiene un período de años con cambio lento, la estimación de la tasa de cambio puede sobre o subestimarse. Cuando el patrón del comportamiento de una estación no presenta tendencia, no se estiman los parámetros señalados.

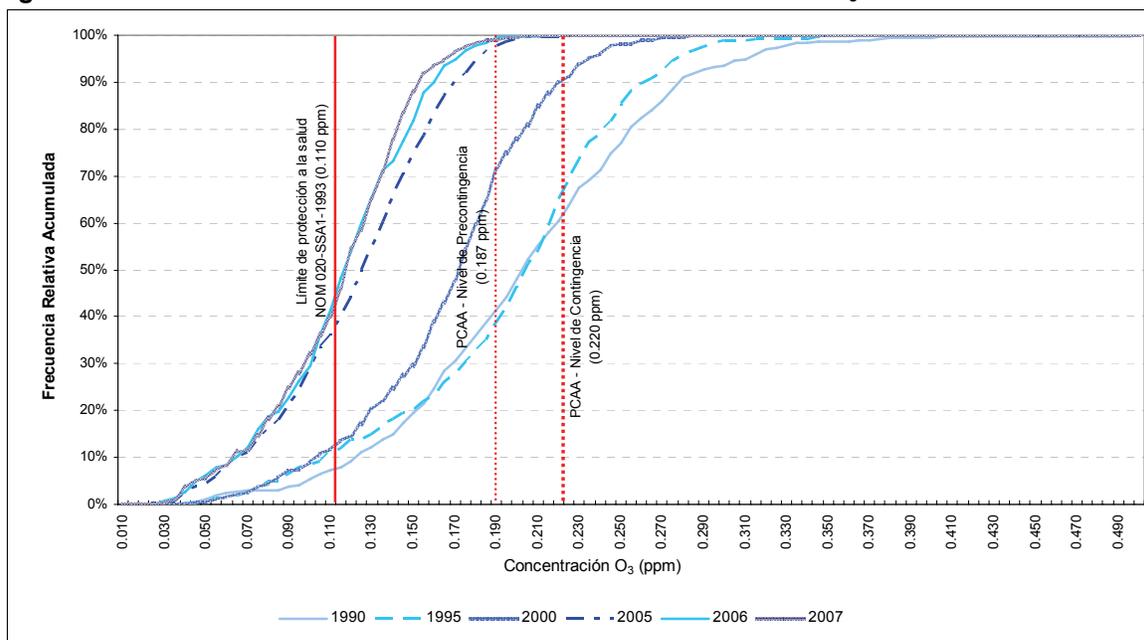
#### **4.1.4 Homogeneidad en el comportamiento de estaciones por contaminante**

Para comparar el comportamiento de las estaciones de monitoreo se evalúa la similitud u “homogeneidad” del patrón de tendencia en todas las estaciones de monitoreo, esto es, se determina si el comportamiento es decreciente o creciente en todas las estaciones. En este informe la homogeneidad se evalúa por medio de la prueba de Mann-Kendall y se infiere a partir del estadístico ji-cuadrada de homogeneidad (Gilbert, 1987).

### **4.2 Tendencia del ozono y de los óxidos de nitrógeno**

El comportamiento de las frecuencias relativas acumuladas de  $O_3$  para años específicos del período 1990 – 2007 (Figura 3), muestra el decremento de sus concentraciones máximas con respecto a los lineamientos vigentes en la NOM y el PCAA, y se destaca que en los dos últimos años se ha incrementado la frecuencia de días que están por debajo de estos límites (desplazamiento hacia la izquierda).

**Figura 3. Distribución de las concentraciones máximas diarias de O<sub>3</sub> en la ZMVM 1990 – 2007.**

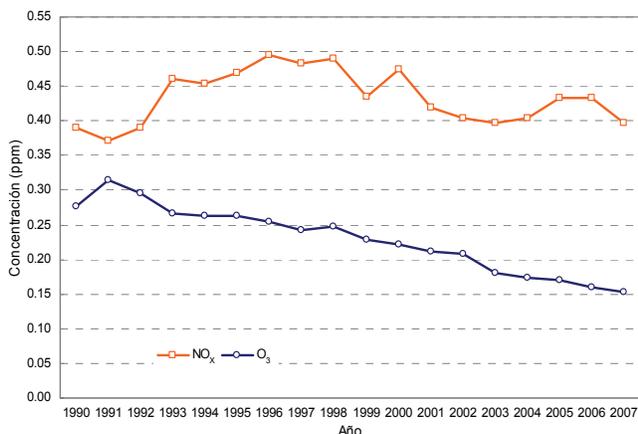


El análisis de tendencia del O<sub>3</sub> y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), uno de sus principales precursores, para el período 1990 – 2007 indica:

- ☺ En 18 estaciones de monitoreo<sup>15</sup> de O<sub>3</sub> el desempeño anual se califica “bueno” (Figura 4).
- ☺ El patrón general de tendencia en 17 de estas estaciones fue homogéneo y decreciente, sólo en Chapingo (CHA) el patrón no fue estadísticamente significativo y se infiere que no presenta tendencia. En el Mapa 2 se aprecia que la estación CHA presenta un patrón sin tendencia en los últimos años.
- ☹ Al revisar los patrones de tendencia de las estaciones de monitoreo (líneas sólidas en el Mapa 2) se aprecian diferencias en sus decrementos, la estación con el mayor decremento anual (tasa o *m* de cambio) fue Santa Ursula (SUR) con 0.0094 ppm, su decremento en 2006 fue de 0.0110 ppm, esto indica que en 2007 se incrementó la magnitud de las concentraciones de O<sub>3</sub> en esta estación y por esto decreció la tasa de cambio.
- ☹ El mayor cambio porcentual de las concentraciones de O<sub>3</sub> a lo largo del período 1990 – 2007, fue de 53.5 en las estaciones Plateros (PLA) y ENEP Acatlán (EAC), esto sugiere que sus concentraciones disminuyeron en un 50% durante este período.

<sup>15</sup> LAG, TAC, EAC, SAG, AZC, TLA, XAL, MER, PED, CES, PLA, UIZ, TAX, CUA, TPN, CHA, TAH y SUR.

**Figura 4. Tendencia de las concentraciones de O<sub>3</sub> en la ZMVM (Percentil 90), 1990 – 2007.**



Estaciones con tendencia decreciente					
	No de estaciones	% de cambio		<i>m</i> de cambio	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
O <sub>3</sub>	17	34.2	53.5	0.0031	0.0094
NO <sub>x</sub>	3	8.4	39.3	0.0024	0.0052
Estaciones con tendencia creciente					
NO <sub>x</sub>	6	17.7	121.3	0.0022	0.0081
Estaciones sin tendencia					
NO <sub>x</sub>	8				

- ☺ En 17 estaciones de monitoreo<sup>16</sup> de NO<sub>x</sub> el desempeño anual se califica “bueno” (Figura 4).
- ☹ El patrón general de los NO<sub>x</sub> es irregular y sin tendencia. Al nivel de estación de monitoreo sólo en 3 se determinó que la tendencia es homogénea y decreciente<sup>17</sup>,
- ☹ En complemento, en 6 estaciones<sup>18</sup> se determinó que la tendencia es creciente y en 8 no se definió algún patrón de tendencia<sup>19</sup>. En el Mapa 2 se aprecia que los patrones de tendencia de NO<sub>x</sub> tienen oscilaciones (líneas con cruces) y falta de consistencia en los años en que disminuyen los NO<sub>x</sub>.
- ☹ En el caso de la estación PED se estimó un decremento anual de 0.0052 ppm. A lo largo del período 1990 a 2007 se estimó que los NO<sub>x</sub> decrecieron en un 40%.

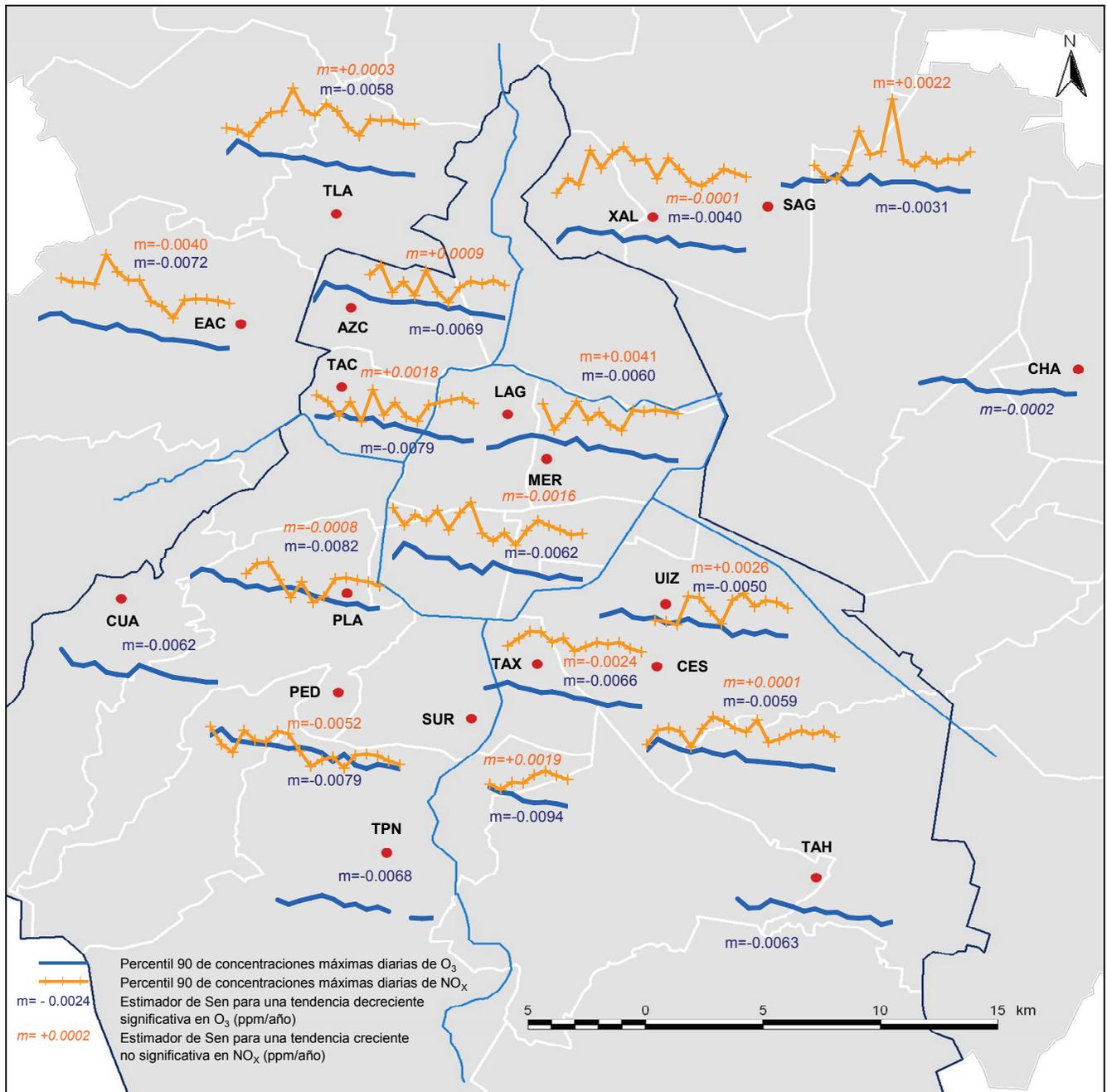
<sup>16</sup> TAC, EAC, SAG, TLA, XAL, MER, PED, CES, TLI, ATI, VIF, PLA, LAG, AZC, UIZ, TAX y SUR.

<sup>17</sup> TAX, PED, EAC.

<sup>18</sup> SAG, TLI, ATI, VIF, LAG y UIZ.

<sup>19</sup> TAC, TLA, XAL, MER, CES, PLA, AZC y SUR.

Mapa 2. Tendencia de las concentraciones de O<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> en las estaciones del SIMAT, 1990 – 2007.

