



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL
VALLE DE MÉXICO A PARTIR DEL AÑO 1986

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA

AMBIENTAL

PRESENTA:

I.C. SILVIA MONTIEL PALMA

DIRECTOR DE TESIS:

M. C. VICENTE FUENTES GEA

CIUDAD UNIVERSITARIA

2006



A mis padres:

Ing. Ramón Montiel Hernández y Lic. Tere Palma Guardado, les agradezco todo su cariño, comprensión, tolerancia y apoyo. Gracias por su impulso. Los amo.

A mis hermanas Vicky y Betty:

Por los buenos y malos momentos que hemos pasado juntas. Por escucharme, gracias Vicky.

A mis amigos y seres queridos:

Por su invaluable amistad, lealtad y honestidad. De manera especial a Josefina y Nato por su apoyo en el laboratorio de Multimedia de la Facultad de Ingeniería y por demostrarme que puedo contar con ustedes en todo momento. Sinceramente los aprecio.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi gratitud en primer término, al M.C. Vicente Fuentes Gea por la dirección de este trabajo de tesis.

Al Dr. Jorge de Victorica Almeida por toda la paciencia y el tiempo brindado y por su aportación valiosísima en la redacción del presente trabajo.

Al Dr. Ernesto Jáuregui Ostos por sus valiosos comentarios y sugerencias.

Al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría por el impulso y motivación brindados con su excelente sentido del humor.

Finalmente y de manera especial deseo hacer patente un reconocimiento al Dr. Carlos Díaz Ávalos, por ser casi un codirector de este trabajo. Agradezco infinitamente el tiempo brindado, la orientación y las sugerencias de corrección. Gracias por la solidaridad y paciencia para la realización de mi tesis.

A todos ustedes, quienes a través de sus correcciones, sugerencias y comentarios críticos contribuyeron a enriquecer la presente investigación.

Asimismo, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada durante los estudios de la Maestría y a la UNAM por brindarnos siempre la excelencia académica.

A la Dirección de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría del Medio Ambiente del D. F., sobretudoo al Met. Alfredo Alfonso Soler, Gabriel Hernández, de la Subdirección de Meteorología, por su disponibilidad para proporcionarme las bases de datos y resolverme las dudas. También a Guadalupe Granados y Mónica Jaimes de la SMA.

A la Dra. Gloria Herrera y Norma Tepoz, del Servicio Meteorológico Nacional.

ÍNDICE

	Pág
Indice	i
Indice de tablas	iii
Indice de gráficas y figuras	iv
OBJETIVOS	1
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO 1	
ANTECEDENTES	11
1.1. Estudios de contaminación atmosférica de la ZMCM relacionados con el ozono 112	
1.1.1. Proyecto MARI	12
1.1.2. Proyecto IMADA-AVER	13
1.1.3. Proyecto Azteca	14
1.2. Modelaciones realizadas para la Ciudad de México con base en los parámetros meteorológicos	14
1.2.1. Modelaciones basadas en datos de la RAMA	14
1.2.2. Modelaciones del Proyecto MARI	14
1.2.3. Modelaciones de la campaña IMADA	16
CAPÍTULO 2	
CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO	17
2.1. Ubicación y características fisiográficas	17
2.2. Meteorología	19
2.2.1. Vientos	21
2.2.2. Temperatura	22
2.2.3. Humedad en el suelo	23
2.2.4. Humedad relativa	23
2.2.5. Capa de mezcla	23
2.2.6. Isla de calor urbano	25
2.3. Ozono	26
2.3.1. Precursores	26
2.3.2. Ciclos fotoquímicos de la formación de ozono en la tropósfera	27
2.3.3. Medidas implementadas para mejorar la calidad del aire por ozono en la ZMCM	29

ÍNDICE (cont.)

	Pág
CAPÍTULO 3	
METODOLOGÍA	31
3.1. Modelación estadística	32
3.1.1. Importancia de los modelos de distribución estadística	32
3.2. Modelos de regresión lineal	33
3.2.1. Ajuste del modelo: método de los mínimos cuadrados	34
3.2.2. Coeficiente de determinación	35
3.3. Fuentes de obtención de la información	36
3.4. Manejo estadístico de datos	37
CAPÍTULO 4	
RESULTADOS	43
4.1. Concentraciones máximas anuales	46
4.2. Concentraciones promedio máximas anuales	49
4.3. Tendencias anuales	52
4.4. Variaciones diarias promedio	55
4.5. Resultados de la aplicación del modelo de regresión múltiple	56
4.5.1. Estación Cerro de la Estrella	57
4.5.2. Estación ENEP Acatlán	59
4.5.3. Estación Hangares	60
4.5.4. Estación Merced	61
4.5.5. Estación Pedregal	62
4.5.6. Estación Plateros	63
4.5.7. Estación San Agustín	64
4.5.8. Estación Tacuba	65
4.5.9. Estación Tlalnepantla	66
4.5.10. Estación Xalostoc	67
4.5.11. Capa de mezcla	68
CAPÍTULO 5	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	81
Anexo A. Tendencias de ozono para la ZMCM. Período 1994-2004	
Anexo B. Modelos de regresión por estación de monitoreo	
Anexo C. Histogramas de frecuencia para las direcciones de viento	
Anexo D. Promedios horarios de viento	
Anexo E. Ejemplo del cálculo de la capa de mezcla	
Anexo F. Comportamiento anual de los parámetros meteorológicos en estudio	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág
2.1. Número de inversiones térmicas registradas en la Ciudad de México	18
3.1. Localización de estaciones de monitoreo. Coordenadas UTM	36
3.2. Número y porcentaje de datos recabados en el período 1994-2004 en la ZMCM	37
3.3. Porcentaje de datos faltantes para ozono Período 1994-2004. 8 a 20 h	38
4.1. Excedencias anuales de la norma NOM-020-SSA-1993 expresadas en días	43
4.2. Concentraciones máximas anuales para ozono en la ZMCM	46
4.3. Concentraciones máximas promedio anuales para ozono en la ZMCM	51
4.4. Tendencias para los valores máximos promedio diarios de ozono	54
4.5. Modelo de regresión: estación Cerro de la Estrella	58
4.6. Modelo de regresión para la estación ENEP Acatlán	59
4.7. Modelo de regresión para la estación Hangares	60
4.8. Modelo de regresión para la estación Merced	61
4.9. Modelo de regresión para la estación Pedregal	62
4.10. Modelo de regresión para la estación Plateros	63
4.11. Modelo de regresión para la estación San Agustín	64
4.12. Modelo de regresión para la estación Tacuba	65
4.13. Modelo de regresión para la estación Tlalnepantla	66
4.14. Modelo de regresión para la estación Xalostoc	67
4.15. Modelo de regresión para la capa de mezcla	68
4.16. Influencia de la humedad relativa en las concentraciones de ozono	69
4.17. Influencia de la temperatura en las concentraciones de ozono	70
4.18. Influencia de la velocidad del viento en las concentraciones de ozono	70
4.19. Comportamiento del ozono según la hora del día	70
4.20. Comportamiento del ozono en el tiempo por estación de medición	71

ÍNDICE DE GRÁFICAS Y FIGURAS

Gráfica	Pág
1.1. Incremento de la población en la ZMCM	11
2.1. Tendencia de ozono en 5 estaciones de la ZMVM y principales acciones para inhibir su formación	29
4.1. Días registrados por la RAMA de excedencias de ozono	44
4.2. Concentraciones máximas anuales	47
4.3. Concentraciones máximas promedio anuales	49
4.3a. Promedio anual de las concentraciones máximas diarias de ozono para la ZMCM	52
4.4. y 4.5. Concentraciones horarias de promedio en la ZMCM	55
4.6. a 4.14. Influencia de la dirección de viento por año en las concentraciones de ozono en la Cd. de México	72

Figura	Pág
2.1. Localización de la Cuenca del Valle de México	18
2.2. Diagrama general de la altura de mezclado máxima	21
2.3. Diagrama esquemático de un ciclo diario típico de la capa de mezclado en la Ciudad de México	25
2.4. Ciclos fotoquímicos de la formación de ozono	28
3.1 Localización de estaciones de medición	37
4.1. Excedencias anuales con referencia al valor de 0.11 ppm en la ZMCM	45
4.2. Concentraciones máximas absolutas anuales para ozono en la ZMCM	46
4.3. Concentraciones máximas promedio anuales	50
4.4. Porcentaje excedencia del valor de 0.11 ppm para ozono	53

INTRODUCCIÓN

El aire puro es una mezcla gaseosa compuesta por un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y un 1% de diferentes compuestos tales como el argón, el dióxido de carbono y el ozono. Se entiende por contaminación atmosférica la inclusión de otros elementos, lo cual altera las propiedades físicas y/o químicas del aire.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México, ZMCM, es una de las áreas urbanas más grandes del mundo y es notable la contaminación del aire que padece. Los esfuerzos realizados durante los años 90 parecieran incidir en las concentraciones de los contaminantes; sin embargo, con excepción del plomo, el bióxido de azufre y el monóxido de carbono, los niveles de contaminación están aún por encima de las normas de calidad del aire para México, por lo que sin una administración activa de la calidad del aire y políticas diseñadas especialmente, no mejorarán estas condiciones en un futuro cercano.

En México, durante el Virreinato aparecieron las primeras chimeneas que emitían humos y vapores, principalmente de los procesos de la metalurgia, fundición y acuñación de metales. Humboldt, en 1803 escribe: “Ciertamente no puede darse espectáculo más rico y variado que el que presenta el valle cuando en una hermosa mañana de verano, estando el cielo claro y con aquel azul turquesa propio del aire seco y enrarecido de las altas montañas, se asoma uno por cualquiera de las torres de la Catedral de México o por lo alto de la colina de Chapultepec”. En la década de los 50, en el primer estudio sobre la contaminación atmosférica de la Ciudad de México, ya se indica y se prueba la existencia de la contaminación atmosférica, y se plantea que “no debe permitirse por ningún concepto que los niveles de contaminación atmosférica de la Ciudad de México y otras ciudades industriales, continúen aumentando indefinidamente. Las consecuencias en salud pública de dicha falta de medida de control, pueden ser dramáticas y diversas...”

Este estudio histórico menciona ya que la Cuenca de México es propicia para las inversiones térmicas, que la industrialización representa fuentes de contaminantes atmosféricos, que dada su situación geográfica y los vientos dominantes, hacen que la Ciudad de México sufra un impacto negativo en la calidad de su aire.

En 1960 H. Bravo y Báez, reportan la presencia de manganeso, plomo, hierro, estaño, berilio y aluminio en partículas suspendidas en la atmósfera de la Ciudad de México y áreas en las que se depositaban hasta 70 ton/km²/mes de polvo en la época de tolvánicas. Se detectaron concentraciones de plomo y algunos cancerígenos en muestreos entre 1966 y 1969.

Otro antecedente histórico, es el programa de medición de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México, realizado por la Secretaría de Salubridad y Asistencia en 1967, programa usado en Inglaterra y aplicado con una metodología no adecuada para México ya que nuestro país no usaba carbón como fuente de energía principal en la Ciudad.

Posteriormente, en 1973 se implementó otro programa que se realizó con muchas deficiencias y dificultades. En 1974 se empezó a instalar un costoso sistema de monitoreo automático cuyos resultados no fueron los esperados y para 1980 fue abandonado.

En 1971 se inició el control de las emisiones vehiculares requiriendo que todos los vehículos nuevos fueran equipados con un aditamento de control para la ventilación del cárter. Los resultados obtenidos de este control no coincidieron con los beneficios que se esperaban.

En el año de 1985 empezó a operar otra nueva red de monitoreo de calidad del aire, que es la actual y cuya información está a disposición de las instituciones interesadas en el problema (Bravo, 1987).

Esta red de monitoreo, a finales del año 2000, se consolidó en el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMCM; integrado por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), la Red de Meteorología (REDMET), la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) y la Red de Depósito Atmosférico (REDDA).

La RAMA tiene 32 estaciones remotas equipadas con equipo automático, de las cuales 15 forman parte de la Red de Meteorología. Mide las concentraciones horarias de aquellos compuestos o agentes que permiten conocer la calidad del aire, llamados contaminantes criterio: ozono (O_3), bióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO_2) y partículas menores a 10 micrómetros (PM10).

La REDMET registra valores horarios de las variables meteorológicas; velocidad del viento (WSP), dirección del viento (WDR), humedad relativa (RH), temperatura ambiente (TMP) y a partir del 2001 la radiación solar UV-B.

Debido al cambio paulatino de los combustibles (eliminación del plomo en la gasolina y reducción del contenido de azufre en el diesel industrial vehicular) y a la adopción de tecnologías vehiculares como la inyección electrónica de combustible e incorporación de los convertidores catalíticos, en 1999 las concentraciones de bióxido de azufre y plomo se mantenían permanentemente dentro de la norma, y las de monóxido de carbono y bióxido de nitrógeno la rebasaban de manera esporádica.

Sin embargo, persistía un problema muy serio de contaminación por ozono y por PM10. En el primero se rebasaba la norma en por lo menos 82% de los días del año hasta 1999, comparado con el 88% de los años anteriores y en muchos de ellos los niveles se mantenían por arriba de la norma durante varias horas consecutivas.

En cuanto a las PM10, también hubo avances derivados de acciones como la restauración del antiguo lago de Texcoco, la disminución del contenido de azufre en los combustibles, reduciendo de manera notable los niveles de sulfatos que se forman en la atmósfera.

Es interesante notar que el año de 1998 fue especialmente malo por las condiciones de extrema sequía durante el primer semestre, acompañadas de incendios forestales que afectaron la calidad del aire de varias ciudades del país.

Los efectos de la contaminación del aire varían desde la irritación transitoria en el sistema respiratorio, mucosas y ojos; hasta enfermedades agudas, malformaciones, cáncer o incluso la muerte, en función de la magnitud de los niveles de concentración y de los períodos de exposición de la población afectada.

Ciertos contaminantes son muy solubles, afectando la resistencia de las vías respiratorias del pulmón al ser absorbidos rápidamente produciendo un aumento en la secreción de mucosidad.

El bióxido de nitrógeno y el ozono, provocan edema pulmonar que impide el intercambio de gases con la sangre. El monóxido de carbono pasa de las cavidades alveolares a la sangre, donde se combina con la hemoglobina más fácilmente que el oxígeno. El CO, el NO₂ y el O₃ son relativamente insolubles y pueden penetrar profundamente en el pulmón hasta las cavidades alveolares.

Las concentraciones de ozono cercanas a 1 ppm producen un estrechamiento de las vías respiratorias del fondo de los pulmones, mismas que causa una mayor resistencia al paso del aire, y a la exposición a bajos niveles, se le atribuye el envejecimiento acelerado de los tejidos pulmonares por oxidación de ciertos compuestos en las proteínas. Otras investigaciones, indican que los efectos del ozono están relacionados más de cerca con la exposición acumulativa diaria que con las concentraciones máximas de una hora. También, de la misma manera que el NO₂, produce deterioro en hule, textiles y pinturas, y es responsable de la reducción de las cosechas en plantíos, al provocar lesiones en las hojas de las plantas y limitar su crecimiento; incrementa la susceptibilidad de plantas y árboles a los pesticidas, enfermedades y otras agresiones ambientales y efectos de largo plazo en bosques y ecosistemas.

Otros estudios sugieren que el grado de daño a las plantas provocado por el ozono, depende tanto de la acumulación estacional del mismo, como el ocasionado por algún evento puntual en el que los niveles de ozono alcanzan valores mucho más altos que los normalmente presentados en un lugar.

Los hidrocarburos de origen vegetal deben tomarse en consideración, debido a que son precursores de ozono; así mismo, es necesario tomar en cuenta estas emisiones para determinar que especies vegetales son las principales contribuyentes y que especies se consideran de baja emisión. Una aplicación de esta información está enfocada a las campañas de reforestación como uno de los factores de selección de las especies a ser plantadas.

Los contaminantes del aire pueden afectar las propiedades atmosféricas al reducir la visibilidad y la penetración de la radiación solar, en la formación y precipitación de neblina.

En México, la Secretaría de Salud y Asistencia, establece las concentraciones máximas de contaminantes en el ambiente que no deberían sobrepasarse más de una vez por año para que pueda garantizarse que se protege adecuadamente la salud de la población, incluidos los grupos sensibles como aquellos que padecen asma, niños o ancianos o al patrimonio arquitectónico o vegetación, cultivos y animales. Para el ozono queda normado en la NOM-020-SSA1-1993 el límite de 0.11 ppm como promedio de una hora. Para fines de este trabajo no nos enfocaremos al valor de 8 horas (0.08 ppm).