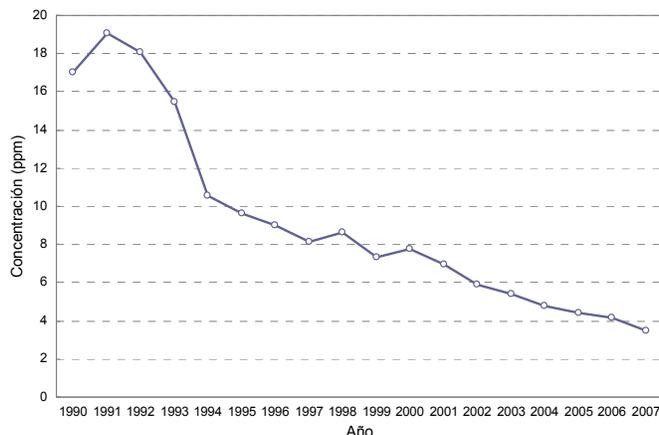


### 4.3 Monóxido de carbono

El análisis de tendencia del CO indica lo siguiente:

- ☺ En 15 estaciones de monitoreo<sup>20</sup> de CO el desempeño anual se califica “bueno”.
- ☹ En 2007 la estación de monitoreo Metro Insurgentes (MIN) estuvo fuera de operación debido a actos de vandalismo, por lo que su desempeño anual se califica “regular”.
- ☺ En las 15 estaciones de monitoreo el patrón de tendencia durante 2007 fue homogéneo y decreciente, este patrón es consistente con el de 2006.
- ☺ En 2007 el mayor decremento anual (tasa o *m* de cambio) fue de 0.40 ppm en la estación Taxqueña (TAX). El mayor cambio porcentual fue para la estación PED al estimarse que entre 1990 y 2007 disminuyó en 80.6% la magnitud de las concentraciones de CO.

**Figura 5. Tendencia de las concentraciones de CO en la ZMVM (Percentil 90), 1990 – 2007.**



Estaciones con tendencia decreciente				
Número de estaciones	% de cambio		<i>m</i> de cambio	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
15	43.7	80.6	0.132	0.40

### 4.4 Dióxido de azufre

En la tendencia del SO<sub>2</sub> se destacan los siguientes aspectos:

- ☺ En 2007 el desempeño anual se califica “bueno” en 20 estaciones de monitoreo<sup>21</sup> de SO<sub>2</sub>.
- ☹ Aún cuando el comportamiento del SO<sub>2</sub> a lo largo del período 1990 – 2007 es irregular y en el último año se aprecia un incremento, el análisis indicó que en 16 estaciones su tendencia es homogénea y decreciente, y que en las estaciones Tultitlán (TLI), Atizapán (ATI), Villa de las Flores (VIF) y Lagunilla (LAG) no se presentó tendencia.
- ☹ Al comparar con 2006, durante 2007 las tasas anuales (tasa o *m* de cambio) de SO<sub>2</sub> decrecieron; por ejemplo, en la estación XAL el decremento anual fue de 0.0020 ppm, cuando en 2006 fue de

<sup>20</sup> LAG, TAC, EAC, TLA, XAL, MER, PED, PLA, UIZ, IMP, TAX, TLI, VIF, SAG, VAL.

<sup>21</sup> SUR, TAC, EAC, LPR, LVI, SAG, AZC, TLA, XAL, MER, PED, CES, TLI, ATI, VIF, TAH, LAG, PLA, UIZ, TAX.

0.0035 ppm. Esta disminución de las tasas anuales de cambio puede asociarse con el incremento que tuvo el SO<sub>2</sub> en el último año (Figura 6).

**Figura 6. Tendencia de las concentraciones de SO<sub>2</sub> en la ZMVM (Percentil 90), 1990 – 2007.**



#### 4.5 Lluvia ácida

El fenómeno de lluvia ácida es preocupante por sus efectos negativos en los tejidos vegetales que pueden provocar el deterioro de árboles y plantas, e incluso su muerte. Al nivel del ecosistema ocasiona la muerte de microorganismos que descomponen la materia orgánica del suelo y que aportan nutrientes para las plantas, también reduce la disponibilidad de minerales y ocasiona la lixiviación de nutrientes, y puede incrementar la solubilidad de iones tóxicos (aluminio, hierro, manganeso, mercurio, etc.) que con el paso del tiempo llegan a contaminar el agua superficial o subterránea y afectar a los organismos que las habitan o consumen (Fenn *et al.*, 2002; Bingman, 1987; Valroff, 1985).

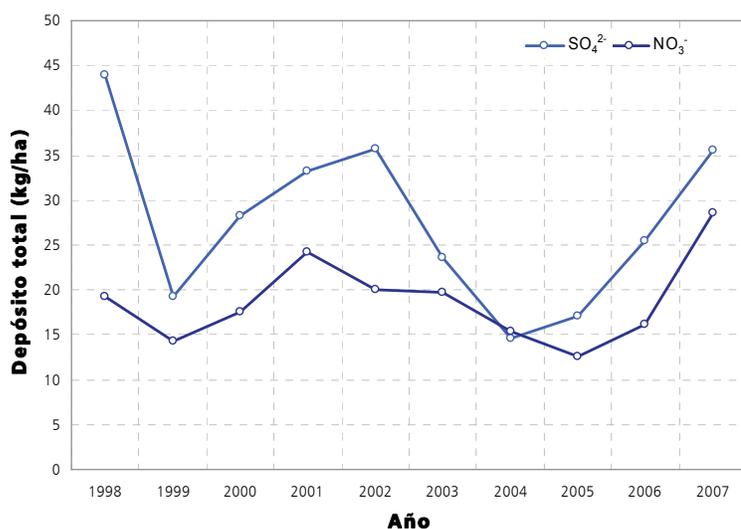
El origen de este fenómeno se debe a la emisión de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, que al combinarse con la humedad atmosférica forman ácidos fuertes (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y HNO<sub>3</sub>) que acidifican el agua de lluvia. En condiciones naturales el agua de lluvia tiene un pH ligeramente ácido (5.6) debido a la presencia de ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) en la atmósfera.

En el SIMAT se lleva a cabo la medición de los iones<sup>22</sup> sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) y nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) disueltos en el agua de lluvia, los cuales son un indicativo del comportamiento y evolución que tiene la lluvia ácida.

<sup>22</sup> Un ión es un átomo o agrupación de átomos que por pérdida o ganancia de uno o más electrones adquiere carga eléctrica. Un anión es un ión con carga negativa y un catión es un ión con carga positiva.

- ☹ La serie de tiempo de 1998 a 2007 muestra un comportamiento irregular de ambos indicadores (Figura 7).
- ☹ A partir de 2005 hay un repunte de los niveles de  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$
- ☹ El incremento en la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  sugiere un incremento en las emisiones de especies derivadas del azufre (S).

**Figura 7. Comportamiento de la concentración promedio de  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$  en agua de lluvia en la ZMVM, 1998–2007.**



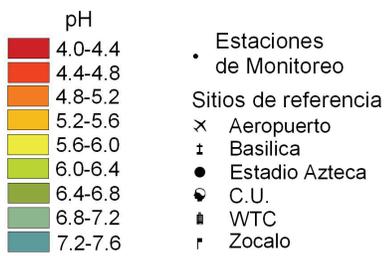
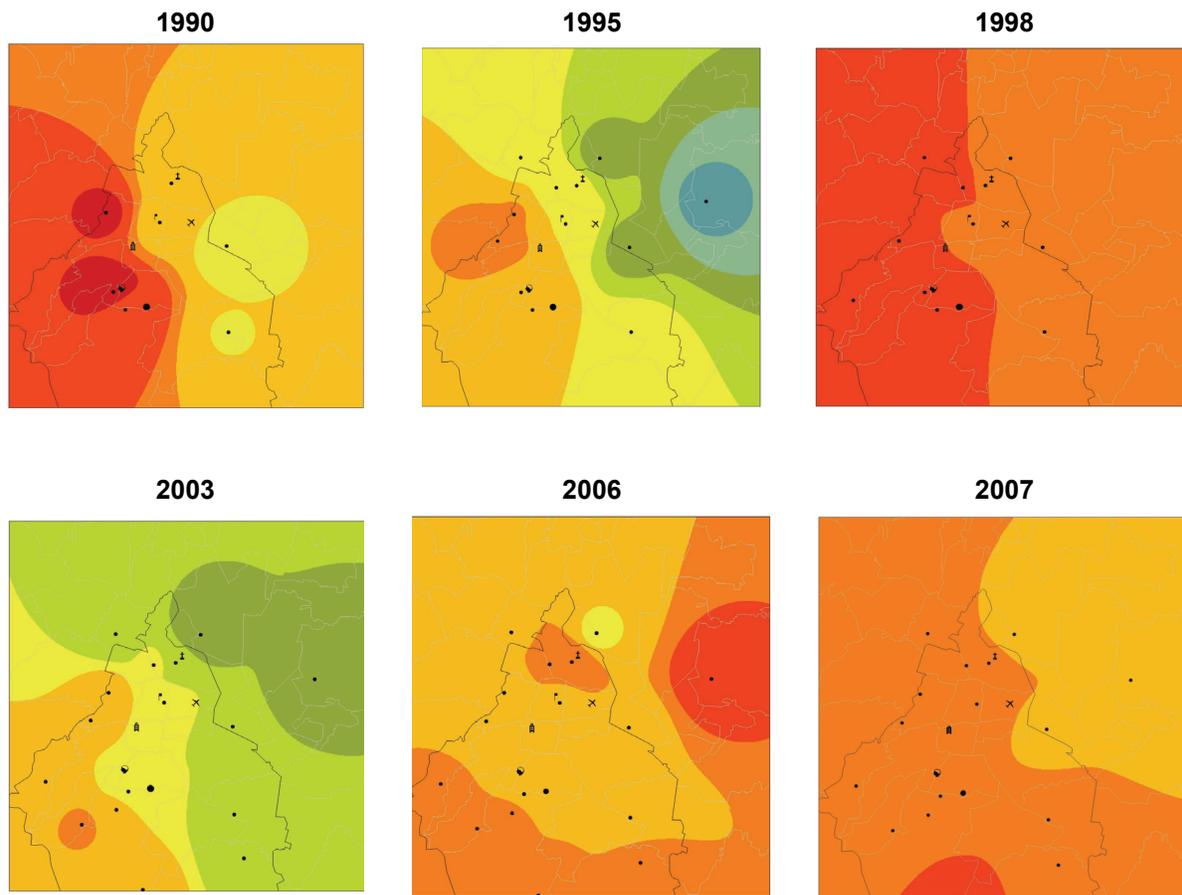
El análisis de la distribución espacial de los registros del pH del agua de lluvia (Figura 8)<sup>23</sup>, señala que:

- ☹ Durante 2007 se registraron 17 eventos semanales de lluvia ácida, de un total de 22 semanas de análisis (Tabla A13 y A14 del Anexo 2).
- ☹ En la estación Parres (PAR) se registró el valor de  $\text{pH}^{24}$  más bajo con 4.6 unidades.
- ☹ La zona más afectada es la zona de conservación y agrícola.
- ☹ A partir del año 2006 se registran nuevamente eventos de lluvia ácida en toda la ZMVM.

<sup>23</sup> En 1998 el registro de eventos de lluvia se realizaba con colectores convencionales, posteriormente se emplearon equipos semiautomáticos.

<sup>24</sup> promedio ponderado anual

Figura 8. Distribución espacial histórica del pH del agua de lluvia en la ZMVM (1990 – 2007).



#### 4.6 Partículas

En el Capítulo 1 de este informe (Tabla 1) se señaló que en la ZMVM aún se presentan concentraciones de PST que motivan el incumplimiento de la NOM, no obstante el análisis de tendencia indicó lo siguiente:

- ☺ En las 6 estaciones de monitoreo que registran PST <sup>25</sup> el desempeño anual se califica como “bueno”.
- ☺ En las 6 estaciones el patrón de tendencia fue homogéneo y decreciente (Figura 9).
- ☺ En 2007 el mayor decremento anual (tasa o *m* de cambio) correspondió a la estación XAL con 21.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que en 2006 fue de 21.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esto indica que en 2007 continuaron disminuyendo las concentraciones de PST a un ritmo similar.
- ☺ Se estima que en la estación Cerro de la Estrella (CES) disminuyeron las concentraciones de PST en cerca de 64.5% de 1990 a 2007 y en la estación PED disminuyeron en 30.14%.

**Figura 9. Tendencia de las concentraciones de PST en la ZMVM (Percentil 90), 1990 – 2007.**



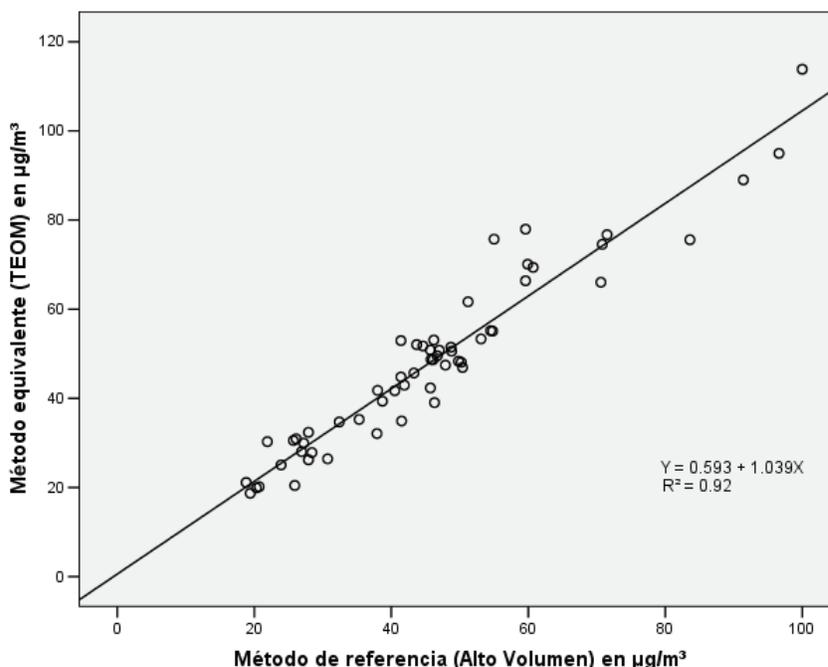
Estaciones con tendencia decreciente				
Número de estaciones	% de cambio		<i>m</i> de cambio	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
6	30.1	64.5	2.6	21.8

El análisis de las PM<sub>10</sub> se realizó a partir de la información obtenida con el método de referencia y el método equivalente. Desde el año 2000 el SIMAT homologó el desempeño de los métodos de referencia y equivalentes de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, los resultados<sup>26</sup> (Figura 10) indican que es pertinente usar la información de ambos métodos para evaluar el estado de las PM<sub>10</sub>.

<sup>25</sup> CES, MER, PED, TLA, XAL, UIZ.

<sup>26</sup> El análisis se realizó por medio de regresión lineal, el parámetro  $R^2$  indica qué tan bueno es el modelo para explicar la relación entre las variables, mientras más cercano a 1 el modelo es mejor.

**Figura 10. Correlación de registros de PM<sub>10</sub> obtenidos con los métodos de referencia y equivalentes, 2007.**



Los resultados del análisis de PM<sub>10</sub> fueron los siguientes:

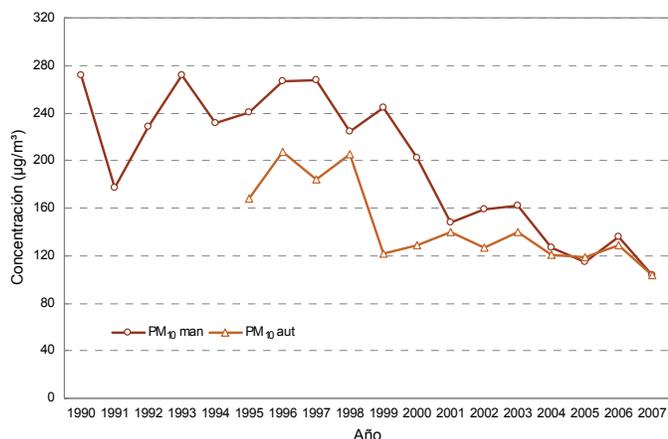
- ☺ En las 10 estaciones de monitoreo<sup>27</sup> de PM<sub>10</sub> equipadas con analizadores manuales (método de referencia) y en las 13<sup>28</sup> que están equipadas con analizadores automáticos (método equivalente), el desempeño anual se califica “bueno”.
- ☺ En las 10 estaciones equipadas con analizadores manuales la tendencia de las PM<sub>10</sub> entre 1990 y 2007 fue homogénea y decreciente. En 2007 se registraron las menores concentraciones de este período de monitoreo.
- ☺ El mayor decremento anual en el período referido fue de 8.8 µg/m<sup>3</sup> en la estación XAL, superando el decremento de 8.5 µg/ m<sup>3</sup> que se obtuvo de 1990 a 2006. Se estima que en esta estación las concentraciones de PM<sub>10</sub> han decrecido hasta en 63.9% de 1990 a 2007.
- ☺ En contraste y aún cuando en 2007 se registraron las menores concentraciones de PM<sub>10</sub> del período 1995 – 2007, sólo en 7 de las estaciones<sup>29</sup> equipadas con analizadores automáticos se estimó que la tendencia fue homogénea y decreciente.
- ☺ El análisis de los registros de PM<sub>10</sub> provenientes de analizadores automáticos, indicó que el mayor decremento anual (tasa o *m* de cambio) fue de 2.7 µg/m<sup>3</sup> en la estación CES y que a lo largo de 1995 y 2007 la magnitud de sus concentraciones disminuyó en 40.4%.

<sup>27</sup> CES, MER, PED, TLA, XAL, LOM, LPR, NTS, SHA, UIZ.

<sup>28</sup> LVI, TLA, XAL, MER, PED, CES, VIF, TAH, SUR, EAC, PLA, SAG, TAX.

<sup>29</sup> LVI, TLA, MER, PED, CES, PLA, TAX.

**Figura 11. Tendencia de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en la ZMVM (Percentil 90), 1990 – 2007.**



Estaciones con tendencia decreciente					
Método	# estaciones	% de cambio		m de cambio	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
referencia (manual)	10	22.8	63.9	1.9	8.8
equivalente (automático)	7	16.9	40.4	1.1	2.7

#### 4.7 Plomo

El plomo es uno de los contaminantes sobre los que se ha logrado un mayor control debido a que las concentraciones actuales son bajas, en el futuro se espera continuar manteniendo estos niveles bajos tanto en PST como en PM<sub>10</sub>.

Es importante señalar que a partir del año 2005 las concentraciones se encuentran por debajo del límite de detección de la técnica de análisis (Tabla 6). En el caso particular de la estación PED cada año se aprecian más registros por debajo del límite de detección, en el año 2007 se registraron 52 muestras en PM<sub>10</sub> y 39 en PST por debajo del límite de detección, de un total de 55 muestreos.

**Tabla 6. Muestreos de Pb en PST y PM<sub>10</sub>, concentraciones menores al límite de detección (<LD) 2005 – 2007.**

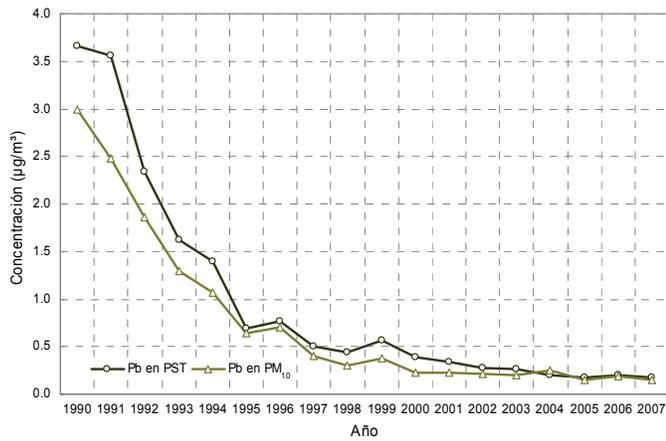
Año	Muestreos	CES		MER		PED		TLA		XAL		UIZ		NTS	LPR
		PM <sub>10</sub>	PST	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>										
2005	<LD	27	11	15	5	40	22	8	3	13	2	29	12	23	11
	Total	59	60	58	58	60	60	59	60	59	58	59	60	61	55
2006	<LD	15	5	10	1	25	15	0	0	10	3	15	7	21	10
	Total	59	57	58	60	57	57	56	55	57	59	57	58	59	55
2007	<LD	40	28	25	15	52	39	17	8	19	6	36	28	33	17
	Total	56	54	58	58	55	55	58	58	56	56	54	53	55	53

- ☺ En las 6 estaciones de monitoreo<sup>30</sup> de Pb en PST y en las 7 estaciones de monitoreo<sup>31</sup> de Pb en PM<sub>10</sub>, el desempeño anual se califica como “bueno” (Figura 12).
- ☺ En ambos tipos de partículas la disminución del Pb fue considerable entre 1990 y 1995, y el comportamiento de los años subsecuentes sugiere su control.
- ☺ El mayor decremento en la tendencia del Pb se presentó en la estación XAL, con un decremento anual de 0.10 µg/m<sup>3</sup>, similar al reportado años atrás.

<sup>30</sup> CES, MER, PED, TLA, XAL y UIZ.

<sup>31</sup> CES, MER, TLA, XAL, NTS, UIZ y LPR.

**Figura 12. Tendencia de las concentraciones de Pb en la ZMVM (Percentil 90), 1990 – 2007.**



Estaciones con tendencia decreciente					
Criterio	# estaciones	% de cambio		<i>m</i> de cambio	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Pb en PST	6	57	135	0.0090	0.1040
Pb en PM <sub>10</sub>	5	49	147	0.0051	0.0925



## 5 ANÁLISIS DEL CLIMA DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

El SIMAT efectúa mediciones de temperatura (TMP), humedad relativa (HR), dirección del viento (DV) y velocidad del viento (VV) desde 1986, por lo que cuenta con una serie de registros de 21 años susceptible de análisis para identificar el comportamiento de estos parámetros meteorológicos y caracterizar las condiciones del clima de la ZMVM.

Inicialmente se revisó la cantidad de registros por estación de monitoreo y se encontraron períodos con ausencia entre 1986 y 1989, por lo que se descartaron estos años del análisis. Posteriormente se revisó que las estaciones cumplieran con el criterio de suficiencia de información de más del 75% de registros horarios anuales, las estaciones CES, EAC, MER, PLA, XAL y TLA cumplieron con este criterio en la mayoría de los años de 1990 a 2007. Cabe mencionar en el caso de la HR que en el año 2007 ninguna estación cumple con el criterio de suficiencia. En este análisis se excluyeron los valores de velocidad del viento de  $0.5 \text{ m/s}^{32}$  y menores por considerarse calmas.

En el siguiente paso se revisó la consistencia de las series de 1990 a 2007 de los registros de cada parámetro meteorológico, es decir se identificó que los patrones anuales fueran homogéneos y que las posibles variaciones se explicaran en función de cambios naturales del clima, como es la presencia del fenómeno de “*El Niño*” entre 1991-1992 y 1997-1998. Las diferencias espaciales de los registros se pueden explicar por los tipos de clima en la ZMVM, por ejemplo en la estación MER el clima está definido como semiárido templado con verano cálido, en las estaciones restantes el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (Centro Geo, 2003; SMA, 2006). Los cambios abruptos en una serie se relacionan con fallas en la operación de los instrumentos o condiciones de medición.

La consistencia se evaluó empleando la metodología de Colotti *et al* (Colotti, 2001) para los parámetros TMP, HR y VV, en las seis estaciones del SIMAT y en seis estaciones del Sistema de Aguas del Distrito Federal cercanas a las anteriores<sup>33</sup>. Este método considera las condiciones generales del clima en una región a lo largo de los años y detecta cambios abruptos en el comportamiento de los parámetros meteorológicos, que se deben confirmar como la influencia de situaciones a gran escala o condiciones asociadas al funcionamiento de los sensores.