En el caso del Distrito Federal, la Asamblea Legislativa del DF emitió el 13 de enero del 2000 en la Gaceta Oficial del DF la Ley Ambiental del Distrito Federal que determina, entre otras cosas que “Las políticas y programas de las autoridades ambientales deberán estar dirigidas a garantizar que la calidad del aire sea satisfactoria en el Distrito Federal y ... las emisiones de todo tipo de contaminantes a la atmósfera, sean de fuentes fijas o móviles, deben ser reducidas

y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para la salud y bienestar de la población y el mantenimiento del equilibrio ecológico”.

Por otra parte, los niveles altos de contaminación, pueden afectar la actividad económica, ya que la instrumentación del Programa de Contingencias Ambientales (PCA) restringe las actividades de industrias manufactureras, servicios públicos y tránsito vehicular.

Se han realizado trabajos para evaluar los beneficios económicos del mejoramiento de la calidad del aire en la Ciudad de México, se estimaron costos médicos directos y pérdidas del ingreso que se evitarían cuando se cumplen los estándares de calidad del aire (Hernández, 1995).

Dentro de las acciones institucionales para el control de la contaminación atmosférica se encuentran:

El Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica, PICCA (octubre de 1988); enfocado a promover la investigación local, educación ambiental y participación ciudadana; a mejorar la calidad de los combustibles, ampliar la red del Metro y mejorar el transporte colectivo así como el control de emisiones de los vehículos; modernizar los procesos industriales y de servicios y controlar la emisión de sus contaminantes y la restauración ecológica de las áreas boscosas que circundan el Valle de México.

En el terreno del transporte, el PICCA se centró en la ampliación de la infraestructura de algunos medios masivos e incluyó la continuación del Programa Hoy No Circula (1990); sin embargo, esto fue contraproducente porque la flota vehicular aumentó (Bravo et. al, 1992).

En cuanto a la calidad de los combustibles, los precursores de ozono son los compuestos orgánicos volátiles, COVs, contenidos en los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno. Al usar la gasolina Magna-sin, se pensó que se reducirían las emisiones de COVs en 17% y las de NO_x en 11% según estimaciones basadas en una flota vehicular compuesta de automóviles con convertidor catalítico (Proaire 1995); sin embargo, esta gasolina al usarse en vehículos sin convertidor catalítico no controla la emisión de NO_x y COVs (Bravo et. al, 1992).

Los Proaires. Buscan revertir las tendencias de deterioro de la calidad del aire con estrategias, pertenecientes principalmente a los ámbitos de la regulación normativa y el de los marcos de incentivos económicos, con particular atención a las fuentes con mayor aporte de contaminantes. Está enfocado a impulsar la modernización de las tecnologías en industrias y vehículos.

Debido a lo anteriormente mencionado, se han realizado trabajos con distintos enfoques encaminados a explicar, modelar o aportar ideas para remediar este problema. Este trabajo busca tratar de explicar la influencia de diversos parámetros meteorológicos en el comportamiento histórico del ozono en la Ciudad de México.

La estructura de este trabajo es la siguiente; en el capítulo 1 se presentan algunos antecedentes del problema, en el capítulo 2 se describen las características geográficas y meteorológicas

dominantes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en el capítulo 3 se explica la metodología usada, en el capítulo 4 se muestran los resultados de analizar las tendencias del ozono durante el período 1994 al 2004, la influencia de la velocidad y dirección de viento, de la humedad relativa, de la temperatura y de la capa de mezcla sobre las concentraciones de ozono; y por último, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y las recomendaciones.

Resulta importante aclarar, como en el título de este trabajo se indica, que las pretensiones inicialmente propuestas eran las de analizar toda la información disponible a partir del año 1986, en el que se empezaron a hacer las mediciones; sin embargo, no fue posible debido a lo disperso e incompleto de esta información de ese entonces, por lo que el resultado de un análisis estadístico, como el que aquí se plantea, no hubiera sido confiable; por esta razón dicho análisis se realizó con información obtenida durante el período de 1994 a 2004. Las estaciones de análisis se eligieron por ser parte de la Red de Meteorología del Sistema de Monitoreo y estar distribuidas en la ZMVM.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

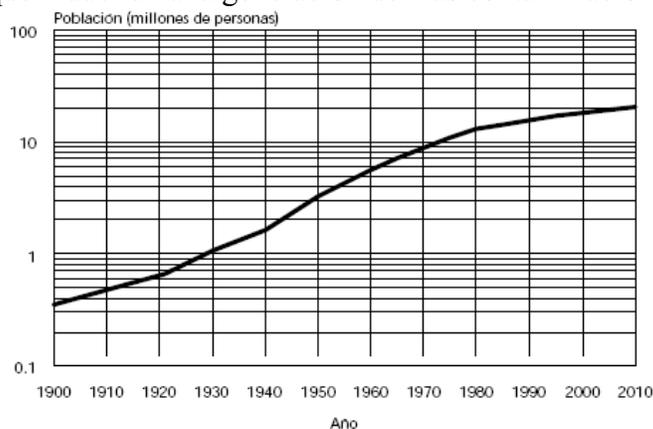
Las profundas transformaciones que han tenido los ecosistemas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, ZMCM, originadas, por el continuo incremento de la población y su asentamiento desorganizado, aunado a las condiciones geográficas y meteorológicas, mismas que propician una mayor acumulación de contaminantes, han contribuido a que la ZMCM sea la más contaminada del país y quizá del mundo.

La ZMCM es la segunda ciudad más poblada del mundo, después de Tokio, con aproximadamente 19.7 millones de habitantes (CONAPO,2005). De acuerdo a las estimaciones realizadas, la población de la ZMCM será de aproximadamente 20.8 millones en el año 2010 y unos 21.8 millones en el año 2020 (GDF,2003).

De acuerdo con el Consejo Nacional de Población, CONAPO, se espera, como se ilustra en la figura 1.1., que en la ZMCM la tasa de crecimiento poblacional sea de 1.0% en el año 2010. Asimismo, se prevé que continúe el desplazamiento de la vivienda del centro hacia la periferia en la ZMCM.

Las proyecciones de CONAPO para la evolución futura de la fecundidad, la mortalidad y la migración, indican que avanzará el envejecimiento de la población de la ZMCM. Hoy en día, 30.4% de los habitantes de la ciudad tienen menos de 15 años y 4.2% más de 65 años; en el 2010, esos segmentos de la población representarán 23.4% y 6.4% del total, respectivamente, implicando un incremento en la edad promedio de 27 a 32 años en los próximos trece años. Esta información es importante en la definición de políticas de calidad del aire, debido a que los habitantes que se encuentran dentro de estos rangos de edades, son más susceptibles a presentar enfermedades asociadas con la contaminación atmosférica.

Por otra parte, las tendencias actuales señalan que para el año 2010, podrían estar circulando en la Ciudad de México alrededor de seis y medio millones de vehículos, por lo que el congestionamiento, el consumo de combustible y los kilómetros recorridos serán cada vez mayores, factores que inducirán a la generación de más contaminación.



Gráfica 1.1. Incremento de la población en la ZMCM

Fuente: <http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/Otras/zmcm/02.pdf>

1.1. Estudios de contaminación atmosférica de la ZMCM relacionados con el ozono

Aunque existe un buen número de estudios tendientes a conocer la dinámica de la contaminación atmosférica de la ZMCM, en esta sección, solamente se hace alusión de aquellos que han permitido, mediante modelos de simulación numérica, conocer más acerca de la aerodinámica de la tropósfera, con el fin de establecer el transporte y la dispersión de los contaminantes y con ello, predecir en espacio y tiempo tanto las condiciones críticas de la contaminación, como las medidas correspondientes para su atenuación y/o protección a la población.

1.1.1. Proyecto MARI

Este proyecto fue realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo, IMP, y el Laboratorio Nacional Los Álamos de Estados Unidos, (LANL/IMP 1994), y consistió en realizar cuatro campañas de muestreo, haciendo énfasis en las mediciones de la calidad del aire y la meteorología.

En la primera campaña, realizada en septiembre de 1990, con duración de 2 semanas, se hicieron mediciones de los perfiles meteorológicos verticales y de las concentraciones de ozono en las zonas de Xochimilco y Deportivo Los Galeana. Asimismo con el propósito de obtener información meteorológica durante el período de muestreo se lanzaron 7 radiosondas diariamente en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, AICM, para obtener información meteorológica.

En lo que concierne a la segunda campaña de muestreo, ésta se realizó en febrero de 1991, en la que los perfiles verticales meteorológicos se midieron en dos fases:

- a) En esta fase los perfiles se midieron en la Refinería de Azcapotzalco del 15 al 18 de febrero y en el Instituto Politécnico Nacional, IPN, del 18 al 23 de febrero. Del 25 de febrero al 1 de marzo las mediciones se realizaron en Xochimilco y en la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.
- b) En esta fase, mediante 7 radiosondas lanzadas diariamente durante el período se obtuvieron los perfiles meteorológicos en el AICM.

En esta última campaña se incluyeron mediciones durante 40 horas de vuelo, realizados en 12 días (Proyecto Águila) para obtener perfiles verticales y distribuciones horizontales en tres diferentes altitudes y medir la distribución de ozono, bióxido de azufre y partículas, cuyos resultados se describen en Nickerson et al. (1992) y se analizan en Pérez-Vidal y Raga (1998). Los resultados muestran que las concentraciones matutinas de ozono y partículas son mayores en la parte superior de la capa de mezclado, sugiriendo que la producción fotoquímica del ozono y partículas pudiera ser más a mayor elevación.

Las campañas 3 y 4 (marzo 1992 y marzo 1993) se enfocaron a realizar mediciones de hidrocarburos en la superficie en varios sitios (LANL/IMP, 1994; Ruiz et al. , 1996). Los

resultados confirman que la relación entre los compuestos orgánicos volátiles, COVs en adelante, y los óxidos de Nitrógeno, NO_x, COV_s/NO_x, es muy grande. Además, durante la tercera campaña se midieron variables meteorológicas con radares acústicos.

Durante la cuarta campaña, se midieron concentraciones de diversos gases cercanos a la estación Merced de la RAMA.

1.1.2. Proyecto IMADA-AVER

Este proyecto se realizó del 23 de febrero al 22 de marzo de 1997 (IMP, 1998; Doran et al., 1998; Edgerton et al., 1999), con mediciones, realizadas más allá de la ZMCM, condujeron al mayor conocimiento de la meteorología y la composición de las partículas. Por parte de México, colaboraron en este proyecto, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, ININ, la Comisión Ambiental Metropolitana de la Ciudad de México, CAM, la UNAM, el Instituto Nacional de Ecología, INE, IMP, IPN y el Instituto Nacional de Antropología e Historia, INAH; y por parte de Estados Unidos los Laboratorios Nacionales del Argón de los Álamos, del Pacífico Noroeste, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica y el Instituto de Investigaciones del Desierto.

En este proyecto se establecieron mediciones de parámetros meteorológicos y de calidad del aire:

a) Parámetros meteorológicos

Se establecieron 4 sitios para monitorear la meteorología superficial y superior en el área de estudio: Chalco, la UNAM, Teotihuacán y Cuautitlán. Estos sitios fueron equipados con medidores por radar para perfiles de viento, lanzándose 5 radiosondas diarias. Además se lanzaron otras radiosondas 2 veces al día en Tres Mariás y 3 veces al día en Pachuca para capturar los flujos de aire dentro y fuera de la cuenca durante la tarde. Los resultados se presentan en Doran et al. (1998) y Fast and Zhong (1998). Entre otra información da a conocer el comportamiento del rompimiento de las inversiones térmicas y el de la altura de la capa de mezcla, destacando que las más grandes se alcanzan entre las 11 y las 16:30 h. También mencionan presencia de vientos superficiales leves en la mañana y la altura de la capa de mezclado sobre los 3000 m en la tarde, con vientos fuertes provenientes del norte, observados en la noche.

Los resultados también muestran que en la tarde, con frecuencia existe un flujo de viento en la Ciudad que atraviesa las montañas al sureste, pasando por el Corredor Cuautla-Amecameca-Chalco. Esta convergencia de vientos del norte y sur pudiera atrapar los contaminantes durante la tarde. También se encontraron flujos altos al suroeste de la Ciudad, pareciendo ser que en esa zona es por donde los contaminantes salen en la tarde. Al parecer, la meteorología sinóptica tiene un efecto importante en flujos locales y dispersión de contaminantes, haciendo difícil caracterizar los flujos diarios.

b) Parámetros de calidad del aire

Estos muestreos consistieron principalmente en la medición partículas y especies químicas gaseosas relacionadas con las anteriores pero sólo a nivel superficial.

1.1.3. Proyecto Azteca

El proyecto denominado Azteca, cuyo nombre es Evolución de los Aerosoles en la Ciudad de México: relación con especies gaseosas precursoras e impacto en extinción solar¹, se llevó a cabo del 1 al 20 de noviembre de 1997. En él se realizaron mediciones de la concentración de aerosoles presentes en la atmósfera.

Con relación al ozono y sus precursores en la ciudad, (Raga y Le Moyne, 1996) se analizaron los efectos del viento en las concentraciones de contaminantes encontrando los vientos superiores tienen una mayor influencia durante el día y los superficiales en la noche.

Los superiores causan una dilución del SO₂ y CO arriba del 50% en el Ajusco; debido a ello, el ozono se incrementa por producción secundaria; durante la noche, sugieren que los vientos pudieran transportar el ozono y sus precursores desde los niveles superiores a los inferiores.

1.2. Modelaciones realizadas para la Ciudad de México con base en los parámetros meteorológicos

A partir de 1991, se llevaron a cabo una serie de campañas intensivas de mediciones de la calidad del aire y parámetros meteorológicos de las capas superiores de la atmósfera en la ZMCM. A continuación se describe cada una de ellas.

1.2.1. Modelaciones basadas en datos de la RAMA

Estos datos han sido usados en varios estudios de modelación. Raga y Le Moyne (1996), por ejemplo, encontraron que existe un patrón dominante de transporte del noroeste al sureste, difiriendo con otros estudios que determinan que los vientos predominantes son del noreste al suroeste. Bravo et al. (1996) usan una regresión de los parámetros medidos en una estación para desarrollar un modelo predictivo de las concentraciones pico de ozono.

1.2.2. Modelaciones del Proyecto MARI

Descritos en LANL/IMP, 1994 y en Williams et al. (1995), quienes desarrollaron un modelo meteorológico tridimensional, HOTMAC, para representar los campos de viento de febrero 21 y 22 y del 25 al 28 en 1991, haciendo comparaciones de las direcciones y velocidades del viento simuladas con las observadas. Entre los descubrimientos del estudio están las observaciones de la elevación de las inversiones durante las horas matutinas, las cuales fueron reproducidas bastante bien por el modelo.

¹ Más detalles en http://www.atd.ucar.edu/dir_off/asr97/asr97_RAF.html

Los campos de viento fueron usados posteriormente para evaluar la dispersión del CO y SO₂ en la simulación con un modelo de dispersión no reactivo, RAPTAD, desde las fuentes de emisión y compararlas con las mediciones realizadas. Este modelo fue usado principalmente para considerar los valores de esos parámetros en caso de que no se hubieran decretado los controles de emisiones, la evaluación en el futuro de las estrategias ambientales si éstas se llevaran a cabo y si se incrementara la actividad productiva en la refinería de Tula.

En este proyecto, también se modeló la producción de ozono, mediante el modelo de caja OZIPM-4, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.AA., EPA (por sus siglas en inglés) y uno tridimensional para ozono y contaminantes secundarios desarrollado por los Institutos Tecnológicos de California y de la Universidad Carnegie Mellon, CIT.

Usando una trayectoria de viento obtenida mediante corridas con el modelo HOTMAC, y el modelo de la EPA, fue corrido para la trayectoria del pico de ozono observado el 22 de febrero de 1991. Se obtuvo que los resultados de la modelación eran buenos sólo después de que las emisiones de los COV_s se incrementaron por un factor de 4. También se obtuvo que la formación de ozono era altamente rica en hidrocarburos, tanto que las reducciones de las emisiones de los mismos podrían causar un pequeño incremento en la concentración de ozono. Aunque esto es teóricamente posible, no ha sido observado en los resultados de las modelaciones realizadas en la atmósfera de los EE.UU.