---

<sup>32</sup> Considerados como viento calma debido al principio de operación de los instrumentos

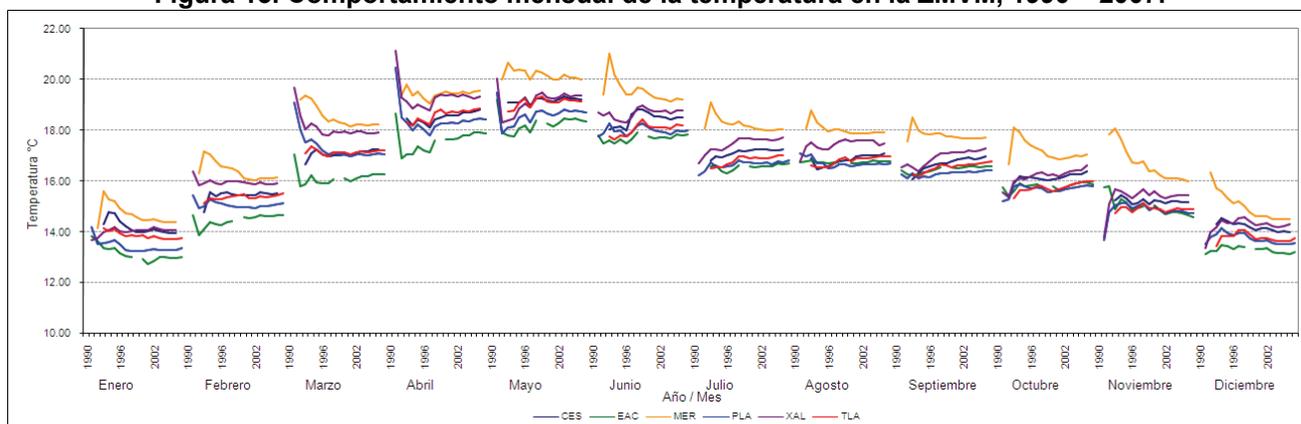
<sup>33</sup> Estación TRN (Triangulo) a 3.59 km de la estación PLA; CYL (Coyol) a 4.76 km de la estación XAL; DDF (D. Distrito Federal) a 1.48 km de la estación MER; PCE (Planta cerro de la Estrella) a 0.42 km de la estación CES; RSR (Rosario) a 2.70 km de la estación TLA y CMC (Campamento Mecoaya) a 6.48 km de la estación EAC

## 5.1 Consistencia de los registros de temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y precipitación pluvial

Al revisar la suficiencia de información de TMP, las estaciones de monitoreo con insuficiencia en años específicos fueron: CES en 1992 y 2007, EAC en 1999, MER en 1991 y 2007, PLA en 1990, TLA en 1992, y XAL en 1990 y 2007, por lo cual se excluyeron del análisis.

La consistencia de los registros de TMP se analizó con las series históricas mensuales de las estaciones, se aprecia los mayores registros de TMP en mayo y los menores en enero y diciembre, así como la similitud general del patrón de las seis estaciones en cada mes, quizá con excepción de MER y EAC que presentan cambios notables en los primeros años de la serie (Figura 13).

**Figura 13. Comportamiento mensual de la temperatura en la ZMVM, 1990 – 2007.**



Los registros mensuales presentan inconsistencia en los siguientes casos (Tabla 7), por lo cual se excluyeron del análisis.

**Tabla 7. Meses con inconsistencia en la Temperatura de la ZMVM, 1990 – 2007.**

Año	1990	1992	1993	1994	1995	1996	1997	2000	2001	2005	2006
CES	jul a dic		feb, jul, dic	ene, jul a sep			jun				
EAC		feb a jul			Jul						
MER		ene a dic	ene a dic								
XAL										abr, jun, ago	ago, oct
TLA								abr a oct	jul a sep		

Los promedios anuales (Tabla 8), fluctúan en  $\pm 0.1$  °C de un año a otro y no presentan tendencia, por lo que se corrobora la consistencia de los registros de TMP. El incremento de 1°C en 1998 en las seis estaciones se asocia con el fenómeno de “El Niño”.

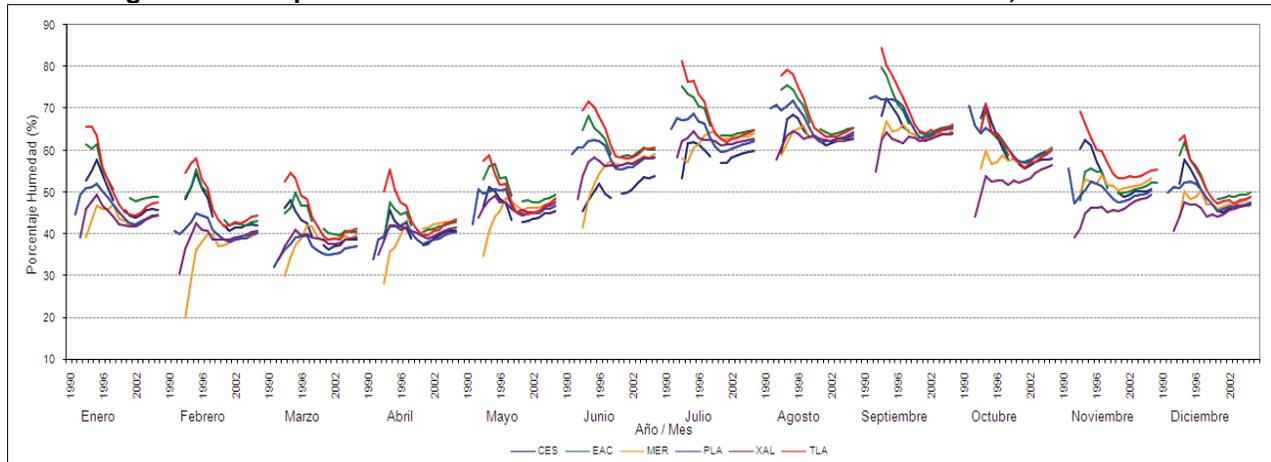
**Tabla 8. Temperatura anual de la ZMVM (°C), 1990 – 2007.**

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	LI <sup>34</sup>	Prom	LS <sup>35</sup>
CES	15.5	16.4		17.1	17.1	16.8	16.2	16.0	17.2	16.3	16.7	16.7	16.9	17.0	16.3	16.8	17.2		15.9	16.6	17.4
EAC	15.6	16.6	14.4	16.0	16.3	16.0	15.1	15.8	17.0		15.9	15.3	16.3	16.6	15.9	16.4	15.8	15.9	15.0	15.9	16.9
MER	16.2		19.1	19.7	17.1	17.1	16.6	17.1	18.2	16.5	16.8	16.7	17.3	17.6	17.0	17.7	17.3		16.0	17.4	18.8
PLA		16.4	15.7	16.5	16.1	16.3	15.6	15.8	17.2	15.7	15.9	15.9	16.3	16.7	15.7	16.9	16.2	16.5	15.5	16.2	16.9
XAL		17.0	16.3	17.2	16.6	16.9	16.6	17.3	18.4	16.9	16.7	16.6	17.1	17.4	16.4	17.0	17.7		16.2	17.0	17.8
TLA	15.8	16.7		16.2	16.4	16.6	16.1	16.5	17.4	16.5	15.4	16.4	16.4	16.9	16.3	17.2	16.7	16.7	15.8	16.5	17.2

En HR se identificaron las siguientes estaciones con insuficiencia de información en años específicos: CES en 1990, 1992, 1999 y 2007; EAC en 1990, 1991, 1992, 1999 y 2007; MER en 1991, 1992 y 2007; PLA en 2007; TLA en 1990, 1991, 1992 y 2007; y XAL en 1990 y 2007, por lo cual se excluyeron del análisis.

El análisis de consistencia de los registros de HR con las series históricas mensuales de las seis estaciones, muestra un incremento en la época de lluvias (junio a octubre) y un decremento en la época seca – caliente (marzo y abril), además de que los patrones mensuales son similares entre las estaciones (Figura 14). No obstante, la variación que tiene de  $\pm 10$  unidades entre 1990 y 1994, en comparación con años posteriores, indica que en este período los registros son *inconsistentes* en todas las estaciones.

**Figura 14. Comportamiento mensual de la humedad relativa en la ZMVM, 1990 – 2006.**



Al revisar los registros mensuales en los años posteriores a 1995 se identificaron casos de inconsistencia (Tabla 9), los cuales se excluyeron del análisis.

<sup>34</sup> LI: Límite Inferior, obtenido del intervalo de confianza para la media a un nivel de significancia del 5%.

<sup>35</sup> LS: Límite Superior, obtenido del intervalo de confianza para la media a un nivel de significancia del 5%.

**Tabla 9. Meses con inconsistencia en la Humedad Relativa de la ZMVM, 1995 – 2007.**

Año	1997	1998	1999	2000	2001	2003	2004
CES	ene, jun a ago oct a nov			Jun	oct		
EAC				mar	may		
MER	ene a dic	ene a dic	ene a dic				
XAL		ene a dic	ene a dic				
TLA					ene a dic	sep a dic	ene a jul

En el análisis de promedios anuales (Tabla 10) se identifica que entre 1995 y 2006 la HR fluctúa en promedio  $\pm 1.1$  % de un año a otro y que no presenta tendencia. El decremento de 1998 se asocia con la presencia del fenómeno de “El Niño”.

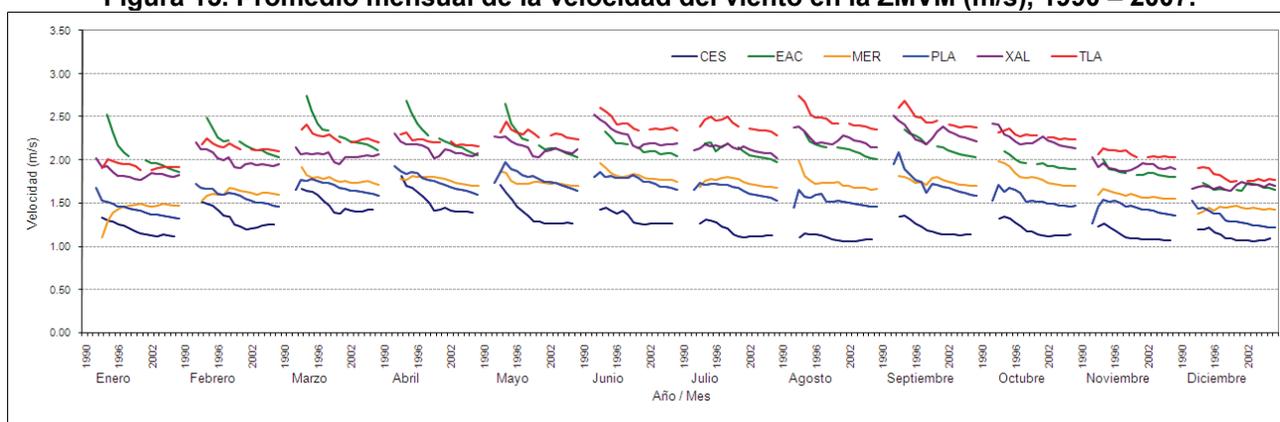
**Tabla 10. Humedad relativa anual de la ZMVM, 1995 – 2006.**

Año	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	LS <sup>4</sup>	Promedio	LI <sup>5</sup>
CES	55	47	43	34		41	43	55	56	57	52	53	60	49	37
EAC	60	50	52	37		44	49	52	55	58	56	57	62	52	42
MER	55	55	62	48	49	43	53	54	55	55	57	64	63	54	45
PLA	60	51	50	31	34	37	50	53	56	59	56	59	65	50	35
XAL	54	45	48	45	48	46	49	53	57	58	55	57	59	51	44
TLA	59	51	52	38	37	42	48	56	52	64	60	62	65	52	38

Las estaciones que registraron insuficiencia de información en años específicos de VV fueron: CES en 1990, 1992 y 2007; EAC en 1992, 1993 y 1999; MER en 1990, 1991 y 1992; PLA en 1990 y 1991; TLA en 1991, 1992 y 2001; y XAL en 1991; por lo cual se excluyeron del análisis.

Al revisar el patrón mensual de la VV se aprecia que los registros de EAC, CES y PLA son inconsistentes debido a un decremento de 1990 a 1998 (Figura 15).

**Figura 15. Promedio mensual de la velocidad del viento en la ZMVM (m/s), 1990 – 2007.**



Los registros mensuales presentan inconsistencia en los siguientes casos (Tabla 11), por lo cual se excluyeron del análisis.