La primera aplicación de un modelo fotoquímico tridimensional para la Ciudad de México, lo constituye el modelo CIT cuyas simulaciones realizadas con base en las observaciones de los días 22, 27 y 28 de febrero de 1991, mostraron que dicho modelo puede reproducir ampliamente las concentraciones pico y la hora en la que se producen en muchos sitios en la ciudad, pero sólo después de incrementar, como ya se mencionó antes, las emisiones de hidrocarburos por un factor de 4. De lo anterior se deduce (Streit y Guzmán, 1996) que la calidad de la información que se puede obtener con el modelo CIT, depende de la calidad de la información que constituye el Inventario de Emisiones de la Ciudad de México.

En una aplicación similar al HOTMAC, Bossert (1997) usó el Sistema de Modelación de la Atmósfera Regional, RAMS, para modelar los flujos de viento durante el 20 al 22 de febrero de 1991. Este modelo, de 4 dimensiones, calcula campos de vientos tridimensionales. De los resultados se obtuvo que existe una influencia tanto de los vientos en las capas superiores como de la meteorología regional sobre la dispersión de los contaminantes.

Riveros *et al.* (1998), usando un modelo lineal con el mayor índice de correlación e información sobre concentraciones de hidrocarburos, CO y SO₂ proporcionados por la RAMA, trataron de inferir las fuentes de emisión de estos compuestos; así estimaron que el 75% de los hidrocarburos provienen de fuentes móviles, que del 5 al 18% de fuentes fijas y del 7 al 20 % de otras fuentes. Una de las limitaciones de este modelo es que no toma en cuenta las reacciones y el transporte de contaminantes en la atmósfera.

Asimismo, mediante una combinación lineal entre los hidrocarburos y los NO_x, se trató de estimar los picos de las concentraciones de ozono; de esto se encontró que para 1991 la concentración de ozono estaba íntimamente relacionada a las concentraciones de

hidrocarburos, sugiriendo que la formación de ozono es sensible a los COVs. Sin embargo para 1992, se encontró una relación muy fuerte con los NO_x

1.2.3. Modelaciones de la campaña IMADA

Fast y Zhong (1998) usaron el modelo de Bossert, el RAMS, para analizar los datos meteorológicos de la campaña IMADA en 7 días con altas concentraciones de ozono en marzo de 1997, empleando además un modelo de dispersión de transporte de partículas consideradas como no reactivas con información obtenida en el área metropolitana. Este método toma en cuenta el efecto del mezclado vertical y el transporte de contaminantes en el Valle de México, sin tomar en cuenta las reacciones químicas. Los resultados no discrepan mucho con los perfiles potenciales de temperatura y vientos observados en las 4 estaciones meteorológicas analizadas, mostrando el incremento de la capa de mezcla y en la tarde, el desarrollo de vientos del sureste en Chalco y en el norte en Cuautitlán.

Los resultados de la modelación mostraron claramente que existe un flujo de aire en la tarde hacia el oeste y sur y que esto generalmente se asocia con concentraciones elevadas de ozono en esos lugares. También se observó que, en algunas ocasiones, se produce un retorno de las partículas contenidas en los niveles altos de la atmósfera, hacia la parte baja de la ciudad, provocado por la recirculación de los vientos al llegar a las partes altas de las montañas en el sur y oeste de la ciudad.

La convergencia de vientos del sur y del norte en la cuenca, junto con el arrastre de aire contaminado, sugiere que los contaminantes pudieran continuar atrapados durante el día; sin embargo, estos fuertes vientos del norte también pueden servir para ventilar la zona.

El resultado de las mediciones mostró claramente que la cuenca es muy bien ventilada en las tardes y durante la noche, por lo que las altas concentraciones de contaminantes generalmente no se deben a las concentraciones acumuladas en los días anteriores, sino que son el resultado, tanto de las emisiones producidas en el mismo día, como de las acumuladas en la noche anterior en la capa límite, la cual es muy baja en las primeras horas de la mañana. Este es uno de los resultados más importantes y sorprendentes de esta campaña.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

Los factores meteorológicos desempeñan un papel muy importante en el establecimiento de las condiciones para la formación y acumulación de los contaminantes atmosféricos. En el Valle de México, por su localización geográfica y características meteorológicas particulares, se favorece en particular la presencia de altas concentraciones de ozono.

2.1. Ubicación y características fisiográficas

El Valle de México forma parte de una cuenca endorreica con características geográficas y atmosféricas particulares. Localizada a más de 250 km de distancia de la fuente de humedad más cercana (Golfo de México), se encuentra rodeada de montañas que impiden la entrada de vientos que dispersen los contaminantes, salvo en la porción norte y una estrecha salida al sur-suroeste. Se localiza a una latitud de 19° 26' 13" norte y longitud de 99° oeste, a una altitud de 2240 msnm, lo que enrarece su atmósfera con 23% menos oxígeno que a nivel del mar. Está enclavada sobre la porción suroeste de una cuenca lacustre de fondo plano con profundidades de entre 800 y 1000 m, en lo que alguna vez fueron los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco. Limitada por grandes complejos montañosos de origen volcánico: al oriente por la Sierra Nevada, cuyas cimas más elevadas sobrepasan los 5000 m; al sur, por las serranías del Ajusco y Chichinautzin, que virtualmente llegan a los 4000 m; y al poniente, por la Sierra de las Cruces, donde se superan los 3000 m. La parte media de la cuenca queda bloqueada por la Sierra de Guadalupe, donde los cerros más altos alcanzan los 2600 m. Cuenta con prominencias topográficas aisladas como el Cerro de la Estrella, El Peñón y el Cerro de Chapultepec entre otros.

Está integrada por una parte del Estado de México, el sur del Estado de Hidalgo, el sureste de Tlaxcala y casi la totalidad del Distrito Federal. Tomando en cuenta los 34 municipios conurbados del Estado de México que considera el INEGI (INEGI, 2002), la superficie de la ZMCM, como se ilustra en la figura 2.1., se estima en 4925 km².

Se presenta una alta incidencia de aire en calma sobre todo en la temporada seca. Por ello y por la menor cantidad de oxígeno, los procesos de combustión son ineficientes, aspecto que se traduce en una mayor emisión de contaminantes a la atmósfera. Por su localización geográfica, recibe una mayor radiación solar en comparación con otras ciudades situadas más al norte y por tanto mayor insolación, lo que promueve la acelerada formación de ozono tanto en verano como en invierno. Su altitud también influye, tanto en la presencia de constantes inversiones térmicas como en las características atmosféricas que promueven la permanencia de los contaminantes dentro de la cuenca.

Otro aspecto de relevancia es lo que concierne a las severas alteraciones hidrológicas y ecológicas de la cuenca, que han originado la desecación de casi la totalidad de sus lagos,

situación que ha inducido a cambios en las condiciones climáticas a niveles regional y microrregional; por ejemplo, se ha reducido la humedad e incrementado las variaciones diarias y estacionales de la temperatura.

Por otra parte ha sido el gran desarrollo industrial en las zonas urbanas en los últimos 40 años y la falta de impulso al campo, han provocado migraciones masivas a la ZMCM, provocando la ocupación desordenada del suelo y una gran demanda de servicios, como agua, transporte y energía, lo que a su vez ha generado múltiples desequilibrios de carácter económico, urbano, energético, social y ambiental.

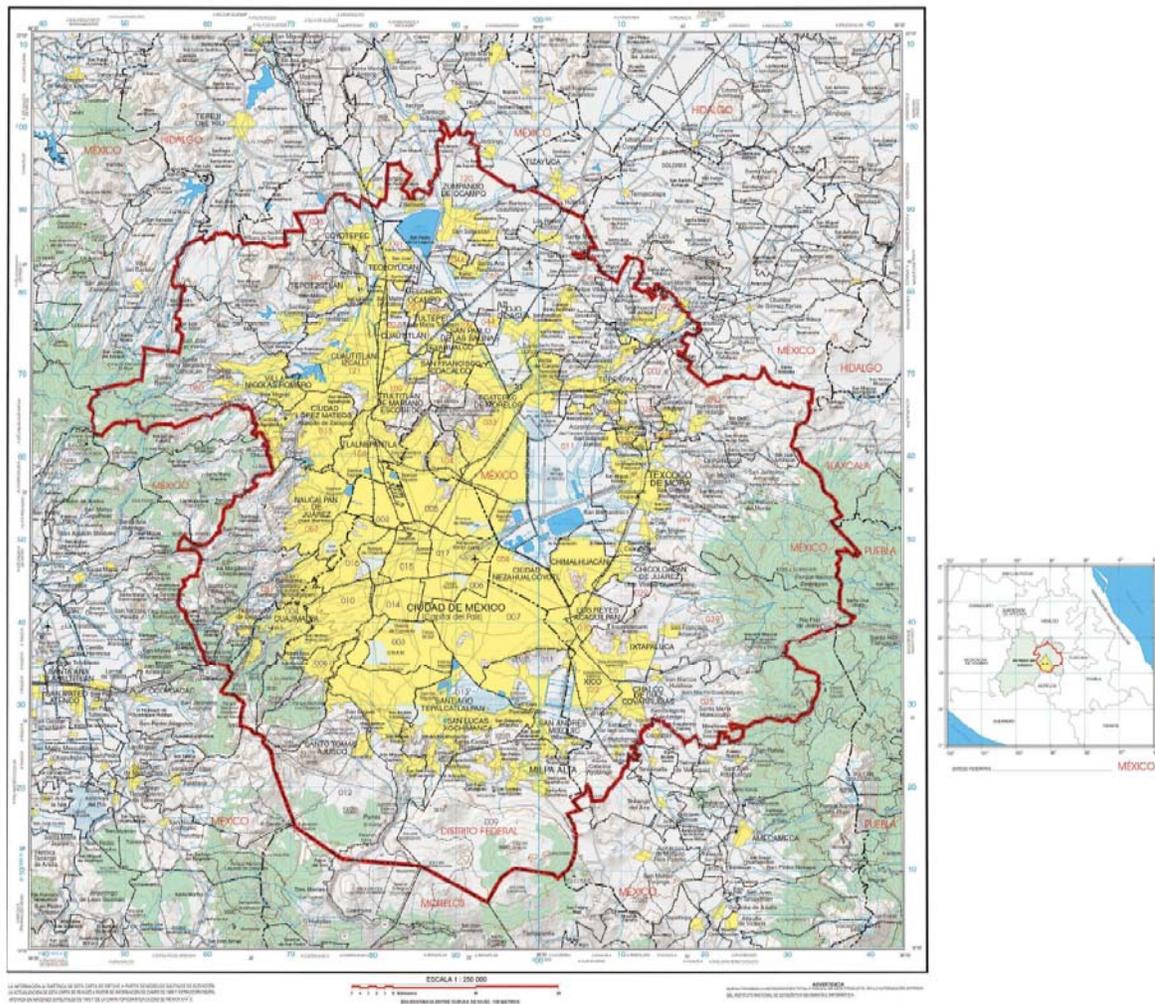


Figura 2. 1.Localización de la Cuenca del Valle de México

2.2. Meteorología

Entre los principales factores fisiográficos y climáticos que afectan la calidad del aire, destacan el entorno montañoso que rodea la cuenca, misma que constituye una barrera natural para la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes. Por ello, es un medio propicio para la acumulación de los contaminantes atmosféricos.

El país, por su posición latitudinal, se ve afectado durante el año por masas de aire con características que las identifican como de tipo polar en la etapa invernal y de tipo tropical durante el verano, las cuales debido a la posición geográfica del Valle de México, lo afectan directamente.

Así, el clima de tipo frío esta determinado por sistemas meteorológicos que vienen desde la parte norte del continente, y el clima de tipo cálido, es determinado por la afluencia de aire tropical, normalmente húmedo, proveniente del Pacífico, Mar Caribe y del Golfo de México.

Como resultado de lo anterior, los sistemas meteorológicos predominantes definen dos épocas climáticas con particularidades bien definidas: la época de “lluvias” de junio a octubre, caracterizada por aire marítimo tropical con alto contenido de humedad, y la época de “secas”, que se identifica por su bajo contenido de humedad en la atmósfera, debido a que la masa de aire correspondiente normalmente es de tipo polar continental o de tipo polar-modificado continental. La época de secas puede ser subdividida en dos: la seca-caliente (marzo-mayo), en la cual predomina aire con características tropicales pero seco, y la época seca-fría (noviembre- febrero), cuyos rasgos meteorológicos la definen como aire de tipo polar con bajo contenido de humedad.

Lo anterior es una resultante de la posición geográfica particular donde se encuentra ubicado el país y el conjunto de montañas que conforman su rica variedad orográfica, lo que da lugar a otra rica variedad en el Territorio Nacional, la del clima. La cuenca del Valle de México, participa de esta variedad por estar en el centro del país (SMA, 2004).

Los sistemas anticiclónicos (altas presiones, con vientos suaves y cielos nublados) que se registran frecuentemente en la región centro del país, tienen la capacidad de generar cápsulas de aire inmóvil en áreas que pueden abarcar regiones mucho mayores que la del Valle de México.

Entre los efectos sobre el clima urbano de la ZMCM, que ha tenido su gran desarrollo urbanístico e industrial, está la denominada Isla de Calor Urbano, debido a la cantidad de edificios, calles pavimentadas que almacenan calor, el cual es mayor debido a las actividades urbanas e industriales.

La elevada altitud de la ZMCM, la pérdida de calor por radiación nocturna, además de la escasa ventilación y su localización en la cuenca; así como el contraste diferencial de la rapidez de enfriamiento urbano/rural, como la mayor capacidad térmica del tejido urbano, el calor antropogénico y la mayor captación de la radiación solar durante el día, son factores importantes para la producción de este efecto de isla de calor (Jáuregui, 1984).

La ZMCM por encontrarse en una cuenca, presenta el fenómeno meteorológico de la inversión térmica (inversión por radiación del gradiente vertical de temperatura) con gran frecuencia en invierno y primavera (según reportes de la Secretaría del Medio Ambiente del D.F., ver tabla 2.1.), fenómeno que causa un estancamiento temporal de las masas de aire en la atmósfera, inhibiendo la capacidad de autodepuración de ésta y favoreciendo la acumulación de los contaminantes. El estancamiento perdura hasta que, al transcurrir el día y de manera gradual, la inversión térmica se rompe debido al calentamiento de la atmósfera más baja y la consecuente elevación de la capa límite de mezcla, misma que más adelante se define, llegando a alcanzar alturas de más de 4 km sobre la superficie, que provoca la dispersión de los contaminantes, dando tiempo suficiente para la formación fotoquímica del ozono en la mañana, a partir de la gran cantidad de emisiones y de la intensa radiación solar.

Tabla 2. 1. Número de inversiones térmicas registradas en la Ciudad de México

Mes / Año	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Ene	22	24	29	25	25	14	14	15	18	8	10
Feb	23	20	24	18	24	9	9	7	6	12	14
Mar	27	26	26	12	15	16	19	13	13	17	4
Abr	20	23	14	13	7	11	8	4	3	12	9
May	14	13	11	9	3	8	5	6	2	4	5
Jun	3	6	No Inversiones	6	3	1	No Inversiones	1	No Inversiones	1	No Inversiones
Jul	4	3	3	1	1	2	1	No Inversiones	No Inversiones	No Inversiones	No Inversiones
Ago	4	1	1	4	No Inversiones	1	No Inversiones	1	2	2	No Inversiones
Sep	3	2	No Inversiones	1	No Inversiones	No Inversiones	1	2	No Inversiones	No Inversiones	2
Oct	12	11	11	15	2		2	5	No Inversiones	1	1
Nov	20	17	16	12	2	7	7	9	8	8	8
Dic	27	22	25	26	11	12	10	12	14	9	8

Fuente: Subdirección de Meteorología, SMA

Las inversiones térmicas se originan debido a que, en la noche el aire localizado en las montañas que rodean la cuenca, por estar más frío que el estacionado en la superficie de la isla de calor y por lo tanto más denso, baja de las montañas hacia el fondo de la cuenca y ésta queda limitada en la parte superior por una masa de aire caliente (que ascendió) y sujeta a vientos más lentos o casi nulos propiciando una gran estabilidad que favorece la acumulación de contaminantes en la superficie. Durante el día, la radiación solar hace que la inversión no dure normalmente más de 5 h después de la salida del sol, tiempo en el que se establece la condición de turbulencia que propicia la dilución de los contaminantes por difusión y dispersión, como se ilustra en la figura 2.2.

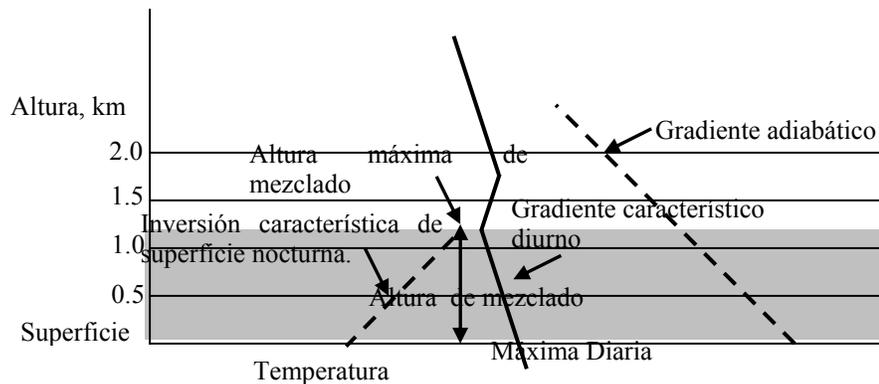


Figura 2. 2. Diagrama general de la altura de mezclado máxima

Estas inversiones de temperatura pueden dar lugar a situaciones más graves de contaminación, cuando duran más de 24 h y cuando la cuenca sea invadida por masas de aire polar continental, provocando inversiones más fuertes y profundas en altura, lo que implica un mayor tiempo de calentamiento solar para romperse.

2.2.1. Vientos

Las montañas que rodean a la cuenca del Valle de México, debido a su ubicación, condicionan el flujo del viento en el Valle, de tal manera que existen ciertos campos de viento, es decir, ciertos comportamientos del viento predominante que influyen determinantemente en el estado de los contaminantes, dando como resultado que, en general, toda la zona occidental sea la más afectada por el ozono y de esta zona, la más afectada sea la del suroeste.

El flujo del viento en superficie es influenciado por diversos factores; entre ellos están las características topográficas propias del espacio en estudio, como ya se ha mencionado.

Los patrones de viento propios de las áreas montañosas, que se tornan ascendentes durante el día (desde el valle hacia las montañas) o descendente por las noches (desde la montaña hacia el valle), se conocen como brisa de valle o vientos anabáticos y brisa de montaña o vientos catabáticos, respectivamente.

Otro factor importante, aunque menos visible, es el flujo de los vientos regionales o sinópticos, en los niveles medios y altos de la tropósfera. Así, el viento en el Valle de México no presenta un flujo raso de trayectorias rectas o de poca curvatura, sino más bien turbulento. Éstos son esquemas cambiantes durante el día, ya que se mueven de posición dentro del Valle tanto en el tiempo como en el espacio. Las sierras que lo rodean, influyen en tales comportamientos, para que se mantengan más tiempo o para que adquieran cierta forma característica de acuerdo con los patrones del viento en la altura.

En la Ciudad de México se distinguen claramente dos regímenes de viento (Jáuregui, 1988):

- Los vientos provenientes del oeste, desde noviembre hasta abril, son usualmente vientos fuertes, caracterizados por flujos anticiclónicos y cielos nublados.
- Corrientes alisias húmedas, asociadas a la época de lluvia de mayo a octubre, en la que los vientos generalmente son débiles y con una gran cantidad de humedad.

Como en otras latitudes, la circulación del aire en la noche es desalojado en una forma más eficiente en noches tranquilas con cielos despejados, característicos de las estaciones frías. Durante las estaciones húmedas, el mayor contenido de humedad y turbulencia nocturna, propician las corrientes alisias, haciendo menos frecuente el enfriamiento por radiación y menores las inversiones de superficie.

Las concentraciones de ozono asociadas a los vientos, no solamente se deben a lo que algunos análisis climatológicos sugieren, en el sentido que los vientos diurnos dominantes de superficie y provenientes del norte, transportan los contaminantes hacia el sur; sino que dependen de relaciones más complejas. Por ejemplo, corrientes de viento verticales pueden dispersar más eficientemente los contaminantes en mayores áreas, que aquellos que sólo involucran movimientos superficiales de advección y difusión (Fast y Zhong, 1998).

Los resultados de un estudio de modelación (Fast *et. al.*,1997), indican que se podría determinar, con los flujos sinópticos y las circulaciones térmicas, el sitio o sitios donde pueden presentarse la mayor concentración de contaminantes en la cuenca.

Los resultados de las mediciones realizadas por el programa IMADA para la Ciudad de México, indican que la cuenca es bien ventilada en la noche, por lo que las concentraciones cercanas a la superficie medidas en la mañana, no se ven afectadas por la contaminación del día anterior.

2.2.2. Temperatura

La temperatura superficial afecta la meteorología local en al menos 3 formas. Las temperaturas cálidas, incrementan la profundidad de la capa de mezcla, permitiendo una mayor dispersión de contaminantes por el contrario, las temperaturas bajas inhiben la dispersión.

La segunda forma, es a través de sus efectos en la velocidad del viento. Las superficies cálidas propician la convección, causando la mezcla del aire de superficie con el de las capas superiores y éstas, con las inferiores. Debido a que los vientos en superficie son menores en magnitud a los superiores, la mezcla vertical de éstos con los horizontales, origina que éstos últimos se aceleren y los superiores se frenen, dando origen a la resuspensión de partículas de polvo y aerosoles depositadas en el suelo.

Por último, los cambios en las temperaturas del terreno propician los cambios en la temperatura del aire cercano a él; y por ende, afectando las tasas de cambio de muchos procesos, como las emisiones de gas biogénico de los árboles, monóxido de carbono de vehículos, reacciones químicas y cambio del estado físico del vapor de agua.

2.2.3. Humedad en el suelo

Este es un parámetro importante que afecta la temperatura del suelo, la convección de calor, la capa de mezcla y los vientos de superficie; factores vinculados a la concentración de los contaminantes. La humedad del suelo lo enfría principalmente en dos formas; primero, debido a la evaporación y segundo, debido a que se incrementa el calor específico de la mezcla aire-suelo.

En un estudio realizado en Los Ángeles Cal., E.U. (Jacobson, 1999), se encontró que un aumento de la humedad del suelo en sólo 4%, decrementa la temperaturas del aire en alrededor de 6° C y reduce las velocidades del viento en más de 1.5 m/s, retrasa la hora en la que se registra el pico de ozono por más de dos horas, e incrementa el pico de la concentración de partículas durante un período de dos días. Estos resultados implican que la precipitación, la irrigación y el cambio climático afectan las concentraciones de los contaminantes.

2.2.4. Humedad relativa

La humedad relativa, es un indicador de la cantidad de vapor de agua presente en un punto de la atmósfera y en un tiempo determinado. Depende fuertemente de la temperatura del momento; por ello, puede haber una gran variación espacial de este parámetro para un mismo instante. En el Valle de México, las variaciones de humedad relativa son grandes en un mismo día. Los valores más altos de humedad, se registran al suroeste cerca de la zona montañosa, a causa del flujo de aire y por la mayor cantidad de la cubierta vegetal en dicha zona (SMA,2003).

2.2.5. Capa de mezcla

Dado que la altura de la capa de mezcla se presenta en la tropósfera, a continuación se explica la posición de ésta en la atmósfera.

a) Las capas atmosféricas

La atmósfera puede dividirse, convenientemente, en un cierto número de capas horizontales bastante marcadas, basándose principalmente en la temperatura. La existencia de esta estructura ha sido confirmada por medio de radiosondeos.

De un modo general, se puede considerar que la atmósfera está formada por tres capas relativamente calientes (la inmediata a la superficie; otra, entre los 50 y 60 km de altura y la tercera, del orden de 120 km de altura), separadas por dos capas relativamente frías (una entre los 10 y 30 km de altura y la otra a unos 80km). De éstas, solamente se da una descripción de la capa inferior por ser de la que se tiene información de los radiosondeos considerados en este estudio.

La capa inferior de la atmósfera, arriba mencionada, recibe el nombre de tropósfera. Es la zona en que los fenómenos del clima y la turbulencia atmosférica son más marcados y contiene el 75% de la masa molecular o gaseosa total de la atmósfera y prácticamente todo el vapor de agua y todos los aerosoles. En general, en esta capa, la temperatura desciende con la altura, a una tasa media de $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (gradiente adiabático seco) y toda la zona, suele estar coronada por una inversión de temperatura; esto es, una capa de aire relativamente cálido situada sobre otra de aire más frío, o bien por un estrato isoterma con la altura. Por lo tanto, la tropósfera es en gran parte un sistema cerrado, ya que la inversión actúa como una “tapadera” que limita la convección térmica. Esta capa de inversión recibe el nombre de “tropopausa”¹. Su altura no es constante ni en el espacio ni en el tiempo.

b) Altura de mezclado

La altura de mezclado o capa de mezcla en la atmósfera, se define como la altura máxima que alcanza la masa de aire de la atmósfera en la que se pueden diluir las sustancias presentes en ella. La estabilidad de las capas de la atmósfera depende de sus coeficientes adiabáticos locales.

El nivel de condensación por convección, NCC, determina la altura máxima que puede alcanzar la capa de mezclado en un día determinado y se define como la altura en la que una parcela de aire, suficientemente calentada desde abajo, ascenderá adiabáticamente hasta su saturación. En el caso más común, esto representa la altura de la base de las nubes cumuliformes que se producirán por la convección térmica de una superficie de terreno húmeda y caliente. Para determinar el nivel de condensación de vapor de agua por convección en un sondeo, se utiliza una gráfica como la mostrada en el anexo E. La altura de la capa de mezcla es, entonces, la altura del NCC medida en metros geopotenciales sobre el nivel del terreno (SMN,1994).

Las observaciones de radiosondeo, se realizan para determinar el estado termodinámico de la atmósfera, hasta una altura de aproximadamente 25 km. La radiosonda, es un instrumento que contiene sensores de presión, de temperatura y de humedad, y es llevada a través de la tropósfera por un globo inflado con un gas más ligero que el aire, usualmente helio. La radiosonda tiene además, un transmisor que emite una señal de radiofrecuencia modulada por la presión, la temperatura y la humedad del aire, y con señales de referencia registradas en un receptor en tierra. En los equipos automáticos instalados en México, el receptor recibe las señales de la radiosonda información con la que se construyen las tablas de las variables meteorológicas.

La capa de mezcla es importante en la contaminación del aire porque, como se ilustra en la figura 2.3, en la noche su espesor es pequeño, creando inversiones térmicas en condiciones de estabilidad atmosférica. En la mañana, al calentarse la superficie por el sol, el aire cercano a la superficie del suelo se mezcla con el inmediatamente superior. De esta forma, este aire bien mezclado se eleva incrementando la profundidad de la capa de mezcla, provocando que los

¹ La tropopausa es el nivel más bajo de la atmósfera en que el gradiente de temperatura desciende a una tasa igual o menor a $2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (en el supuesto de que el gradiente medio de la capa superior exceda a $2^{\circ}\text{C}/\text{km}$)

contaminantes emitidos en las primeras horas del día, se diluyen al mezclarse con la capa residual. Debido a que esta dilución es generalmente mayor en la tarde, las concentraciones más altas de ozono, generalmente se presentan en las primeras horas de la tarde (Molina et.al. 2002). En el anexo E se presenta un ejemplo del cálculo de la capa de mezcla en la Ciudad de México.

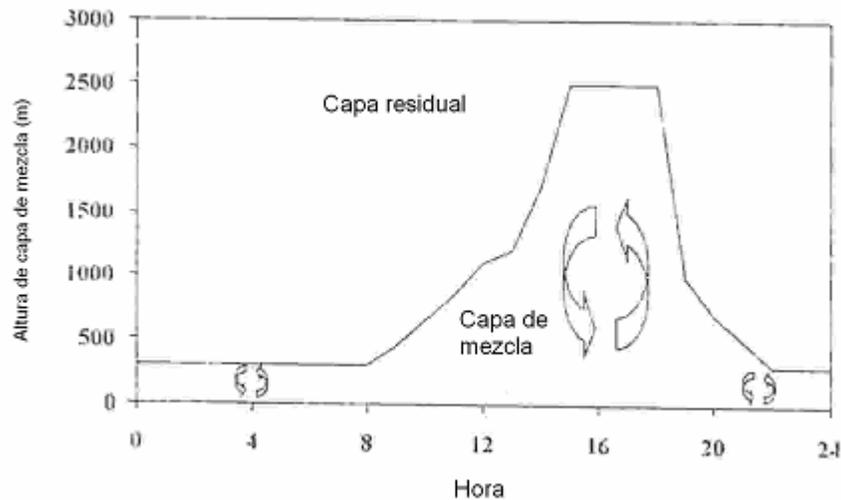


Figura 2.3. Diagrama esquemático de un ciclo diario típico de la capa de mezclada en la Ciudad de México

2.2.6. Isla de calor urbano

Las superficies urbanas consisten principalmente de banquetas, calles, azoteas, cubiertas de vegetación y tierra. Los materiales de construcción de los que están hechas las ciudades, incrementan las temperaturas superficiales debido al llamado efecto de la isla de calor, fenómeno registrado primeramente por un físico inglés, Luke Howard, en 1807. Debido a este efecto, las temperaturas dentro de las ciudades son mayores que fuera de ellas, como en el caso de la Ciudad de México, a pesar de que la radiación solar que incide en su superficie es atenuada hasta en un 35% debido a ciertos contaminantes presentes en el aire, principalmente aerosoles (Jáuregui y Luyando, 1999). Estos aerosoles, cuyo diámetro de partícula varía entre 0.1 y 10 μm también incrementan la turbiedad en la atmósfera y en consecuencia disminuyen su visibilidad.

En este estudio, además, se encontró que, en las zonas rurales o semirurales aledañas, como El Ajusco, Anzaldo, Los Reyes, Chalco, las temperaturas descienden sugiriendo que, esto se debe a la atenuación de la radiación solar mencionada por el arrastre de los contaminantes, viento abajo; lo que además refuerza la idea de que las ciudades desempeñan un papel importante en el cambio climático regional y global (Oke, 1993).

Al incrementarse las temperaturas, también lo hace la capa de mezcla y los vientos superficiales, lo cual hace que decrezca la concentración de contaminantes y se incrementen incluso las tormentas eléctricas (Bornstein y Lin, 2002)

2.3. Ozono

El ozono es un gas incoloro de olor picante. Es un contaminante secundario, formado en la atmósfera por reacciones químicas entre los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos, cuyas fuentes son mayoritariamente vapores de gasolina, solventes químicos y productos de la combustión. Estas reacciones son estimuladas por la radiación solar. Las condiciones óptimas para su formación son vientos bajos o masas de aire quietas con cielo despejado.

En un estudio de monitoreo de ozono, realizado en la zona del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (Bravo, 1987), se observó el incremento del óxido nítrico (NO) y de hidrocarburos durante las primeras y últimas horas del día y una disminución después de las 9:00 h. Este fenómeno, aunado al incremento de la profundidad de la capa de mezcla, se atribuye a la reacción fotoquímica sobre estos contaminantes, que da lugar a la aparición e incremento de concentraciones de oxidantes como el ozono, mismo que alcanza su máximo en las primeras horas de la tarde.

A nivel estacional sucede que el promedio de las concentraciones de ozono es alto durante el invierno, disminuyendo durante la primavera, teniendo su más bajo nivel en el verano e incrementándose nuevamente en el otoño, manteniendo esta tendencia de crecimiento durante el invierno. Esto se debe a que las nubes inhiben la fotoquímica del ozono y las lluvias remueven gases precursores y partículas (Bravo, 1987).

En un estudio (Bossert, 1997) se sugiere que los vientos dominantes, provenientes del norte de la Ciudad de México, transportan los contaminantes a la parte suroeste donde las concentraciones de ozono son las más altas; sin embargo, la relación entre los vientos y el ozono implican procesos más complejos (Fast y Zhong, 1998, Doran *et al.*, 1998; Whiteman *et al.*, 2000).