**Tabla 11. Meses con inconsistencia en la Velocidad del Viento de la ZMVM, 1990 – 2007.**

Año	1993	1994	1999	2000	2001	2007
<b>MER</b>	ene, sep					
<b>XAL</b>			feb a jun	ago a dic	ene a dic	ene a jun
<b>TLA</b>	mar, ago a oct	ene a feb, sep				

En el análisis de la consistencia de la VV por medio de los promedios anuales se aprecia un decremento general gradual de su magnitud (Tabla 12), sin embargo el análisis de tendencia permitió comprobar que los registros de EAC, PLA y CES presentan una tendencia decreciente significativa que corrobora su inconsistencia.

**Tabla 12. Velocidad del viento anual de la ZMVM (m/s), 1995 – 2007.**

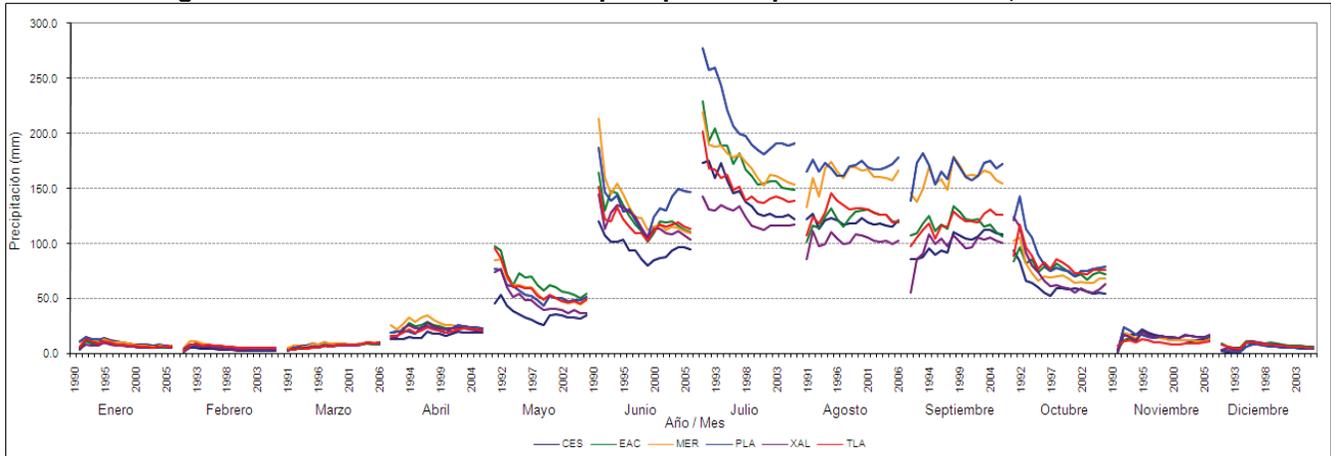
Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	LI <sup>36</sup>	Prom	LS <sup>37</sup>
<b>CES</b>		1.42		1.41	1.38	1.31	1.18	1.08	1.02	0.97	1.10	1.15	1.14	1.18	1.26	1.30	1.20		1.00	1.21	1.41
<b>EAC</b>	2.81	2.15			2.13	1.91	1.79	1.93	1.98		1.88	1.84	1.96	1.90	1.84	1.74	1.73	1.68	1.54	1.95	2.36
<b>MER</b>				1.76	1.73	1.70	1.62	1.70	1.72	1.77	1.66	1.51	1.52	1.60	1.61	1.56	1.54	1.54	1.50	1.64	1.77
<b>PLA</b>			1.67	1.79	1.64	1.66	1.58	1.58	1.50	1.67	1.46	1.36	1.42	1.38	1.36	1.37	1.29	1.31	1.27	1.50	1.73
<b>XAL</b>	2.21		2.21	2.11	2.10	1.95	1.91	2.00	2.04	1.70	2.18	2.61	1.95	1.92	1.89	1.86	1.92	2.13	1.74	2.04	2.34
<b>TLA</b>	2.29			2.34	2.43	2.16	2.07	2.21	2.29	1.96	2.00		2.16	2.18	2.22	2.17	2.11	1.97	1.97	2.17	2.37

La precipitación pluvial acumulada<sup>36</sup> que se deposita en las seis estaciones de monitoreo presenta registros consistentes a lo largo del período 1990 – 2006, ya que estos se incrementan en la temporada de mayo a octubre en las seis estaciones de monitoreo y presentan una similitud general en sus patrones históricos mensuales (decrementos o incrementos).

Las diferencias espaciales, con la mayor cantidad de lluvia en PLA se debe a que se deposita una mayor cantidad de lluvia por su cercanía a las montañas de la ZMVM y la menor en XAL debido a que está en una zona seca al noreste de la ZMVM, (Figura 16).

<sup>36</sup> Suma de los registros diarios de precipitación pluvial registrados cada año.

**Figura 16. Promedio mensual de la precipitación pluvial en la ZMVM, 1990 – 2006.**



Otro indicativo de la consistencia en los registros de precipitación pluvial acumulada es la ausencia de tendencia, aun cuando la magnitud del cambio de un año a otro en estaciones como PLA y EAC fue de  $\pm 11$  mm. En 1999 el promedio de las estaciones de monitoreo CES, MER, PLA y XAL, fue menor debido al fenómeno de “El Niño”, por lo que se considera que los registros de precipitación pluvial son consistentes (Tabla 13).

**Tabla 13. Precipitación pluvial acumulada anual (mm), 1990 – 2006.**

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Li <sup>36</sup>	Prom	LS <sup>37</sup>
CES	633	695	739	427	746	601	393	563	607	404	615	571	623	635	613	517	628	433	589	744
EAC	735	907	751	800	769	771	552	685	766	475	627	742	708	493	586	385	559	458	665	873
MER	910	981	836	652	1054	764	718	661	998	487	561	669	687	788	686	539	859	508	756	1003
PLA	939	1076	1121	827	841	511	742	627	959	525	963	726	1005	1185	1106	719	1120	562	882	1202
XAL	605	706	754	566	707	716	504	526	469	364	560	516	717	452	719	365	682	391	584	777
TLA	796	768	769	640	729	713	653	621	654	559	633	629	645	768	858	358	757	508	679	851

## 5.2 Comportamiento de la temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y precipitación pluvial en la ZMVM, 1990 – 2007

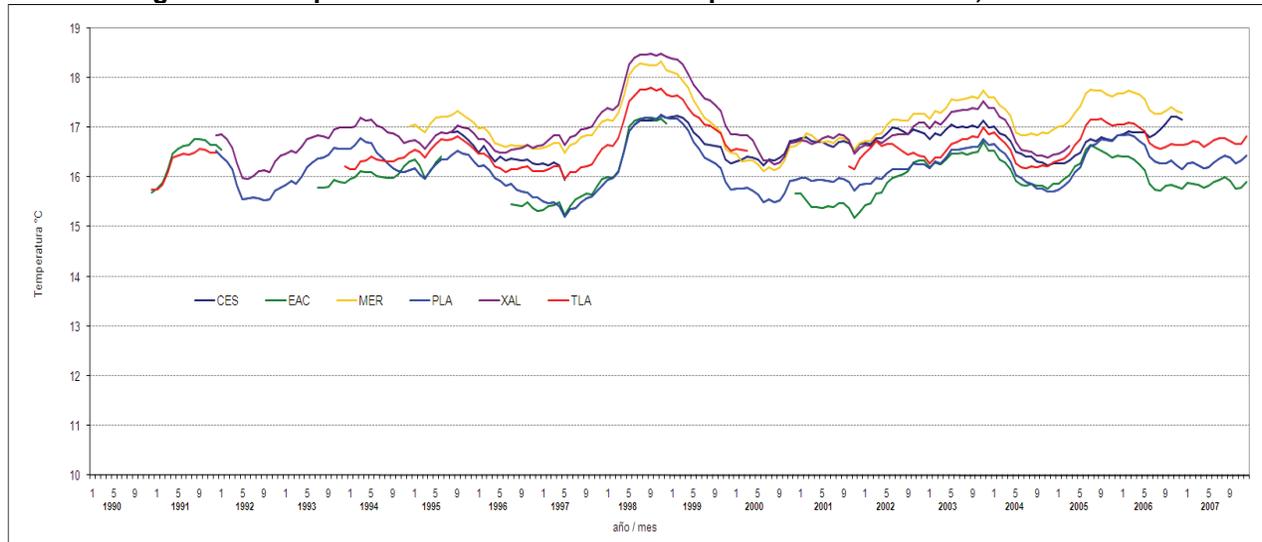
A partir de la información consistente de los parámetros meteorológicos, se caracterizó su comportamiento histórico por medio de promedios móviles de 12 meses con el propósito de atenuar el efecto de la estacionalidad.

Los resultados para la TMP en las seis estaciones de monitoreo muestran un patrón general con fluctuaciones “suaves” a lo largo del período 1990 – 2007, sin tendencia y en el que resaltan los efectos de fenómenos naturales como “El Niño”. Este comportamiento muestra que su asociación con la tendencia de los contaminantes atmosféricos es mínima.

La diferencia en los niveles promedio de TMP en las seis estaciones de monitoreo se explica por los tipos de clima que caracterizan a la ZMVM (Centro Geo, 2003; SMA, 2006). La TMP mayor en MER de  $17.4 \pm 1.4^\circ\text{C}$ , se relaciona con el clima que prevalece en esa región y por su entorno con

áreas pavimentadas, mientras que en EAC y PLA la TMP promedio cercana a los 16°C, se relaciona con su cercanía a montañas (Tabla 8).

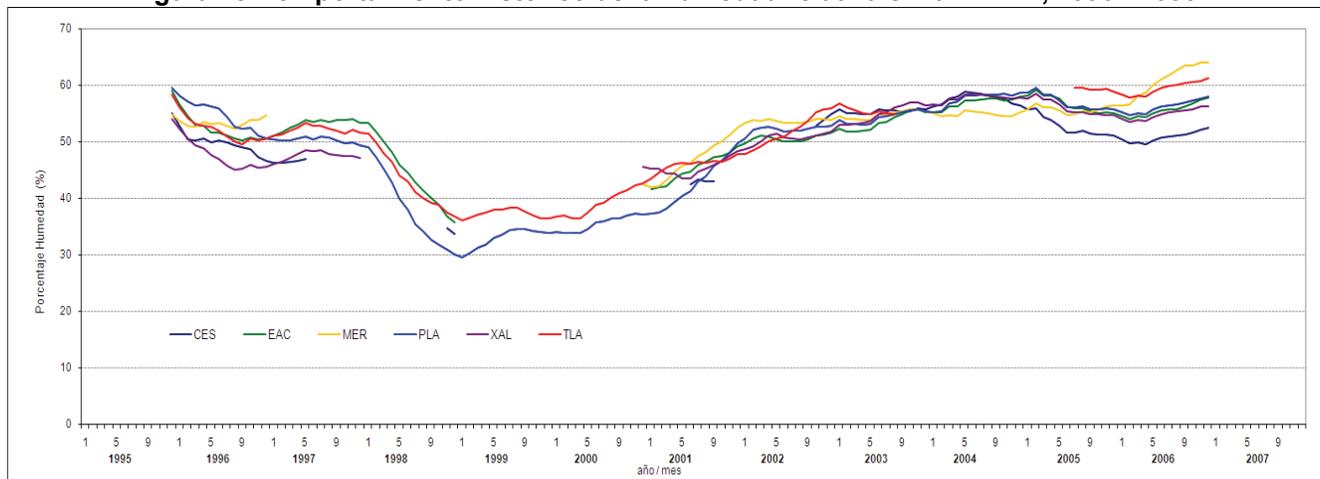
**Figura 17. Comportamiento histórico de la temperatura en la ZMVM, 1990 – 2007.**



El patrón de comportamiento de la HR con información consistente de 1995 a 2006 en las seis estaciones de monitoreo, muestra un decremento general de sus niveles entre 1999 y 2001 (Figura 18) que puede asociarse a causas naturales.