2.3.1. Precursores

El ozono a nivel superficial, es un problema de contaminación atmosférica remanente en la Ciudad de México. No es emitido directamente en el aire, sino que es el resultado de las reacciones de los compuestos orgánicos volátiles, COV_s, y óxidos de nitrógeno, NO_x, en presencia de calor y luz solar; debido a esto, durante los meses de verano la formación de ozono ocurre rápidamente.

Los COV_s son emitidos por una variedad de fuentes, incluyendo vehículos automotores, plantas químicas, refinerías, fábricas y otras fuentes industriales. Los NO_x son emitidos por vehículos, plantas de energía y otras fuentes de combustión.

El ozono y sus precursores, además pueden ser transportados desde las fuentes de emisión hasta muchos kilómetros viento abajo.

La dependencia de la formación de ozono con respecto a la meteorología, se debe a que la producción fotoquímica no se inicia inmediatamente después de que son emitidos los precursores, sino que existe al inicio, un mezclado y transporte atmosférico simultáneos y sostenimiento de todas las posibles reacciones de química atmosférica (Torres, 1992). Por esta razón, los niveles más importantes de ozono se presentan viento abajo de las principales fuentes de emisión.

A partir de 1986, los niveles de ozono en la ZMCM se incrementaron en forma considerable, coincidiendo con el cambio de gasolinas realizado por PEMEX en ese período. El propósito de este cambio, era disminuir los niveles de plomo que se emitían por el consumo de los combustibles; sin embargo, la formulación de estas gasolinas propició el aumento de los NO_x , precursores de ozono.

En 1990, se estableció, en forma permanente el programa “Hoy no circula” con el que supuestamente se retirarían de circulación 500 mil vehículos al día. Sin embargo, esto fue contraproducente ya que la flota vehicular aumentó.

En 1991 se introdujo al mercado otra gasolina, Magna-sin pero ésta, al ser usada en vehículos sin convertidor catalítico, no hizo posible controlar las emisiones de NO_x y de los compuestos orgánicos reactivos.

Cuando los COVs se encuentran en abundancia en la atmósfera, las concentraciones de ozono se pueden disminuir de manera efectiva si se disminuyen las concentraciones de NO_x ; no así si se disminuyen las concentraciones de los COVs. Esta situación se conoce como “sensibilidad a los NO_x ”. Cuando los NO_x son abundantes, la formación de ozono es “sensible a los COVs” por lo que se sugiere generalmente la disminución de las emisiones de los COVs. De esta forma, es mejor procurar disminuir las emisiones de los COVs para reducir los picos de ozono, mientras que la disminución en los NO_x , son generalmente necesarias para disminuir las concentraciones de ozono viento abajo (Milford *et al.*, 1989; NRC, 1991).

Lo anterior concuerda con una de las conclusiones obtenidas en el proyecto MARI, que establece que el ozono en la Ciudad de México, a diferencia con la mayoría de otras ciudades, es sensible a los NO_x .

2.3.2. Ciclos fotoquímicos de la formación de ozono en la tropósfera

En un estudio en el que se analizó la contaminación por ozono (Bravo y Torres, 1986), se reportan altas concentraciones y picos máximos después del mediodía fuera de las zonas identificadas como grandes fuentes de emisión de NO_x , y transporte de masas de aire a zonas viento abajo. En otro análisis similar (CMPCCA, 1992), se encontró que la formación del ozono no se comporta linealmente en relación con las emisiones de sus precursores.

En cuanto a los ciclos fotoquímicos, de acuerdo con los estudios realizados por Bravo *et al.*, (Bravo *et al.*, 1978); son dos los que intervienen en la formación de ozono:

a) Primer ciclo

El bióxido de nitrógeno, NO_2 , absorbe muy eficientemente la energía ultravioleta solar que llega a la superficie de la Tierra, produciendo una reacción fotolítica. Ésta se explica como la formación y destrucción del ozono con base en la disociación del NO_2 que libera un átomo libre de oxígeno, O , y una molécula de óxido nítrico, NO . El átomo de oxígeno se une al oxígeno molecular, O_2 , formando una molécula de ozono, O_3 ; éste reacciona a su vez con el NO y se disocia para formar de nuevo O_2 y NO_2 , cerrándose el ciclo.

De acuerdo al ciclo fotolítica, el O_2 y el NO deberían destruirse en las mismas cantidades; sin embargo, esto no sucede así debido a la intervención de ciertos hidrocarburos que provocan una reacción más extensa, generándose el segundo ciclo.

b) Segundo ciclo

Los átomos de oxígeno y las moléculas de ozono, tienen gran capacidad para reaccionar por medio de la oxidación de los hidrocarburos reactivos. La oxidación del átomo de oxígeno es mucho más rápida que la de la molécula de ozono; así, los hidrocarburos no metánicos, HCNM, se combinan con mayor facilidad con los átomos disponibles de O , que proceden de la descomposición del NO_2 , formando radicales libres, que oxidan al NO y al NO_2 , reiniciando con ello el ciclo. En la figura 2.4. se observa la conversión del NO a NO_2 sin consumir O_3 , lo cual explica la formación del ozono.

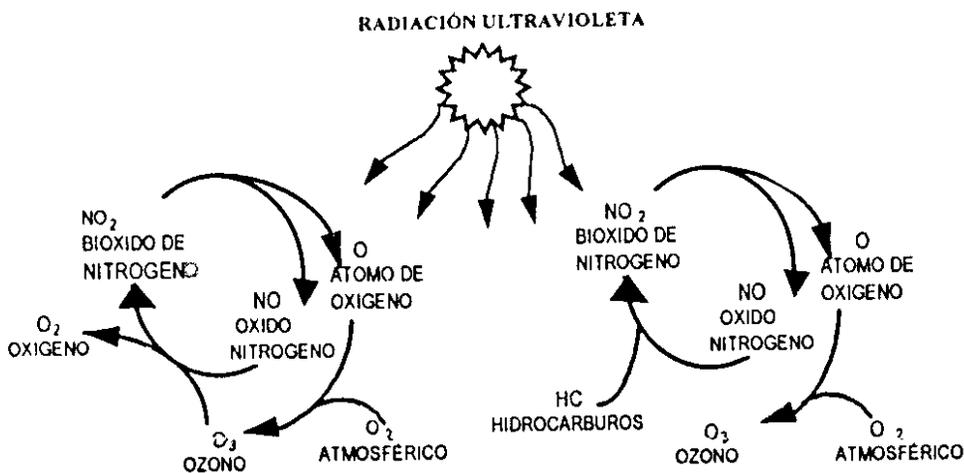


Figura 2.4. Ciclos fotoquímicos de la formación de ozono

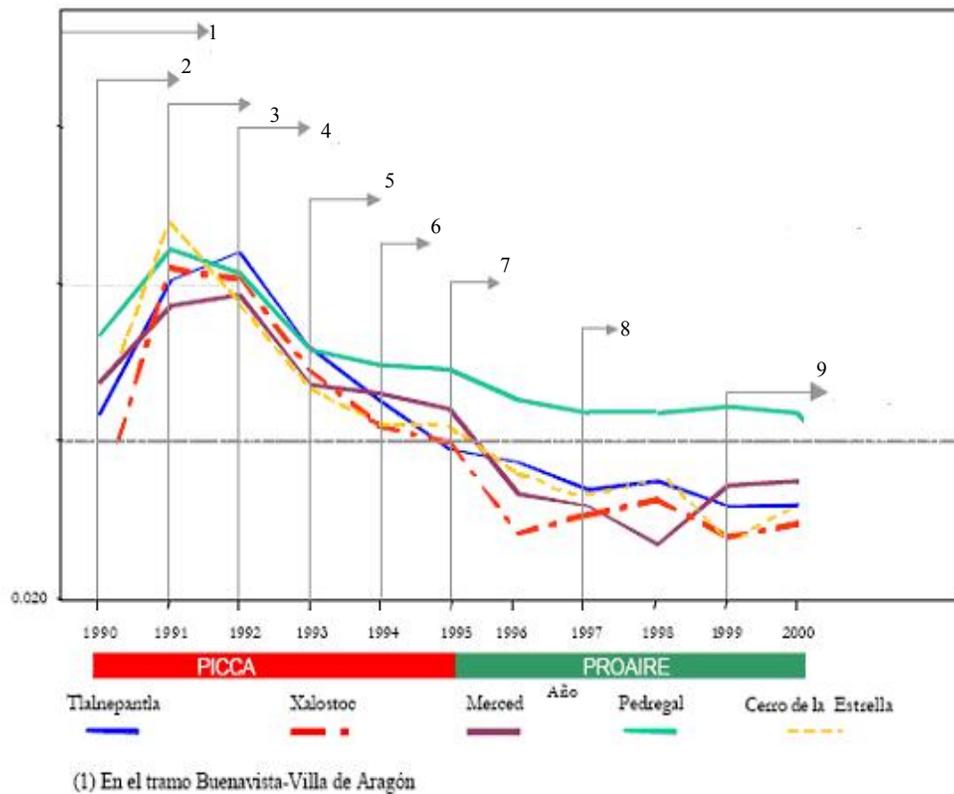
La formación del ozono depende principalmente de:

1. Grado de incidencia de la radiación solar, que influye directamente en la reactividad fotoquímica de la atmósfera.
2. Cantidad y características de reactividad de los precursores.
3. Relación entre las concentraciones de hidrocarburos no metánicos y óxidos de nitrógeno (HCNM/ NO_x).

2.3.3. Medidas implementadas para mejorar la calidad del aire en la ZMCM

En esta sección se presentan las medidas mencionadas en el Proaire 2002-2010 que se han tomado en la ZMVM, durante el período de estudio que abarca este trabajo, con el fin de controlar y/o reducir los niveles de contaminación por ozono.

En 1996, se implementó el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000, PROAIRE, para mejorar y continuar las medidas iniciadas a principios de la década. Su objetivo principal era reducir las concentraciones pico y promedio de ozono a través de la reducción de las emisiones de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos en la industria, vehículos, transporte público y reducción de la erosión del suelo.



Gráfica 2. 1. Tendencia de ozono en 5 estaciones de la ZMVM y principales acciones para inhibir su formación

Fuente: PROAIRE 2002-2010

Las medidas adoptadas en esta gráfica son:

1. En 1989 inicia el Programa “Hoy no circula” y el Programa de Verificación Vehicular, además de la distribución de gasolina oxigenada con un 5% de MTB
2. En 1990 inicia el traslado de industrias altamente contaminantes fuera de la ZMVM
3. En 1991 se empezó a introducir automóviles con convertidor catalítico, esto requirió la distribución de gasolina Magna Sin
4. En 1992 se redujo el contenido de hidrocarburos reactivos en las gasolinas Nova y Magna Sin
Inició el Programa de Control de Emisiones Industriales para reducir la emisión de NOx e hidrocarburos
5. A partir de 1993 todos los vehículos nuevos incorporaron los sistemas con convertidor catalítico de tres vías para control de emisiones de NOx, HC y CO
6. En 1994 entra en vigor la norma NOM-085 que regula a la industria con niveles de emisión más estrictos
7. En 1995, PEMEX-Refinación incorpora el Sistema de Recuperación de Vapores “FASE 0” en cuatro terminales de almacenamiento y distribución de gasolinas
8. En 1997 se inicia la distribución de gasolina Magna Reformulada, continuando así el programa de mejora de combustible
9. En 1999, inicia su operación la línea B del Metro

En el PROAIRE se menciona que la reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno esperadas serán graduales y que deberán ser revisadas periódicamente con el fin de evaluar la efectividad de las estrategias y medidas planteadas en dicho programa.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

La metodología usada en este trabajo se basó en la teoría de la regresión lineal simple y múltiple a través del análisis estadístico de la información, en la que se establecen ecuaciones o modelos matemáticos estocásticos, que permiten conocer, con cierto grado de precisión, las tendencias espacio-temporales de fenómenos aleatorios como en este caso, la del ozono.

Históricamente, como otras ciencias que surgieron por necesidades militares, la modelación matemática estocástica empieza en el siglo XVI. El objetivo era interpretar la trayectoria de las balas de cañón y mejorar la exactitud en acertar en los blancos enemigos.

En los dos últimos siglos, los científicos se han avocado a estructurar modelos matemáticos, en los que se hacen intervenir cada vez más el número de variables que definen a los fenómenos naturales, y de esta manera conocer más acerca de los fenómenos complejos; así se han desarrollado modelos determinísticos o combinación de éstos con los estocásticos; sin embargo, en la medida en la que esto ha sucedido también se han presentado complicaciones para encontrar soluciones analíticas. Por esto, desde el punto de vista práctico, estas ecuaciones complejas sólo pueden resolverse bajo condiciones extremadamente simplificadas; esto es, condiciones de estado estable, consideraciones homogéneas y en una o dos dimensiones (Zannetti, 1994).

En cuanto a los fenómenos atmosféricos, su dinámica es tridimensional, nunca en calma y rara vez homogénea, aspecto que ha dificultado la estructuración de modelos de simulación que expliquen en su totalidad la dinámica atmosférica; sin embargo, el desarrollo en la tecnología computacional y el de los métodos numéricos, ha permitido reducir las complicaciones en la modelación de la dinámica atmosférica; sin embargo aún con esto, siguen siendo simplificaciones de los sistemas reales por lo que no ha sido posible obtener soluciones generales; sino más bien, aproximaciones a la solución específica de los problemas planteados.

Así ha sido posible, mediante la transformación de la información de las emisiones, actividades humanas, meteorológica, geográfica, etc.; contenida en bases de datos, conocer sus correspondientes concentraciones, deposiciones en algún lugar o medio, los daños a la salud, etc.

Lo anterior ha permitido hacer los modelos de contaminación más accesibles a los usuarios, que sin necesidad de entender los detalles de los cálculos computacionales, los puedan utilizar como cajas negras (Khare y Sharma, 2002).

En las últimas dos décadas, las técnicas de series de tiempo, han sido de gran utilidad para describir la dispersión de contaminantes.

3.1. Modelación estadística

El problema fundamental de la modelación de la contaminación del aire es calcular las concentraciones en el aire de una o más especies “variables dependientes” en el espacio y tiempo; en relación con las variables independientes, tales como las meteorológicas, a través de un sistema que relacione cuantitativamente las variables arriba mencionadas; esto es, se busca la identificación de funciones de la forma $F(C)$ que permita la predicción de la concentración de los contaminantes $C(x, t)$ en cualquier punto en el espacio x , y tiempo t , si las emisiones y otras variables meteorológicas son conocidas.

Lo anterior se puede hacer si se tiene una relación estadística entre las variables consideradas; por lo que la mayoría de los modelos estadísticos, en la investigación de la contaminación del aire, son aplicaciones de métodos bien conocidos usados en meteorología.

Los modelos estadísticos no involucran emisiones. Involucran concentraciones y factores que pueden afectarlas tales como la dirección y velocidad del viento, radiación solar, temperatura del aire, hora del día, día de la semana, etc., y mediante correlaciones estadísticas se estima la magnitud de la variación de las concentraciones debida a cada factor. Así, si la influencia de cada factor es conocida, se puede hacer la estimación o estimaciones de la concentración de interés. Debido a que las predicciones se basan en información histórica, la influencia de los factores considerados sobre la concentración, será la misma en el futuro solamente para esas condiciones (Colls, 2002).

3.1.1. Importancia de los modelos de distribución estadística

En muchas aplicaciones, se prefiere el uso de modelos estadísticos que los determinísticos debido principalmente a cuatro razones (Zannetti, 1989,1990):

- Son más prácticos en tiempo real y en predicciones a corto plazo, dado que pueden en cierto grado, considerar variaciones desconocidas en los datos de entrada (como tasas de emisión de contaminantes).
- Los predictores estadísticos, permiten introducir todos los datos disponibles (emisiones, meteorología y concentraciones).
- La información obtenida de las concentraciones para la predicción, es de mayor relevancia que la que se obtiene mediante simulaciones determinísticas.
- Los estimadores estadísticos, frecuentemente tienen capacidades de adaptabilidad que son útiles en regiones y durante períodos diferentes de aquellos para los que fueron estimados.