Aunque el análisis de los registros de HR señala que no hay una tendencia en el período 1995-2006, el comportamiento descrito no puede definirse como “homogéneo”, de manera que al analizar la relación entre HR y contaminantes atmosféricos es pertinente revisar con mayor detalle el comportamiento de la serie de registros de HR y descartar la posibilidad de errores de operación y monitoreo.

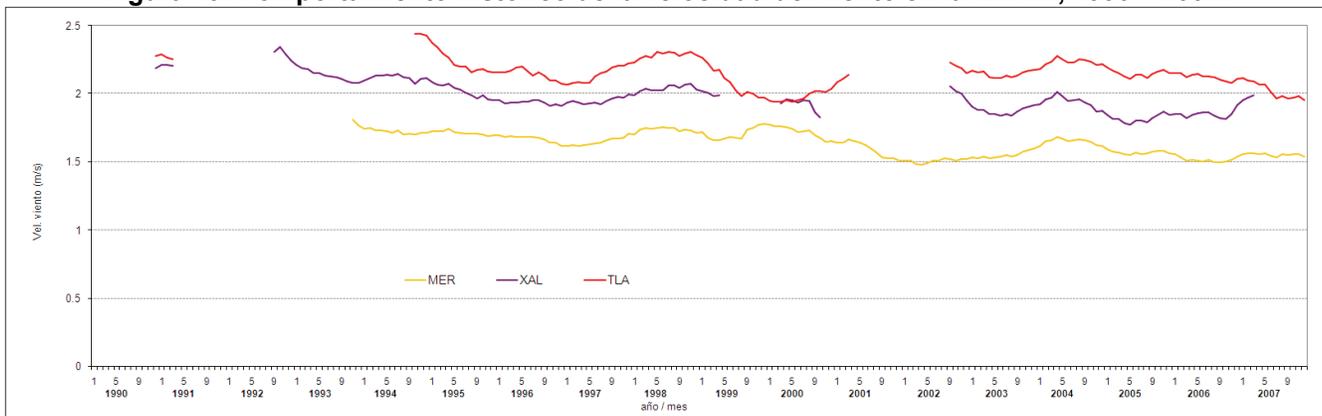
**Figura 18. Comportamiento histórico de la humedad relativa en la ZMVM, 1990 - 2006.**



Los registros de VV consistentes se limitan a tres estaciones de monitoreo, entre estas MER tiene la mayor serie de años (de 1993 a 2007). A lo largo de este período el viento promedio en MER fue de  $1.64 \pm 0.14$  m/s (Tabla 12) y no presenta alguna tendencia, por lo que se puede asumir que el viento ha tenido una variabilidad similar a lo largo de los años y su relación con la tendencia de los contaminantes del aire es mínima. Esta misma interpretación puede realizarse en el caso de TLA y XAL, aunque presentan una mayor cantidad de registros inconsistentes.

La diferente magnitud de la VV en las tres estaciones de monitoreo es una característica de su ubicación geográfica, ya que la mayor magnitud de la VV en TLA y XAL se relaciona con su ubicación al norte de la ZMVM y con la ausencia de barreras físicas.

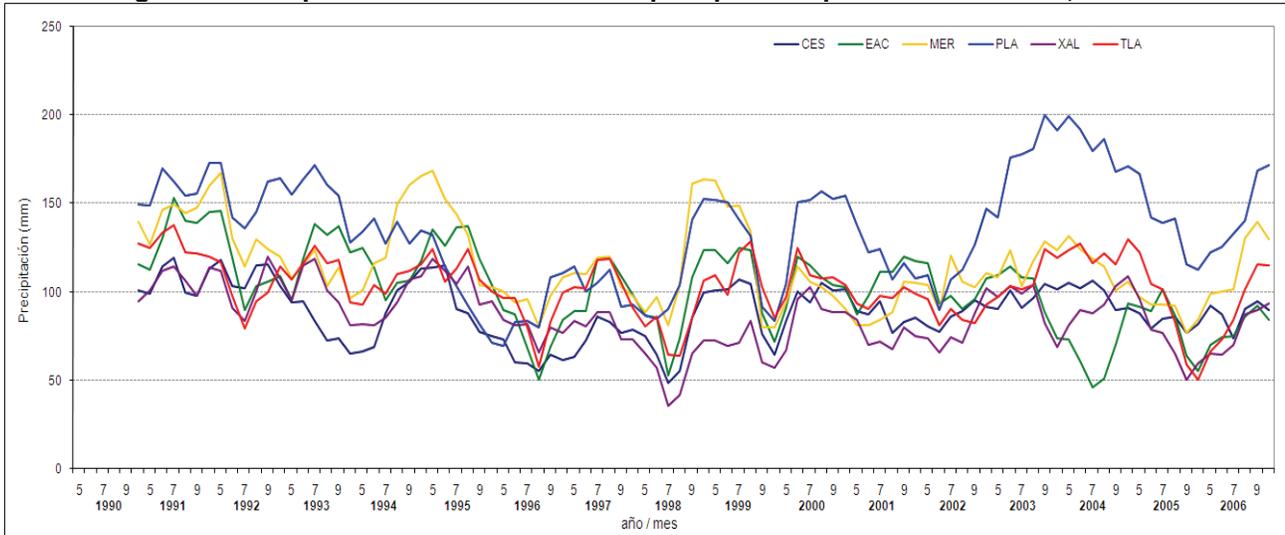
**Figura 19. Comportamiento histórico de la velocidad del viento en la ZMVM, 1990 – 2007.**



La precipitación pluvial que se ha depositado a lo largo de 1990 – 2006 en las seis estaciones de monitoreo de la ZMVM, presenta fluctuaciones de consideración que ocurren de forma periódica por lo que no se presenta una tendencia definida.

Estas condiciones generales de la cantidad de precipitación pluvial depositada en la ZMVM, permiten sugerir que su comportamiento histórico es estable y su relación con la tendencia de los contaminantes del aire es mínima. No obstante, un aspecto notable en el sur de la ZMVM, es que además de ser la región donde se deposita una mayor cantidad de lluvia, ya que la estación PLA tiene una precipitación pluvial acumulada promedio de 756 mm con casos extremos de 1202 mm, desde 2002 ha aumentado considerablemente la cantidad de lluvia depositada, en comparación de los años previos o con las otras estaciones (Figura 20). Esta situación puede tener una relación estrecha con el comportamiento de contaminantes, en primera instancia puede sugerir una mayor depuración de los contaminantes suspendidos en la atmósfera.

**Figura 20. Comportamiento histórico de la precipitación pluvial en la ZMVM, 1990 – 2006.**









## Anexo 2. Indicadores de estado de contaminantes criterio en la Zona Metropolitana del Valle de México

Tabla A1. Porcentaje de días con concentraciones de O<sub>3</sub> menores o iguales a los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana de salud ambiental NOM-020-SSA1-1993, (1990 – 2007).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0.110 ppm promedio de una hora	7	3	9	11	6	11	11	12	12	18	12	19	18	22	35	36	41	40
0.080 ppm promedio de 8 horas	11	3	10	15	10	16	19	24	18	22	19	24	25	33	46	42	50	46

Tabla A2. Número de días con concentraciones máximas de O<sub>3</sub> superiores a 0.110 ppm (promedio de una hora), por estación de monitoreo, (1990 – 2007).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
PED	303	305	257	279	287	291	286	277	262	261	268	152	244	187	125	176	152	140
PLA	239	289	252	251	296	211	273	195	222	246	242	206	168	176	141	141	78	99
TPN	***	***	***	33	258	254	237	238	258	222	251	186	183	98	***	47	119	122
CUA	***	***	***	37	247	239	217	133	149	144	216	190	167	121	107	125	98	100
SUR	***	***	***	***	***	***	***	***	***	117	***	211	229	207	167	172	119	131
COY	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	85	147	113
CES	202	258	230	200	232	223	203	168	204	135	131	107	99	102	63	78	41	27
UIZ	149	184	169	231	270	261	169	201	247	194	217	154	68	154	111	133	100	96
TAH	***	***	***	25	176	203	198	163	184	179	183	155	151	123	88	123	35	51
TAX	***	***	***	173	231	259	217	192	176	190	175	122	91	72	37	72	36	32
CHO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	10
MER	248	241	223	248	297	251	210	193	125	215	214	167	153	116	78	111	81	73
LAG	64	148	108	238	286	269	231	222	241	137	201	163	152	144	106	116	57	62
TAC	***	***	***	118	287	269	252	234	243	154	231	173	175	133	102	116	73	78
HAN	147	244	219	228	231	233	215	193	167	184	169	136	135	113	73	88	35	***
BJU	***	***	40	78	236	294	242	261	209	127	261	190	181	199	144	10	***	***
IZT	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	23
TLA	175	234	181	182	204	176	171	157	147	109	120	97	99	80	57	49	44	43
EAC	84	205	185	183	242	215	201	198	172	159	139	118	142	103	82	82	52	64
AZC	124	100	240	207	260	204	216	125	142	191	201	173	174	141	113	109	75	63
XAL	79	179	179	172	198	171	103	117	138	90	122	52	75	56	37	52	21	28
SAG	40	17	89	103	125	166	78	72	163	76	114	91	80	72	30	44	20	22
CHA	***	***	***	24	125	132	78	60	48	41	50	37	25	38	42	51	12	18
ACO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	0
ZMVM	336	341	332	324	344	324	327	322	320	300	323	296	300	285	239	233	214	220
75% o más registros al año	entre el 50 y 75% de los registros al año											menos de 50% de los registros al año						

**Tabla A3. Quinto máximo anual de concentraciones de O<sub>3</sub> (promedio de 8 horas), por estación de monitoreo, (1990 – 2007).**

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
PED	0.207	0.233	0.247	0.205	0.201	0.193	0.183	0.175	0.192	0.172	0.162	0.144	0.158	0.136	0.123	0.135	0.127	0.121
PLA	0.192	0.237	0.236	0.202	0.193	0.187	0.176	0.158	0.176	0.170	0.154	0.148	0.147	0.136	0.119	0.124	0.110	0.109
CUA	---	---	---	0.162	0.160	0.159	0.172	0.126	0.161	0.145	0.165	0.159	0.147	0.139	0.129	0.128	0.119	0.117
TPN	---	---	---	0.129	0.144	0.162	0.161	0.171	0.178	0.162	0.169	0.139	0.142	0.130	---	0.110	0.117	0.122
LAG	0.114	0.149	0.179	0.181	0.168	0.168	0.158	0.156	0.165	0.133	0.135	0.131	0.125	0.133	0.101	0.121	0.100	0.093
TAC	---	---	---	0.171	0.181	0.202	0.187	0.191	0.177	0.160	0.150	0.144	0.146	0.134	0.125	0.121	0.116	0.103
EAC	0.188	0.206	0.221	0.206	0.180	0.178	0.175	0.185	0.172	0.167	0.142	0.142	0.134	0.122	0.119	0.115	0.108	0.112
SAG	0.095	0.106	0.130	0.121	0.122	0.138	0.115	0.118	0.142	0.126	0.121	0.120	0.115	0.110	0.100	0.103	0.096	0.094
AZC	0.177	0.189	0.197	0.210	0.184	0.181	0.176	0.181	0.161	0.166	0.150	0.157	0.139	0.139	0.115	0.122	0.125	0.113
TLA	0.171	0.197	0.198	0.183	0.171	0.169	0.158	0.161	0.148	0.140	0.134	0.127	0.118	0.119	0.108	0.113	0.111	0.104
XAL	0.113	0.150	0.155	0.144	0.131	0.143	0.121	0.129	0.133	0.120	0.126	0.104	0.109	0.109	0.097	0.108	0.101	0.095
MER	0.183	0.209	0.196	0.178	0.164	0.169	0.125	0.148	0.118	0.152	0.133	0.121	0.115	0.110	0.108	0.119	0.104	0.099
CES	0.147	0.181	0.178	0.161	0.158	0.151	0.133	0.121	0.153	0.112	0.117	0.109	0.105	0.104	0.098	0.105	0.099	0.086
HAN	0.162	0.179	0.185	0.156	0.139	0.147	0.135	0.135	0.138	0.127	0.131	0.114	0.110	0.108	0.099	0.113	0.098	---
UIZ	0.159	0.165	0.170	0.164	0.156	0.165	0.144	0.147	0.163	0.139	0.137	0.141	0.109	0.123	0.111	0.129	0.113	0.108
BJU	---	---	0.149	0.124	0.174	0.183	0.177	0.164	0.146	0.147	0.146	0.145	0.131	0.137	0.119	0.092	---	---
TAX	---	---	---	0.133	0.138	0.155	0.140	0.129	0.128	0.129	0.122	0.115	0.104	0.103	0.090	0.100	0.092	0.091
CHA	---	---	---	---	0.119	0.119	0.140	0.129	0.093	0.105	0.110	0.097	0.095	0.100	0.106	0.113	0.091	0.094
TAH	---	---	---	0.113	0.130	0.140	0.156	0.133	0.157	0.136	0.139	0.130	0.125	0.121	0.115	0.119	0.095	0.102
SUR	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.158	0.155	0.148	0.130	0.129	0.130	0.122	0.119
COY	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.112	0.123	0.110
ACO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.078
IZT	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.088
CHO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.089
No. de estaciones que no cumplen la NOM	12	12	13	18	18	19	18	18	19	19	20	20	20	20	19	21	20	21

75% o más registros al año

Entre el 50 y 75% registros al año

menos de 50% de los registros al año

**Tabla A4. Porcentaje de días con concentraciones de O<sub>3</sub> mayores a 0.110 ppm, por día de la semana (1990 – 2007).**

	Año	lun	mar	mie	jue	vie	sab	dom	Año	lun	mar	mie	jue	vie	sab	dom
% de días > NOM	1990	89	90	98	88	94	90	94	1999	77	81	85	90	83	88	73
Promedio de horas > NOM		5	6	5	5	5	5	5		4	4	5	5	4	4	3
% de días > NOM	1991	92	92	94	94	94	94	92	2000	87	85	83	87	98	94	85
Promedio de horas > NOM		6	7	6	6	7	7	6		4	4	4	4	5	5	4
% de días > NOM	1992	88	92	91	92	91	88	90	2001	87	77	75	85	81	87	77
Promedio de horas > NOM		6	6	6	6	6	5	6		4	4	3	3	3	4	4
% de días > NOM	1993	94	85	79	92	94	94	85	2002	79	85	87	83	73	92	77
Promedio de horas > NOM		5	5	4	5	5	5	5		3	4	4	3	3	4	3
% de días > NOM	1994	98	96	94	94	94	94	88	2003	77	75	89	85	75	77	69
Promedio de horas > NOM		5	5	5	5	6	5	5		3	3	3	3	3	3	3
% de días > NOM	1995	90	88	90	92	87	83	91	2004	63	62	65	74	66	63	63
Promedio de horas > NOM		5	5	5	5	5	5	5		2	2	2	2	2	2	2
% de días > NOM	1996	87	96	88	96	83	92	83	2005	63	54	63	75	62	64	65
Promedio de horas > NOM		5	5	5	5	4	5	4		2	2	3	3	2	3	2
% de días > NOM	1997	94	92	85	79	94	87	87	2006	56	56	62	58	63	62	55
Promedio de horas > NOM		5	5	4	4	5	4	5		2	2	2	2	2	2	2
% de días > NOM	1998	87	94	92	85	83	87	85	2007	43	58	63	58	63	69	67
Promedio de horas > NOM		5	5	5	5	5	5	5		1	2	2	2	2	2	2

**Tabla A5. Percentil 98 anual de muestreos de PST (1990 – 2007).**

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>CES</b>	836	803	682	649	506	512	556	493	842	405	401	359	351	335	306	320	249	250
<b>MER</b>	323	413	307	327	345	308	614	435	411	305	301	295	288	301	215	275	236	171
<b>PED</b>	188	258	185	188	187	181	399	177	370	230	273	190	173	170	170	188	134	113
<b>TLA</b>	343	449	309	310	343	325	304	325	427	399	359	352	276	247	214	289	216	174
<b>XAL</b>	755	838	689	782	650	677	721	720	649	729	634	436	401	447	387	430	358	314
<b>NTS</b>	1637	2233	1251	363	387	484	DI	DI	444	DI								
<b>UIZ</b>	499	590	358	356	341	335	DI	DI	402	385	385	DI	DI	DI	241	261	198	168
<b>LPR</b>	2058	2585	1913	427	466	451	DI	DI	412	DI								
<b>MCM</b>	267	377	303	291	359	307	DI	DI	381	DI								
<b>LOM</b>	673	1252	1148	239	238	230	DI	DI	277	DI								
<b>SHA</b>	1040	1460	1670	699	247	231	DI	DI	378	DI								
<b>FAN</b>	288	432	504	239	251	227	DI											
<b>HAN</b>	1157	1617	1270	289	312	310	DI											
<b>POT</b>	1250	1324	979	228	246	235	DI											
<b>TAX</b>	1332	1591	1204	346	331	297	DI											
<b>TEC</b>	364	432	353	317	340	310	DI											
<b>CFE</b>	235	263	226	233	258	207	DI											
<b>XCH</b>	299	429	255	285	291	286	DI	DI	343	DI								
<b>CHA</b>	---	1116	882	230	245	275	DI											
<b>No. de estaciones que no cumplen la NOM</b>	17	19	18	18	18	17	5	4	12	6	6	4	4	4	5	5	4	2

75% o más registros al año

entre el 50 y 75% de los registros al año

menos de 50% de los registros al año

DI: Dato insuficiente para evaluar la NOM

**Tabla A6. Percentil 98 anual de muestreos de PM10 (1990 – 2007).**

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
CES	296	300	217	201	210	140	136	157	271	133	139	109	101	127	97	116	127	102
MER	184	112	106	143	171	138	213	170	150	119	113	108	115	122	92	96	92	97
PED	100	200	93	101	97	108	142	71	131	71	79	99	78	86	73	78	59	62
TLA	154	112	119	165	194	169	198	155	180	105	101	102	101	95	100	99	93	73
XAL	273	300	287	295	295	295	307	305	247	291	265	175	165	165	139	174	142	125
LOM								DI	116	DI	DI	71	98	DI	78	71	61	66
LPR								DI	220	DI	DI	184	167	DI	DI	143	145	131
MCM								DI	198	DI	DI	110	116	DI				
NTS								240	148	DI	131	141	151	162	123	126	129	96
SHA								DI	166	DI	DI	89	79	88	82	97	69	75
UIZ								DI	164	116	128	103	120	DI	114	117	97	70
XCH								DI	212	DI								
HAN											DI	100	162	DI	121	108	DI	
No. de estaciones que no cumplen la NOM	4	3	2	4	4	4	5	5	11	2	4	3	4	4	3	3	4	2

DI: Dato insuficiente para evaluar la NOM

75% o más registros al año

entre el 50 y 75% de los registros al año

menos de 50% de los registros al año

**Tabla A7. Percentil 98 anual de muestreos de PM2.5 (2003-2007).**

	2003	2004	2005	2006	2007
MER	DI	50	47	43	42
TLA	DI	56	49	37	44
COY	DI	47	58	51	40
UIZ	DI	48	54	DI	46
SAG	DI	43	46	38	39
PED	DI	48	46	36	36
XAL	DI	64	53	DI	52
No. de estaciones que no cumplen la NOM		0	0	0	0

775% o más registros al año

entre el 50 y 75% registros al año

menos de 50% de los registros al año

DI: Dato insuficiente para evaluar la NOM

**Tabla A8. Promedio anual de muestreos de PM10 (1990 – 2007).**

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>CES</b>	112	80	88	112	90	72	62	157	97	70	73	60	61	65	52	61	53	44
<b>MER</b>	109	74	63	80	79	81	66	170	79	66	63	57	60	67	51	52	52	46
<b>PED</b>	62	60	51	58	55	50	38	71	52	43	44	42	41	40	33	37	33	32
<b>TLA</b>	100	77	71	93	105	92	75	155	79	65	61	58	59	55	55	53	50	45
<b>XAL</b>	179	121	138	189	163	155	155	305	146	160	125	95	88	101	90	79	75	70
<b>LOM</b>	***	***	***	***	***	***	***	DI	47	***	DI	42	40	DI	34	39	33	31
<b>LPR</b>	***	***	***	***	***	***	***	DI	125	***	DI	91	95	DI	***	70	65	57
<b>MCM</b>	***	***	***	***	***	***	***	DI	76	***	DI	56	55	DI	***	NC	NC	NC
<b>NTS</b>	***	***	***	***	***	***	60	240	77	***	58	69	83	91.3	67	60	55	52
<b>SHA</b>	***	***	***	***	***	***	***	DI	66	***	DI	46	48	46.3	42	48	39	38
<b>UIZ</b>	***	***	***	***	***	***	***	DI	81	62	65	55	52	DI	46	55	49	40
<b>XCH</b>	***	***	***	***	***	***	***	DI	95	***	***	***	***	***	***	***	***	***
<b>HAN</b>	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	DI	53	58	DI	50	61	DI	***
<b>No. de estaciones que no cumplen la NOM</b>	5	5	5	5	5	4	5	5	11	5	6	9	9	5	6	8	5	3

75% o más registros al año

entre el 50 y 75% de los registros al año

menos de 50% de los registros al año

DI: Dato insuficiente para evaluar la NOM

**Tabla A9. Promedio anual de muestreos de PM2.5 (2003-2007).**

	2003	2004	2005	2006	2007
<b>MER</b>	DI	24	25	23	22
<b>TLA</b>	DI	24	24	22	22
<b>COY</b>	DI	20	23	21	19
<b>UIZ</b>	DI	22	26	DI	25
<b>SAG</b>	DI	21	23	20	19
<b>PED</b>	DI	18	21	17	17
<b>XAL</b>	DI	36	28	DI	26
<b>No. de estaciones que no cumplen la NOM</b>	DI	7	7	5	7

**Tabla A10. Concentraciones máximas anuales por contaminante<sup>37</sup> (1990 – 2007).**

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
<b>O<sub>3</sub></b>	Valor Límite																		
	0.110 ppm (1 hora)	0.496	0.404	0.475	0.37	0.312	0.349	0.323	0.318	0.309	0.321	0.282	0.271	0.284	0.226	0.222	0.211	0.203	
	estación de monitoreo	LAG	PED	PLA	PED	PED	PED	PED	TAC	EAC	PLA	PED	AZC	PED	SUR	SUR	AZC	PED	
	No. de estaciones que no cumplen la NOM	12	12	13	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	19	21	20	19
	0.080 ppm (8 horas)	0.207	0.237	0.247	0.205	0.201	0.202	0.187	0.191	0.192	0.172	0.169	0.159	0.158	0.139	0.129	0.135	0.127	0.122
<b>CO</b>	estación de monitoreo	PED	PLA	PED	AZC	PED	TAC	TAC	TAC	PED	TPN	CUA	PED	AZC	SUR	PED	PED	TPN	
	No. de estaciones que no cumplen la NOM	12	12	13	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	19	21	20	19	
	11 ppm (8 horas)	50	30	24	23	17	15	15	16	15	12	11	9	8	7	8	7	5	
	estación de monitoreo	LAG	CUI	CUI	CUI	ARA	NET	EAC	VAL	MER	XAL	ARA	MIN	MIN	TAX	ARA	XAL	VAL	
	No. de estaciones que no cumplen la NOM	15	15	15	14	12	5	8	1	9	2	2	0	0	0	0	0	0	
<b>SO<sub>2</sub></b>	0.13 ppm (24 horas)	0.170	0.178	0.205	0.088	0.123	0.163	0.099	0.116	0.116	0.152	0.297	0.141	0.090	0.102	0.115	0.087	0.082	
	estación de monitoreo	XAL	XAL	TLA	MER	ARA	NET	TLA	TAC	TAC	VAL	TLA	TLI	TLI	TLI	TLI	TLI	VIF	
	No. de estaciones que no cumplen la NOM	2	3	9	0	0	1	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	
	0.21 ppm (1 hora)	0.344	0.279	0.277	0.310	0.391	0.444	0.463	0.448	0.421	0.279	0.304	0.216	0.208	0.232	0.239	0.217	0.187	
	estación de monitoreo	MER	MER	MER	CES	TAC	EAC	EAC	TAC	TAC	EAC	CES	TAC	TAX	UIZ	TAX	EAC	TAC	
No. de estaciones que no cumplen la NOM	3	5	3	8	6	14	14	12	14	6	9	1	0	4	2	2	1	0	

<sup>37</sup> Se obtienen de la siguiente forma: O<sub>3</sub>, máximos diarios de promedio de una hora y de promedios móviles de 8 horas; CO, máximo diario de promedios móviles de 8 horas; SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, máximo promedio de 24 horas; NO<sub>2</sub>, máximo diario de promedios de una hora.