3.2. Modelos de regresión lineal

La relación entre los niveles de contaminación y los factores de los cuales dependen, como las variables meteorológicas, se han analizado usando modelos de regresión. Dentro de los modelos de regresión se incluyen los lineales, cuya forma general involucra como variable dependiente Y , a la concentración de los contaminantes, y k variables independientes, X_1, \dots, X_k , cuya relación queda expresada por la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3.1)$$

en la que:

β_0 : Ordenada al origen

$\beta_1 \dots \beta_k$: Coeficientes de los elementos x

ε : Error aleatorio

Ahora, la variable dependiente Y , se expresa como una función de k variables independientes x_1, x_2, \dots, x_k , y el término de error aleatorio, para considerar la desviación, entre la parte determinista del modelo, $\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$, y el valor de la variable dependiente Y . El componente aleatorio, hace que el modelo sea probabilístico y no determinista. El valor del coeficiente β_i determina la contribución de la variable independiente x_i , y β_0 , es la ordenada al origen de Y .

Las variables x_1, x_2, \dots, x_k pueden ser funciones de variables, siempre y cuando no contengan parámetros desconocidos, como en el siguiente modelo:

$$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^2 + \beta_3 x_3 \quad (3.2)$$

Aunque este modelo contiene términos cuadráticos, sigue siendo lineal en los parámetros desconocidos $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$. A este tipo de modelos se les llama modelos lineales.

En lo que concierne a los modelos de regresión lineal múltiple, para su desarrollo, se procede de la siguiente manera:

1. Se propone la forma del modelo; esto es, se seleccionan las variables que se deben incluir en el mismo.
2. Se estiman los parámetros desconocidos, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$
3. Se especifica la distribución de probabilidad del componente aleatorio de error ε y se estima su variancia σ^2
4. Se comprueba si el modelo es adecuado
5. Se emplea el modelo ajustado para estimar el valor promedio de Y o para predecir un valor determinado de Y para valores dados de las variables independientes.

3.2.1. Ajuste del modelo: método de los mínimos cuadrados

El método que se emplea para ajustar modelos de regresión múltiple, es idéntico al modelo de regresión lineal simple. Es decir, se selecciona el modelo estimado:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \dots + \hat{\beta}_k x_k \quad (3.3)$$

que hace mínimo a la suma del cuadrado de los errores, SEC:

$$SEC = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.4)$$

donde :

y_i = valor observado de Y_i

\hat{y}_i = valor predicho de Y_i para el modelo

Antes de medir formalmente la utilidad del modelo, se tiene que estimar la variancia del componente de error ε .

La especificación de la distribución de probabilidad del componente de error ε del modelo de regresión múltiple es la suposición de que ε tiene distribución normal con promedio cero y variancia σ^2 constante, para cualquier conjunto de valores de las variables independientes x_1, x_2, \dots, x_k con errores independientes. Con estas hipótesis, lo que queda para especificar la distribución de probabilidad de ε es estimar σ^2 . Así σ^2 :

$$\sigma^2 = \frac{SEC}{n - (k + 1)} \quad (3.5)$$

donde:

SEC = suma de errores al cuadrado

n = no. de datos

(k+1) = número de parámetros estimados β

El estimador σ^2 , se usa tanto para comprobar lo adecuado del modelo, como para dar una medida de la confiabilidad de los predictores y estimaciones cuando se emplea el modelo para esos fines.

3.2.2. Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación múltiple, r^2 se define como:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{SEC}{SCT} \quad (3.6)$$

donde:

y_i = valor observado de Y_i

\hat{y}_i = valor predicho de Y_i para el modelo

\bar{y} = valor medio

SEC = suma de errores al cuadrado

SCT = suma de cuadrados totales

Al igual que para el modelo lineal sencillo, r^2 es la fracción de la variación de la muestra de los valores de y (medida por SS_{yy}) que explica la ecuación de predicción de los mínimos cuadrados.

La prueba de hipótesis establece como hipótesis nula:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

y como hipótesis alternativa:

H_a : por lo menos uno de los coeficientes, β_i , es distinto de cero

que prueba, formalmente, la utilidad global del modelo. La medida estadística de prueba para la hipótesis nula es la de Fisher, definida como:

$$F = \frac{r^2/k}{(1-r^2)/(n-(k+1))} \quad (3.7)$$

en la que n es el número de datos y k es el número de parámetros en el modelo excluyendo a β_0 . Esta medida de la prueba F es directamente proporcional a r^2 .

La región de rechazo para H_a se determina cuando:

$$F > F_{\alpha}(k, n - (k + 1))$$

El uso de una variable de tipo alfabética permite valorar los efectos de una variable cualitativa sobre la respuesta promedio. También la desviación estándar ayuda a tener una idea de la cantidad de información que el modelo contiene acerca de Y .

Para probar la utilidad de cada parámetro individual se usa la medida estadística de prueba t , estableciéndose una región de rechazo para un nivel de significancia dado por α . (Scheaffer y McClave, 1995).

3.3. Fuentes de obtención de la información

Para el ozono se utilizaron las bases de datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, RAMA y para las variables meteorológicas: velocidad y dirección de viento, temperatura y humedad relativa, de la Red de Meteorología, REDMET; ambas redes adscritas al Sistema de Monitoreo Atmosférico, SIMAT, de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal.

Tanto la información correspondiente al ozono como a las variables meteorológicas, procedieron de aquellas estaciones de medición (10 en total) en las que existen registros meteorológicos con más del 90% de los datos para el período 1994 a 2004. La localización de estas estaciones se presenta en la tabla 3.1. y figura 3.1.

En cuanto a los datos para capa de mezcla, se utilizaron los registros proporcionados por el personal del Observatorio Meteorológico Nacional¹ y por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría del Medio Ambiente²

La información anterior, contiene los datos del estado de la atmósfera, codificados en dos partes; la primera, agrupa los datos de hasta 100 HPa* y la segunda, agrupa los datos arriba de los 100 HPa. Cada una de estas partes, se compone a su vez de tres secciones; la primera, corresponde a los niveles obligatorios, la segunda, a los niveles significativos y la tercera, a los datos de viento.

Dado que la altura de la capa de mezclado se presenta en la tropósfera, durante el análisis meteorológico, se utilizaron los datos de niveles obligatorios hasta 16 km de altura.

Tabla 3.1. Localización de estaciones de monitoreo. Coordenadas UTM

Estación	X	Y
Cerro de la Estrella, CES	492156	2137867
ENEP Acatlán, EAC	474474	2154042
Hangares, HAN	491221	2147360
Merced, MER	487478	2147662
Pedregal, PED	478600	2136644
Plateros, PLA	478985	2141323
San Agustín, SAG	496859	2159593
Tacuba, TAC	478750	2151065
Tlalnepantla, TLA	478573	2159179
Xalostoc, XAL	491980	2159096

¹ Dra. Gloria Herrera Vázquez, SMN

² ref Meteorólogo Alfredo Alfonso Soler, SMA del GDF

* 100 Hpa = 1 mbar

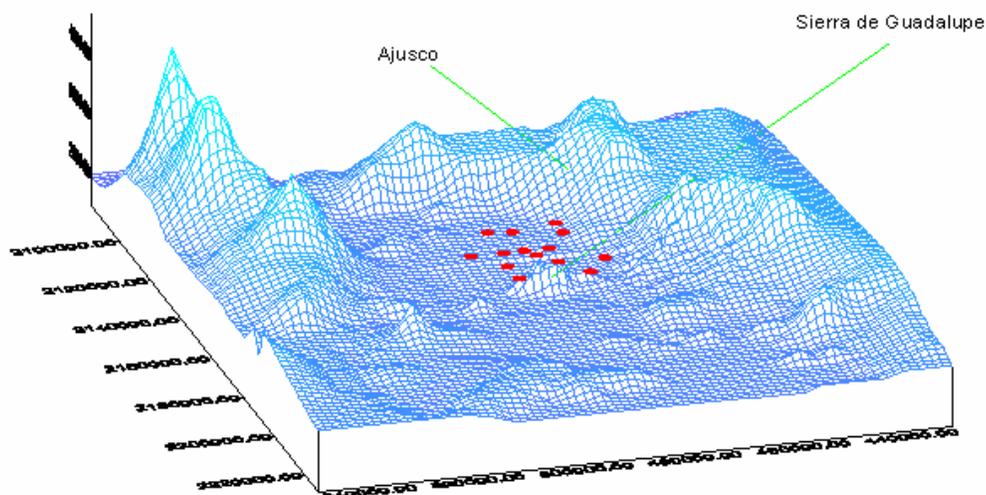


Figura 3.1 Localización de estaciones de medición.

3.4. Manejo estadístico de datos

En la tabla 3.2. se muestra el número de mediciones de ozono consideradas en este estudio y su correspondiente porcentaje referido al total de mediciones registradas en cada una de las diez estaciones

Tabla 3.2. Número y porcentaje de datos recabados en el período 1994-2004 en la ZMCM

ESTACIÓN		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
TAC	No.	8313	8417	8464	7914	8635	8759	8729	8467	8693	8401	8524
	%	95	96	96	90	99	100	99	97	99	96	97
EAC	No.	8382	8334	7873	8088	8630	7908	7095	8170	8427	8432	8548
	%	96	95	90	92	99	90	81	93	96	96	97
SAG	No.	8277	8261	8513	8350	8634	8756	8683	8400	7473	8429	8470
	%	94	94	97	95	99	100	99	96	85	96	96
TLA	No.	8106	8492	8497	8482	8495	8753	8062	8560	8475	7937	8244
	%	93	97	97	97	97	100	92	98	97	91	94
XAL	No.	8204	8600	8476	8696	8638	8756	8580	8376	8422	8298	8504
	%	94	98	96	99	99	100	98	96	96	95	97
MER	No.	8198	8335	8410	8489	8707	8760	8423	8610	8450	8217	8505
	%	94	95	96	97	99	100	96	98	96	94	97
PED	No.	8348	8627	8671	8367	8716	8760	8681	8499	8532	8605	8654
	%	95	98	99	96	99	100	99	97	97	98	99
CES	No.	8086	8385	8487	8072	8718	8760	8702	8369	8208	8626	8543
	%	92	96	97	92	100	100	99	96	94	98	97
PLA	No.	8354	8505	8693	8483	8684	8760	8408	8511	8500	8602	8628
	%	95	97	99	97	99	100	96	97	97	98	98
HAN	No.	8057	8442	8474	8349	8641	8760	8269	8465	7899	8125	8662
	%	92	96	96	95	99	100	94	97	90	93	99

Para obtener los resultados de los análisis de tendencias de ozono, con relación a las variables meteorológicas, no se tomaron en cuenta aquellos registros cuyos valores de ozono estaban registrados como cero entre las 12 a las 19 h; estos valores y los no

registrados se reemplazaron con el valor de la mediana a la hora del día para el registro faltante y cuyos porcentajes se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Porcentaje de datos faltantes para ozono. Período 1994-2004. 8 a 20 h

ESTACIÓN	%
TAC	1.2
EAC	4.4
SAG	2.7
TLA	3.0
XAL	2.1
MER	1.8
PED	1.2
CES	1.8
PLA	1.6
HAN	2.6

Los parámetros de velocidad y dirección de viento se consideraron como parejas de datos; así, en el caso de presentarse valores de velocidad del viento iguales a cero asociados a algún valor de la dirección del viento, se eliminaron los dos registros, debido a la incoherencia de tener valores de dirección del viento cuando no hay viento.

De acuerdo a lo informado por la Secretaría del Medio Ambiente del D.F., hasta el 30 de marzo de 1995, la velocidad del viento se registraba en millas terrestres y a partir del 1 de abril de 1995 se registra en metros por segundo, por lo cual se utilizó la equivalencia de *1 milla terrestre = 1,609 metros* (1 milla/hr = 0.4469 m/s) para convertir los registros anteriores al 1 de abril de 1995.

Se utilizaron los registros de los parámetros desde las 8 hasta las 20 h, siguiendo lo planteado por Klaus y Jáuregui, en el sentido de que en ese intervalo, se presentan los niveles de interés de contaminación por ozono (Klaus y Jáuregui, 2001).

Para estimar, mediante los modelos, la influencia de los parámetros meteorológicos, en el año y en la hora del día correspondiente, fue necesario, como se explica en la sección 3.2.2., reemplazar las variables numéricas relacionadas con el tiempo, por variables de tipo alfabético.

En cuanto a la capa de mezcla, primero se hicieron comparaciones entre los registros de este parámetro con los de ozono, medidos en la estación de monitoreo Hangares hasta el 23 de marzo de 1998. A partir de esta fecha los radiosondeos, se realizaron en el Servicio Meteorológico Nacional, ubicado en la Av. Observatorio en Tacubaya por esto, ahora los registros de capa de mezcla se compararon con los datos de ozono obtenidos en la estación Plateros, por ser la más cercana al sitio donde se ubica el Meteorológico Nacional.

En cuanto a la información correspondiente a la velocidad y dirección de viento, humedad relativa y temperatura, se trabajó con la obtenida en aquellas estaciones de medición que contaban con más del 75% de la información.

En lo que se refiere al análisis de la evolución de las concentraciones de ozono en la atmósfera de la ZMCM, éste se realizó, sometiendo a un proceso de regresión lineal simple, el promedio anual de las concentraciones máximas diarias de ozono registradas durante 11 años, en cada estación de monitoreo.

Posteriormente, para conocer si las variables meteorológicas tenían alguna relación con las tendencias observadas en cada estación de monitoreo, según lo explicado en el párrafo anterior, la información correspondiente a la dirección y velocidad de viento, humedad relativa y la temperatura, fue sometida a un procesos de regresión lineal múltiple. Cabe señalar, que lo relativo a la información de la capa de mezcla en el comportamiento del ozono, también se analizó mediante un proceso de regresión lineal múltiple, pero en este caso por separado.

Se evaluó el ajuste de cada modelo, se realizó tomando en cuenta tanto del error estándar como el coeficiente de correlación múltiple, y el valor de la F de Fisher a un nivel de confianza α del 95%.

De acuerdo con los resultados de un análisis previo (inédito) y lo reportado por Ott (Ott, 1995), la distribución del ozono en la atmósfera es del tipo lognormal; por lo que en este trabajo el análisis de la distribución de ozono se realizó usando el logaritmo natural de los valores reportados en las estaciones de monitoreo, como se ilustra en la ecuación 3.7:

Como ya se mencionó en la sección 3.2.1., las suposiciones para el error ε , son que éste tenga una distribución normal con promedio cero y varianza constante. Para lograr las dos últimas condiciones, se ajustaron los residuos de la ecuación 3.7. y se homogeneizaron las variancias para cada información procedente de cada estación de medición.

Se trabajó con los residuales porque éstos arrastran un menor error acumulado.

Una vez logrado lo anterior, se estimó la magnitud de los coeficientes β_i del modelo.

$$\ln O_3 = \beta_0 + \beta_1 rh + \beta_2 tmp + \beta_3 wsp + \prod_{i=4}^7 \prod_{j=1}^4 \beta_i CLASEwdr_j + \prod_{i=8}^{18} \prod_{j=1}^{11} \beta_i Claveanio_j + \prod_{i=19}^{31} \prod_{j=1}^{13} \beta_i Clavehora_j + \prod_{i=32}^{42} \prod_{j=1}^{11} \beta_i Claveanio_j * tmp + \prod_{i=43}^{53} \prod_{j=1}^{11} \beta_i Claveanio_j * rh + \prod_{i=54}^{64} \prod_{j=1}^{11} \beta_i Claveanio_j * wsp + \prod_{i=65}^{108} \prod_{j=1}^{11} \sum_{k=1}^4 \beta_i Claveanio_j * CLASEwdr_k \quad (3.8)$$

donde:

- β_0 : Ordenada al origen del modelo
- rh: Humedad relativa horaria en la estación de estudio
- tmp: Temperatura horaria en la estación de estudio
- wsp: Velocidad del viento horaria en la estación de estudio
- CLASEwdr_j : Dirección del viento horaria en la estación de estudio para j=1 hasta j = 4
- Claveanio_j: Año analizado para j=1 hasta j =11 (del año 1994 a 2004)
- Clavehora_j: Hora analizada para j=1 hasta j=13 (de las 8 a las 20 h)

Como puede notarse en la ecuación anterior, a partir del coeficiente β_{32} , se estiman las interacciones del tiempo, en años, sobre las variables meteorológicas.

Para cada estación de medición se estimaron 31 parámetros y 73 interacciones entre ellos, usando el programa estadístico S-Plus, obteniéndose 109 factores. Sólo se consideraron aquellos coeficientes cuyo valor de la t de Student, estuvieron dentro del nivel de 95%.

Cabe aclarar que una de las limitaciones que tiene el paquete mencionado, es que no permite calcular de manera directa la siguiente información:

- Dirección de viento Clasificación 4
- Año 2004
- Hora 20
- Interacciones en el año 2004 de:
 - a) Humedad relativa
 - b) Temperatura
 - c) Velocidad del viento
 - d) Direcciones de viento clasificaciones 1, 2, 3.
- Dirección del viento Clasificación 4 para todos los años

Por lo anterior, fue necesario calcular dicha información por separado, resolviendo para cada caso, la siguiente ecuación:

$$Coeficiente_{n+1} = -1 * \sum_{n=1}^n coeficiente_n \tag{3.9}$$

Por otra parte, para estimar si los parámetros estaban dentro del nivel de significancia, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$1. \quad VarCoeficiente_{n+1} = \sum_{i=1}^n Var(Coeficiente_n) + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^m Cov(coeficiente(i, j)) \tag{3.10}$$

$$2. \quad Cov(coeficiente(i, j)) = Corr(\hat{\beta}_i, \hat{\beta}_j) \sigma_{\beta_i} \sigma_{\beta_j} \tag{3.11}$$

$$3. \quad Desv.estándarCoeficiente_{n+1} = \sqrt{VarCoeficiente_{n+1}} \tag{3.12}$$

$$4. \quad Valort = Coeficiente_{n+1} / Desv.estándarCoeficiente_{n+1} \tag{3.13}$$

donde:

$Corr(\hat{\beta}_i, \hat{\beta}_j)$ = correlación entre los factores $\hat{\beta}_i, \hat{\beta}_j$.

σ_{β_i} = Error estándar parámetro i

σ_{β_j} = Error estándar parámetro j

$VarCoeficiente_{n+1}$ = Variancia de los coeficientes por estimar.

$VarCoeficiente_n$ = Variancia de cada coeficiente conocido.

Valort = Valor de la t para determinar de tablas si el valor se encuentra en la región de aceptación dentro del 95%.

Como no se puede calcular la desviación estándar de la interacción de la dirección del viento 4 en el año 2004 puesto que en la matriz de correlaciones no se encuentran estos parámetros (pues son calculados por el método anterior), por lo que para resolver este problema, se utilizó la fórmula siguiente:

$$\sigma_{\text{Dirección de viento 4 en 2004}} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\sigma_{\text{Dirección_de_viento}_i})^2} \quad (3.14)$$

El cálculo de la desviación estándar con la fórmula anterior, sobreestima su magnitud.

Con el fin de que las direcciones de viento tuvieran un peso estadísticamente similar, para cada modelo, las direcciones del viento se agruparon en 4 intervalos; esto con base en los histogramas que mostraron frecuencias similares de ocurrencia, con una variación máxima del 5%.

Finalmente, de acuerdo con lo anterior, se realizaron las corridas correspondientes, cuyos resultados y su análisis se presentan en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

En la tabla 4.1. se muestra el número y porcentaje de días en los que se rebasó la norma horaria de calidad del aire (0.11 ppm como promedio horario, para no ser rebasado más de una vez al año. Modificación a la NOM-020-SSA-1993. Diario Oficial de la Federación del 30 de octubre de 2002).

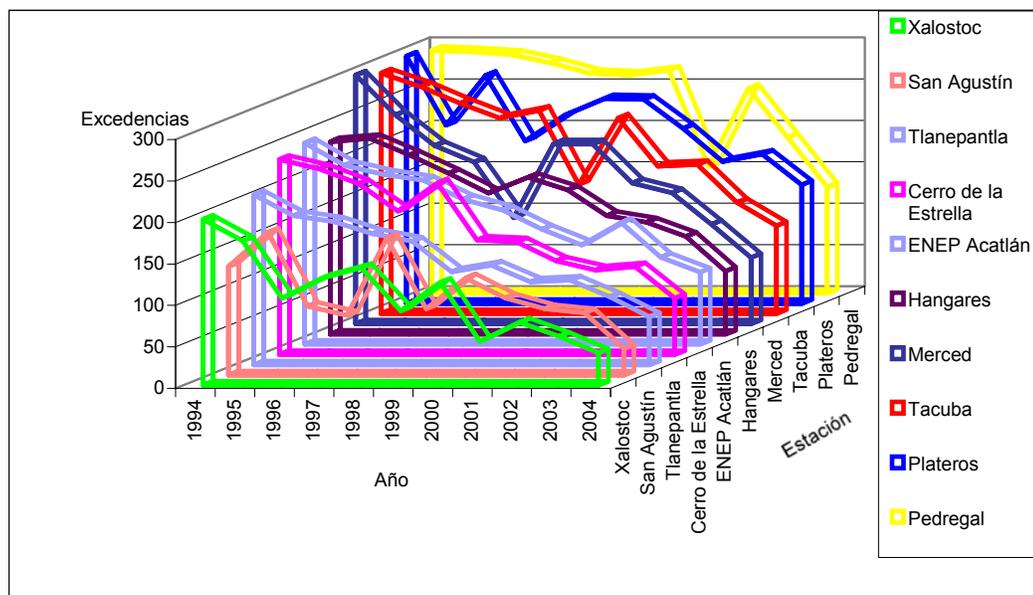
Tabla 4.1. Excedencias anuales con referencia a la norma de 0.11 ppm para ozono en la ZMCM; expresadas en días en los que se rebasa la norma y su correspondiente porcentaje

Estación/Año	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Tacuba	290	274	254	236	245	156	236	178	180	134	106
% excedencias	79.5	75.1	69.4	64.7	67.1	42.7	64.5	48.8	49.3	36.7	29.0
ENEP Acatlán	243	216	205	198	175	162	139	120	147	105	87
% excedencias	66.6	59.2	56.0	54.2	47.9	44.4	38.0	32.9	40.3	28.8	23.8
San Agustín	131	172	83	72	165	80	117	93	80	75	32
% excedencias	35.9	47.1	22.7	19.7	45.2	21.9	32.0	25.5	21.9	20.5	8.7
Tlanepantla	205	180	173	158	149	112	120	100	102	82	58
% excedencias	56.2	49.3	47.3	43.3	40.8	30.7	32.8	27.4	27.9	22.5	15.8
Xalostoc	200	174	105	129	142	90	124	53	76	59	39
% excedencias	54.8	47.7	28.7	35.3	38.9	24.7	33.9	14.5	20.8	16.2	10.7
Merced	300	252	215	195	128	217	217	170	158	120	80
% excedencias	82.2	69.0	58.7	53.4	35.1	59.5	59.3	46.6	43.3	32.9	21.9
Pedregal	293	291	288	278	265	263	269	153	247	188	128
% excedencias	80.3	79.7	78.7	76.2	72.6	72.1	73.5	41.9	67.7	51.5	35.0
Cerro de la Estrella	235	224	206	173	207	138	136	113	102	106	68
% excedencias	64.4	61.4	56.3	47.4	56.7	37.8	37.2	31.0	27.9	29.0	18.6
Plateros	298	215	275	196	227	247	246	211	171	180	143
% excedencias	81.6	58.9	75.1	53.7	62.2	67.7	67.2	57.8	46.8	49.3	39.1
Hangares	232	236	216	194	170	189	174	143	135	118	76
% excedencias	63.6	64.7	59.0	53.2	46.6	51.8	47.5	39.2	37.0	32.3	20.8

Horas de excedencia anuales

Estación/ Año	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Tacuba	1052	1174	954	875	949	535	829	580	940	389	246
ENEP Acatlán	937	801	702	739	609	564	430	334	607	283	235
San Agustín	280	451	180	176	515	195	286	230	448	167	71
Tlanepantla	711	645	587	521	464	318	343	276	397	226	147
Xalostoc	504	545	228	320	372	206	338	111	533	124	75
Merced	1103	935	589	609	289	671	628	430	1203	278	167
Pedregal	1153	1250	1139	1030	1012	1076	1026	474	1025	537	322
Cerro de la Estrella	709	712	553	463	597	289	321	230	750	194	133
Plateros	1238	830	1060	670	782	954	837	677	836	509	357
Hangares	653	716	609	502	485	450	442	305	280	232	137

En las tablas anteriores, puede notarse que para el período de registros considerado, en ningún caso se cumple la norma correspondiente. También, se puede observar que las zonas en las que se presenta con mayor frecuencia las excedencias, en orden decreciente son: Pedregal, Plateros, Tacuba, Merced, Hangares, ENEP Acatlán, Cerro de la Estrella, Tlanepantla, Xalostoc y San Agustín. Lo anterior puede observarse con mayor claridad en la gráfica 4.1., en la que dicha información también se ordena en orden decreciente.



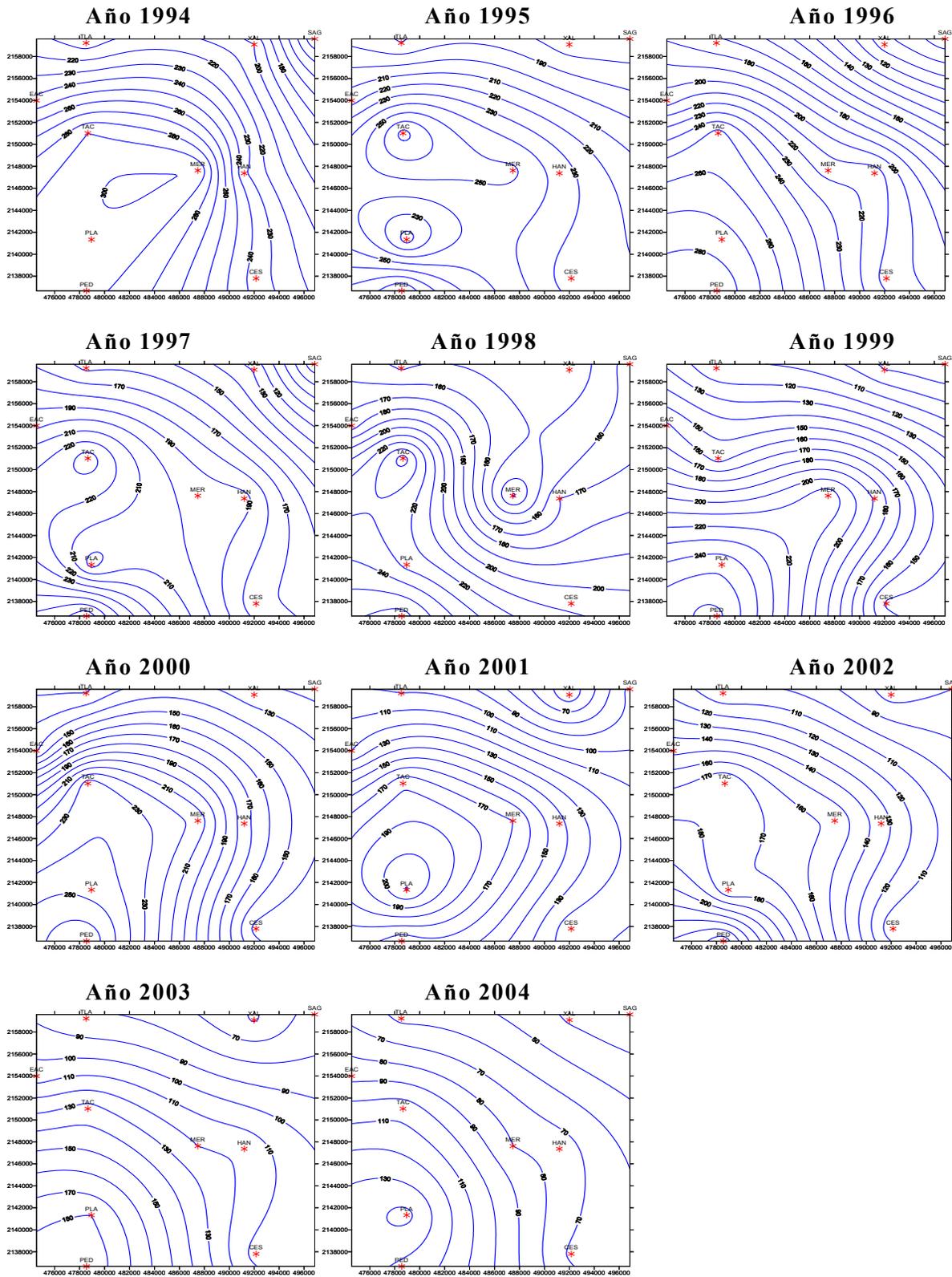
Gráfica 4.1. Días registrados por la RAMA de excedencias de ozono.

Especialmente, las estaciones ubicadas en la zona noreste, fuera del D.F., (SAG, XAL) tienen las menores excedencias, seguidas de la zona noroeste (TLA, EAC), en los límites del D.F.

Por otra parte, en la zona sureste (CES), se van incrementando las excedencias, pasando por el oriente (HAN), hasta llegar a la zona centro (MER), noroeste (TAC) y de allí a la parte suroeste de la ciudad (PLA, PED).

Con el propósito de visualizar de una forma más clara lo anterior, con la información de la tabla 4.1., se construyó la figura 4.1., en la que se muestra para cada año de registro, las curvas de excedencias correspondientes.

Figura 4.1. Excedencias anuales con referencia al valor de 0.11 ppm en la ZMCM



4.1. Concentraciones máximas anuales

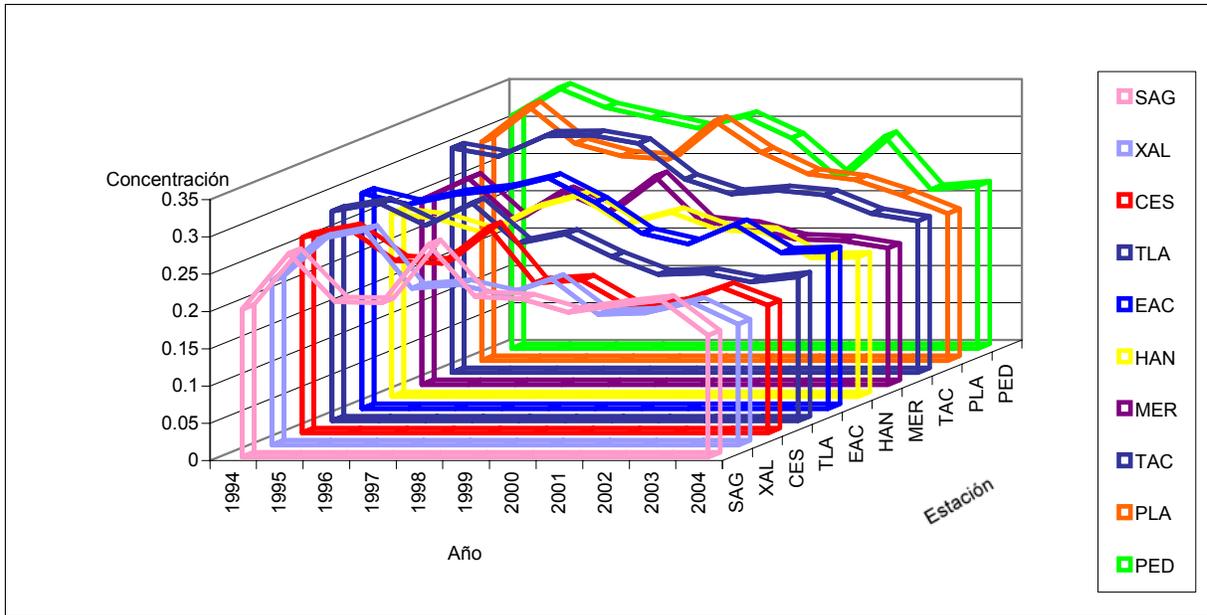
Analizando también los datos que se tienen de las concentraciones máximas que se registraron en cada año, durante el período de estudio, tabla 4.2. y figura 4.2, se observa que para ningún año se cumple la norma de calidad del aire mencionada. La mayor concentración se presentó en Pedregal en 1995 (0.349) y la menor en Xalostoc en 2004 (0.162).