**Tabla A11. Indicadores de referencia en el período 1990 – 2007 para evaluar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental, límites de exposición crónica<sup>38</sup>.**

	Límite	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>SO<sub>2</sub></b>	estación de monitoreo	0.069	0.081	0.065	0.028	0.025	0.023	0.020	0.020	0.018	0.019	0.030	0.035	0.019	0.017	0.016	0.011	0.011	0.011
	No. de estaciones que no cumplen la NOM	MER	LVI	AZC	LVI	AZC	LVI	XAL	TLA	TLA	TLA	AZC	TLA	TLA	XAL	TLI	TLA	TLA	TLA
<b>PM10 (manual)</b>	estación de monitoreo	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	No. de estaciones que no cumplen la NOM	179	121	138	189	163	155	197	155	146	160	125	95	95	101	90	79	75	70
<b>PM2.5 (manual)</b>	estación de monitoreo	XAL	LPR	XAL	XAL	XAL	XAL	XAL											
	No. de estaciones que no cumplen la NOM	5	5	5	5	5	4	4	5	11	5	6	9	9	5	6	8	5	3
<b>Pb</b>	estación de monitoreo	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	No. de estaciones que no cumplen la NOM	2.782	2.356	1.895	0.96	1.167	0.566	0.577	0.327	0.303	0.908	0.293	0.181	0.151	0.195	0.136	0.109	0.134	0.125

\* Durante 2006, las estaciones XAL y UIZ no cumplieron con la suficiencia de información para evaluar la NOM de PM2.5, por lo cual no se ven reflejadas en esta tabla.

**Tabla A12. Distribución por intervalos del IMECA de O<sub>3</sub> (1990 – 2007).**

IMECA	ppm	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>0 - 50</b>	0.000 - 0.055	7	0	7	5	0	5	8	10	1	16	4	13	13	12	21	22	29	27
<b>51 - 100</b>	0.056 - 0.110	20	9	24	36	21	36	31	33	44	49	39	56	52	68	106	110	122	118
<b>101 - 150</b>	0.111 - 0.165	76	40	58	68	65	54	79	91	92	93	114	137	158	207	186	186	190	200
<b>151 - 200</b>	0.166 - 0.220	116	98	115	156	149	142	142	151	139	149	171	134	121	73	52	46	24	20
<b>&gt; 200</b>	> 0.220	144	203	159	100	130	128	106	80	89	58	38	25	21	5	1	1	0	0

<sup>38</sup> Se obtienen de la siguiente forma: SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, promedio aritmético anual; Pb, promedio aritmético de 3 meses.

Tabla A13. Número de eventos de lluvia ácida (pH <5.6), por sitio de monitoreo (1998 – 2007).

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
LOM	8	6	6	9	7	3	6	4	7	8
TEC	6	4	4	2	7	1	4	2	3	5
DIC	8	7	8	11	8	4	9	3	3	8
MCM	6	5	3	4	6	2	2	1	3	5
TLA	6	3	4	4	5	0	4	3	4	1
XAL	3	0	1	---	3	0	1	1	3	4
EDL	9	6	8	15	17	8	9	6	9	11
IBM	---	5	6	---	6	6	3	6	2	6
COR	7	5	5	---	3	0	2	3	5	4
NTS	5	6	4	---	6	0	2	0	5	3
CHA	---	---	2	---	4	0	1	0	1	5
LAA	7	2	5	---	7	3	3	1	5	3
EAJ	---	---	9	---	10	6	9	5	6	10
PAR	---	11	12	15	12	8	12	6	11	14
MPA	---	3	5	5	9	0	6	7	7	6
SNT	---	---	11	16	12	9	10	4	7	12
ZMVM	10	11	16	19	20	16	19	14	17	17

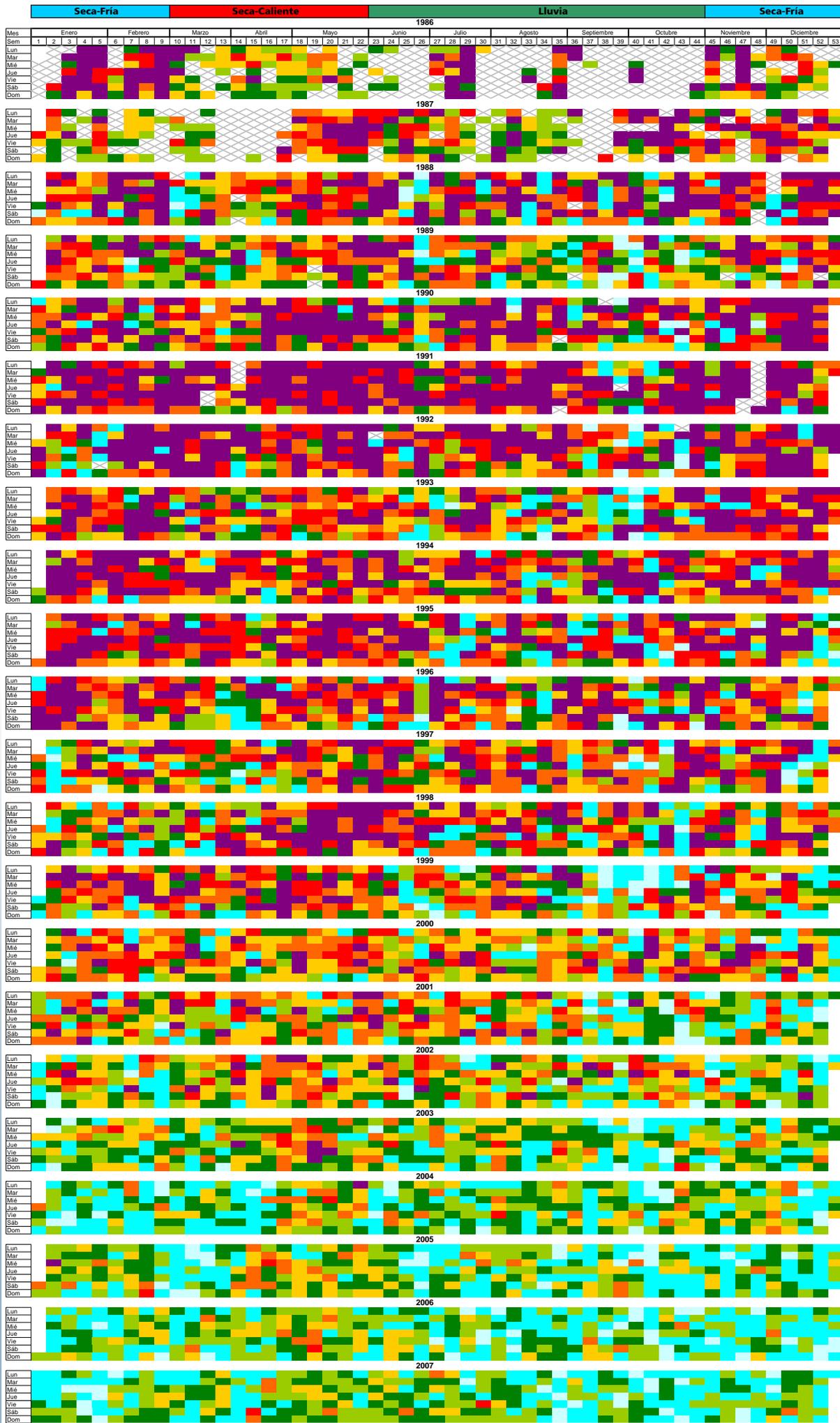
Tabla A14. Total de eventos de lluvia, por sitio de monitoreo (1998 – 2007).

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
LOM	21	20	20	18	20	20	22	18	18	20
TEC	22	20	21	20	20	22	20	15	18	18
DIC	18	18	18	22	22	22	20	19	19	20
MCM	22	17	21	21	22	22	21	16	18	20
TLA	20	20	21	18	22	22	22	18	17	17
XAL	19	19	17	---	20	22	21	16	19	21
EDL	21	20	20	21	21	21	20	21	19	19
IBM	---	20	21	---	20	20	22	18	18	20
COR	20	19	19	---	20	20	19	18	19	18
NTS	19	20	19	---	18	21	20	18	19	20
CHA	---	---	20	---	19	18	15	15	16	21
LAA	22	20	19	---	20	20	22	14	17	18
EAJ	---	---	20	---	22	22	20	19	19	21
PAR	---	21	21	22	21	19	21	20	19	19
MPA	---	16	19	20	21	22	19	18	18	18
SNT	---	---	20	22	22	22	20	17	19	19
ZMVM	22	21	21	22	22	22	22	21	19	22

## Bibliografía

- Bingman, Ingvar. Acidification and Air Pollution, Brief Guide. National Environmental Protection Board. Solna, Sweden. 1987.
- Centro Geo, PNUMA y GDF. GEO Ciudad de México “Una Visión del Sistema Urbano Ambiental”. 2003. México, D.F.
- Colotti E., Rodriguez J. y Blanco A. “Propuesta metodológica para el análisis de la consistencia de los datos climáticos. IV simposio internacional de desarrollo sustentable, Venezuela, Diciembre 2001
- Fenn, M.E.; de Bauer, L.I. y Hernández-Tejeda, T. (Editors). Urban Air Pollution and Forests. Resources at Risk in the Mexico City Air Basin. Ed. Springer. Serie Ecological Studies. Vol. 156. New York, USA. 2002.
- GDF-SMA, 2007. Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente. Plan Verde de la Ciudad de México, 2007: <http://www.sma.df.gob.mx/planverde/> .
- Gilbert O.R. 1987. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Ed. Van Nostrand Reinhold. Pp. 204–329
- GODF. Gaceta Oficial del Distrito Federal. Decreto por el que se reforma y adiciona el Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en el Distrito Federal. 30 de agosto de 2006.
- GODF. Gaceta Oficial del Distrito Federal. Decreto por el que expide el Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en el Distrito Federal. 30 de octubre de 1998.
- NADF-009-AIRE. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-009-AIRE-2006. Que establece los Requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, en: Gaceta Oficial del Distrito Federal, 29 de noviembre 2006.
- PICCA, 1990. Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México. Octubre 1990. Ciudad de México.
- PROAIRE 1995-2000, Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México, 1995 – 2000. Marzo 1996
- PROAIRE 2002-2010; Comisión Ambiental Metropolitana, Secretaría del Medio Ambiente y de Recursos Naturales, Secretaría de Salud, Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México (CAM). Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002 – 2010. 2002.
- SMA; Secretaría del Medio Ambiente. La calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México, 20 años de monitoreo atmosférico, 2006.
- Valroff J. Pollution Atmosphérique et Pluies Acides. Rapport au Premier minister. La Documentation Française. Paris, France. 1985.
- Vet, Robert J. Wet Deposition: Measurement Techniques. The Handbook of Environmental Chemistry Volumen 2 Part F Reactions and Processes. Ed. Springer–Verlag Alemania. 1991.

# MOSAICO DE CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE O<sub>3</sub> CIUDAD DE MÉXICO 1986 - 2007



## INTERVALOS EN CONCENTRACIONES DE OZONO (ppm)

[0.000, 0.055]	Lightest color
(0.055, 0.110]	Light blue
(0.110, 0.132]	Light green
(0.132, 0.154]	Green
(0.154, 0.176]	Yellow-green
(0.176, 0.198]	Yellow
(0.198, 0.220]	Orange
> 0.220	Darkest color
No se cuenta con información o no es suficiente para un registro diario (al menos 18 horas del día)	White with X

## EQUIVALENTE EN PUNTOS IMECA

[0, 50]	Lightest color
(50, 100]	Light blue
(100, 120]	Light green
(120, 140]	Green
(140, 160]	Yellow-green
(160, 180]	Yellow
(180, 200]	Orange
>200	Darkest color