Tabla 4.2. Concentraciones máximas absolutas anuales para ozono en la ZMCM

AÑO	TAC	EAC	SAG	TLA	XAL	MER	PED	CES	PLA	HAN
1994	0.301	0.289	0.198	0.281	0.22	0.248	0.312	0.262	0.293	0.246
1995	0.29	0.274	0.273	0.292	0.276	0.277	0.349	0.274	0.341	0.238
1996	0.317	0.287	0.208	0.262	0.288	0.221	0.323	0.231	0.291	0.219
1997	0.318	0.294	0.207	0.292	0.21	0.259	0.309	0.227	0.274	0.252
1998	0.307	0.309	0.285	0.238	0.215	0.232	0.295	0.276	0.27	0.269
1999	0.259	0.277	0.215	0.25	0.201	0.279	0.311	0.201	0.321	0.231
2000	0.239	0.235	0.212	0.22	0.222	0.218	0.282	0.205	0.279	0.247
2001	0.244	0.221	0.194	0.196	0.175	0.212	0.229	0.169	0.25	0.224
2002	0.238	0.247	0.203	0.198	0.177	0.195	0.284	0.173	0.242	0.22
2003	0.213	0.209	0.21	0.186	0.191	0.193	0.213	0.195	0.222	0.186
2004	0.203	0.211	0.163	0.193	0.162	0.183	0.218	0.171	0.197	0.187

Nota: Valores en ppm

En la tabla anterior puede notarse que, hasta el año de 1998, las mayores concentraciones puntuales se presentaron, en orden decreciente, en las estaciones Pedregal, Tacuba, Plateros, ENEP Acatlán, Tlalnepantla, Merced, Cerro de la Estrella, Hangares, Xalostoc y San Agustín; y que a partir de ese año, en algunas estaciones se invirtió el comportamiento; esto es, las zonas donde se registran las mayores concentraciones son, en orden decreciente: Pedregal, Plateros, Tacuba, ENEP Acatlán, Hangares, Tlalnepantla, Merced, Cerro de la Estrella, San Agustín y Xalostoc. Este comportamiento también se ilustra en la gráfica 4.2.

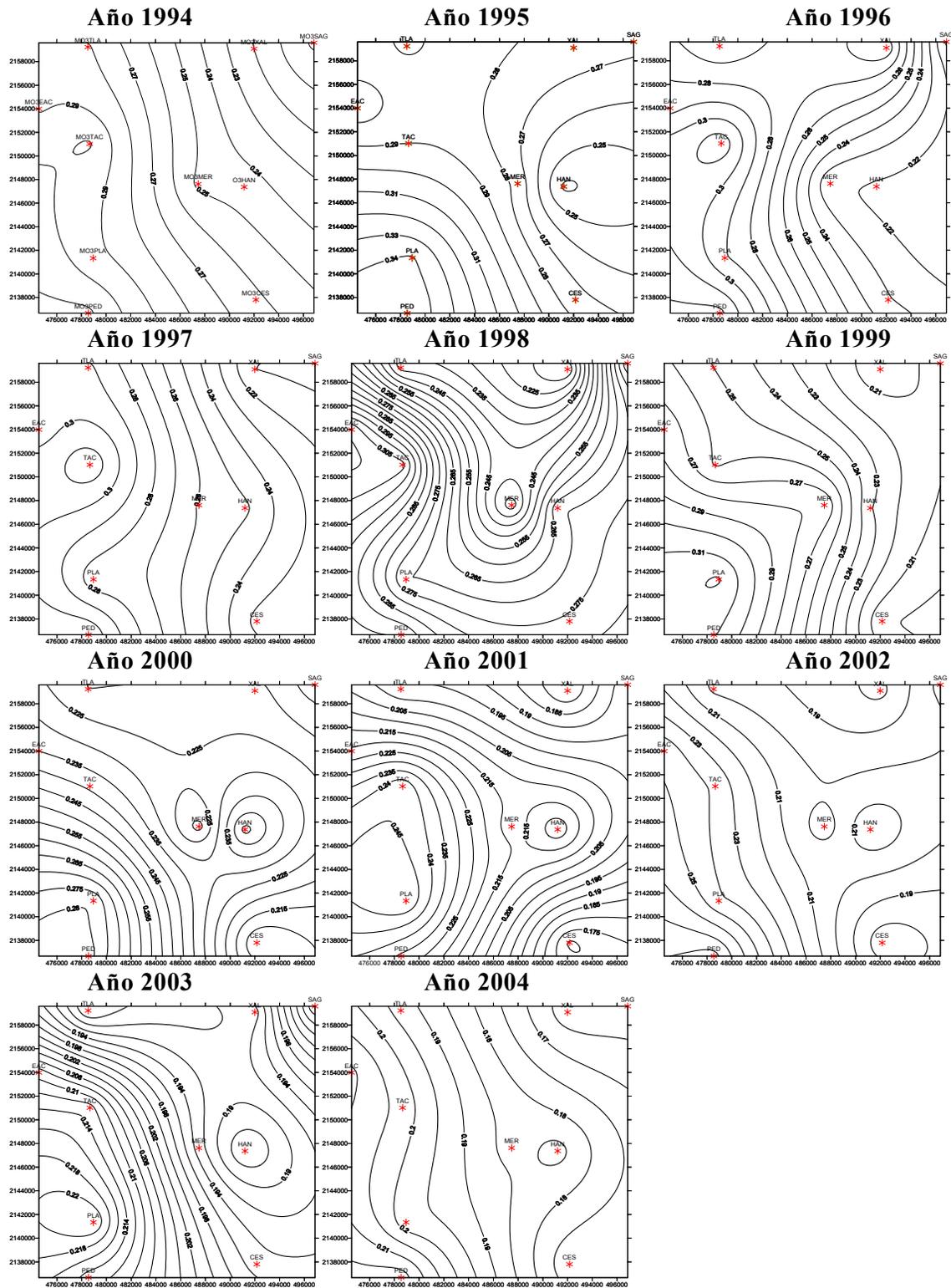


Gráfica 4.2. Concentraciones máximas anuales

Por otra parte, en la figura 4.2., en la que se presentan las isoconcentraciones de ozono, se observa que éstas tienden a incrementarse, en la mayoría de los casos, en las direcciones este-oeste y norte-sur, aunque, como puede notarse en la figura, en el año de 1994, las concentraciones de ozono, tienden a incrementarse en la dirección noreste-suroeste.

Asimismo, puede observarse que en el año de 1998 el flujo de las concentraciones máximas de ozono, provino del noreste (Xalostoc) y del sureste (Cerro de la Estrella), convergiendo en el Centro de la Ciudad (Merced) para luego dirigirse hacia el suroeste de la misma.

Figura 4.2. Concentraciones máximas anuales para ozono en la ZMCM



4.2. Concentraciones promedio máximas anuales

Además de analizar los datos de las concentraciones máximas que se midieron en cada año, con el propósito de tener un panorama del comportamiento anual de las concentraciones de ozono, se analizó el promedio de las concentraciones máximas diarias, mostradas en la tabla 4.3.

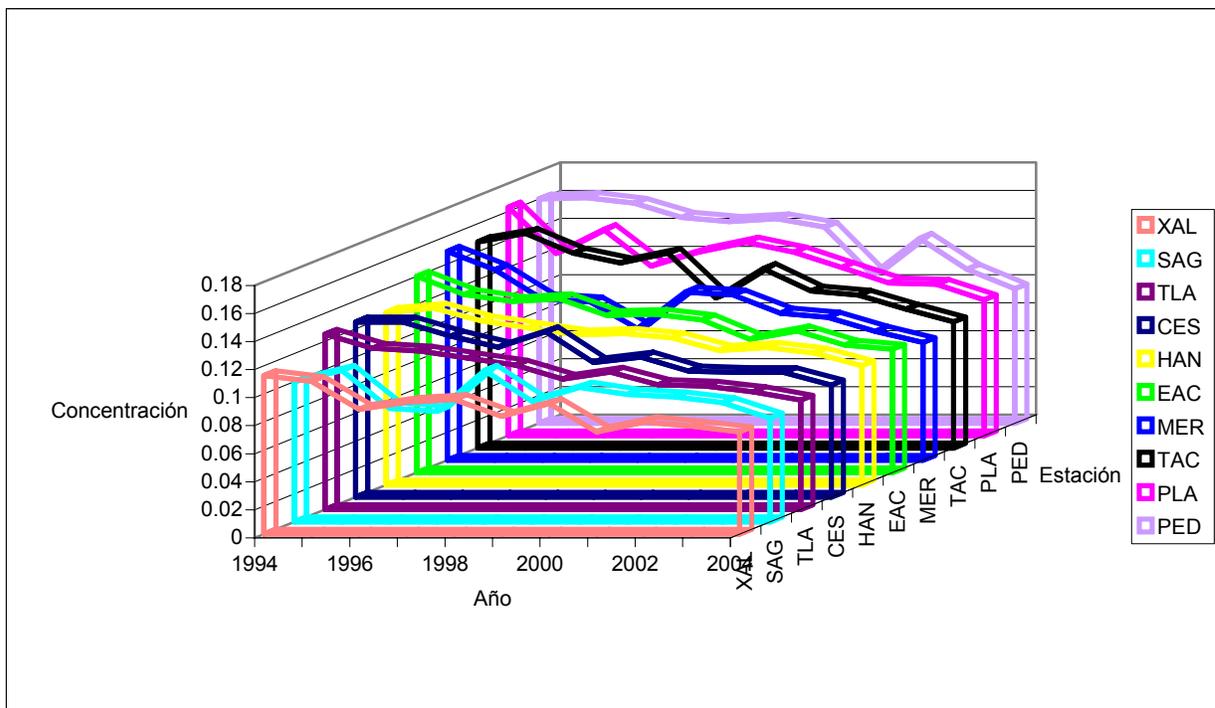
Tabla 4.3. Concentraciones máximas promedio anuales para ozono en la ZMCM*

AÑO	TAC	EAC	SAG	TLA	XAL	MER	PED	CES	PLA	HAN
1994	0.147	0.140	0.100	0.125	0.113	0.149	0.160	0.125	0.163	0.123
1995	0.153	0.127	0.108	0.115	0.109	0.136	0.161	0.125	0.130	0.126
1996	0.139	0.122	0.081	0.113	0.089	0.115	0.157	0.115	0.147	0.117
1997	0.132	0.124	0.079	0.108	0.094	0.113	0.147	0.107	0.121	0.112
1998	0.139	0.112	0.108	0.103	0.096	0.094	0.144	0.118	0.131	0.107
1999	0.107	0.113	0.086	0.093	0.084	0.120	0.146	0.096	0.138	0.108
2000	0.128	0.109	0.096	0.098	0.093	0.118	0.140	0.100	0.131	0.105
2001	0.112	0.095	0.091	0.089	0.073	0.105	0.106	0.090	0.120	0.096
2002	0.109	0.101	0.089	0.088	0.080	0.102	0.132	0.089	0.109	0.098
2003	0.099	0.091	0.085	0.084	0.077	0.092	0.110	0.089	0.108	0.094
2004	0.090	0.088	0.074	0.078	0.073	0.084	0.096	0.080	0.097	0.085

Nota: Valores en ppm

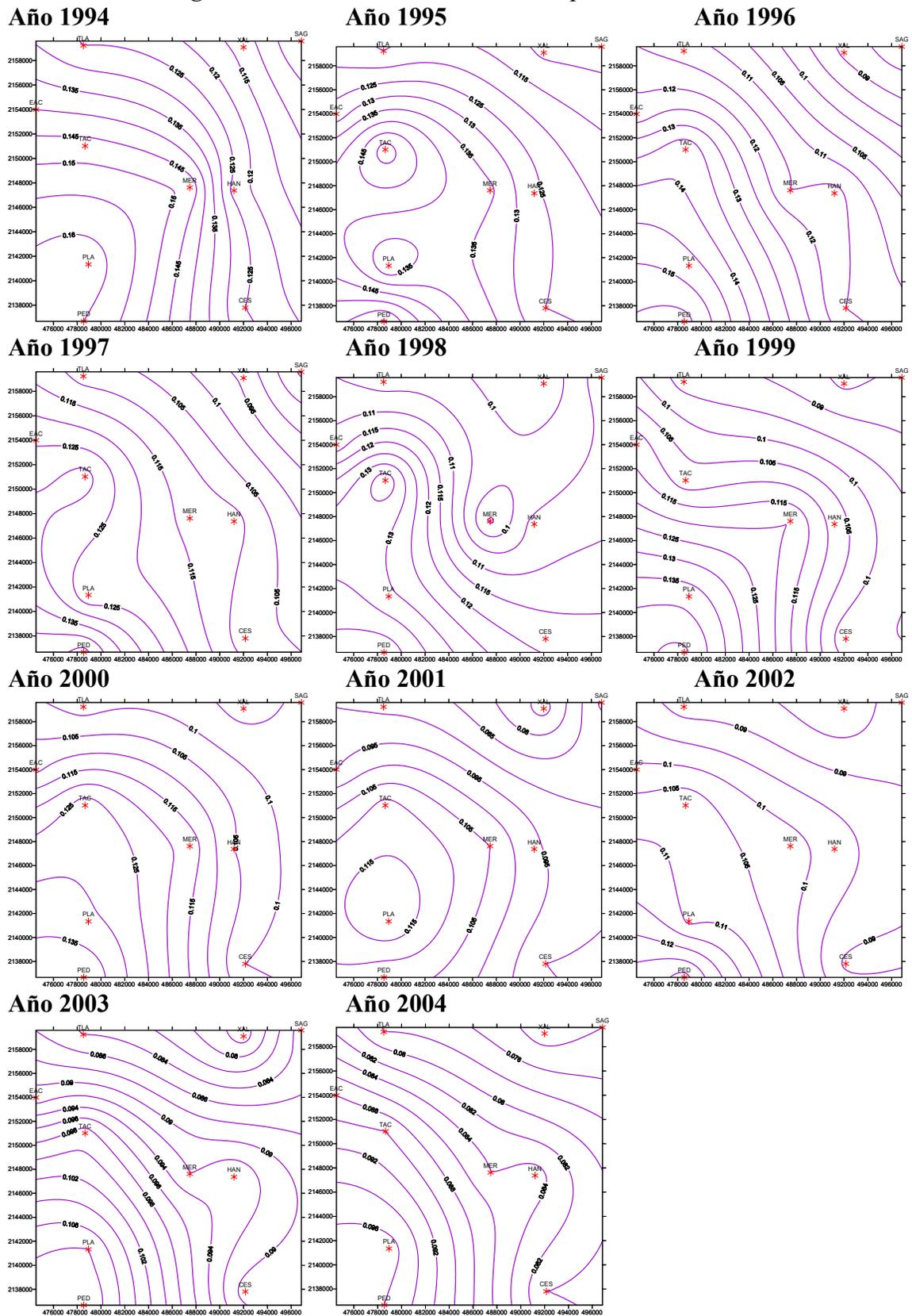
De este análisis se obtiene que, al igual que para las concentraciones máximas anuales, se presenta un punto de cruce en el año 1998 en algunas estaciones; por lo que las concentraciones por estación son, esta vez en orden ascendente: San Agustín. En esta estación, en 1998, hubo un incremento de 36.7%, situándose por encima de la estación Tlalnepantla y a la par de la estación Hangares; manteniéndose muy similar con esta última estación en el período de análisis; sin embargo, a partir de 1998 las concentraciones más bajas de ozono se presentaron en Xalostoc; Tlalnepantla; Cerro de la Estrella (en ésta última con un pequeño incremento de 10.3% en 1998 con respecto al año anterior); Hangares; ENEP Acatlán; Merced. En esta estación, en contraste con las demás, en 1998 la concentración de ozono se redujo hasta 0.094 ppm equivalente a un 16.8%, y luego en 1999 esta concentración se incrementó 27.7%. A partir de esta fecha las concentraciones tienden a disminuir, siendo hasta el año 2003 en que las concentraciones nuevamente alcanzan valores inferiores a 0.094 ppm; Tacuba (con un incremento de 5.3% en 1998 y una reducción del 23% en 1999 con una concentración máxima promedio de 0.107 ppm; valor que se mantiene como el menor hasta 2003); Plateros. Hasta 1998 los niveles de ozono en esta estación eran menores a los de la estación Tacuba. Finalmente, como puede observarse en la tabla anterior los niveles mayores de ozono fueron los registrados en la estación Pedregal. Cabe mencionar que en esta estación, de manera similar a lo observado en la estación Merced en 1998, se observa un decremento de 24.3% en el año 2001, año en el que llegó a ubicarse al nivel de los valores registrados en la estación Merced y por debajo de los de Plateros, e incluso de los de la estación Tacuba.

Lo anteriormente expuesto puede observarse con mayor claridad, tanto en la gráfica 4.3. como figura 4.3.



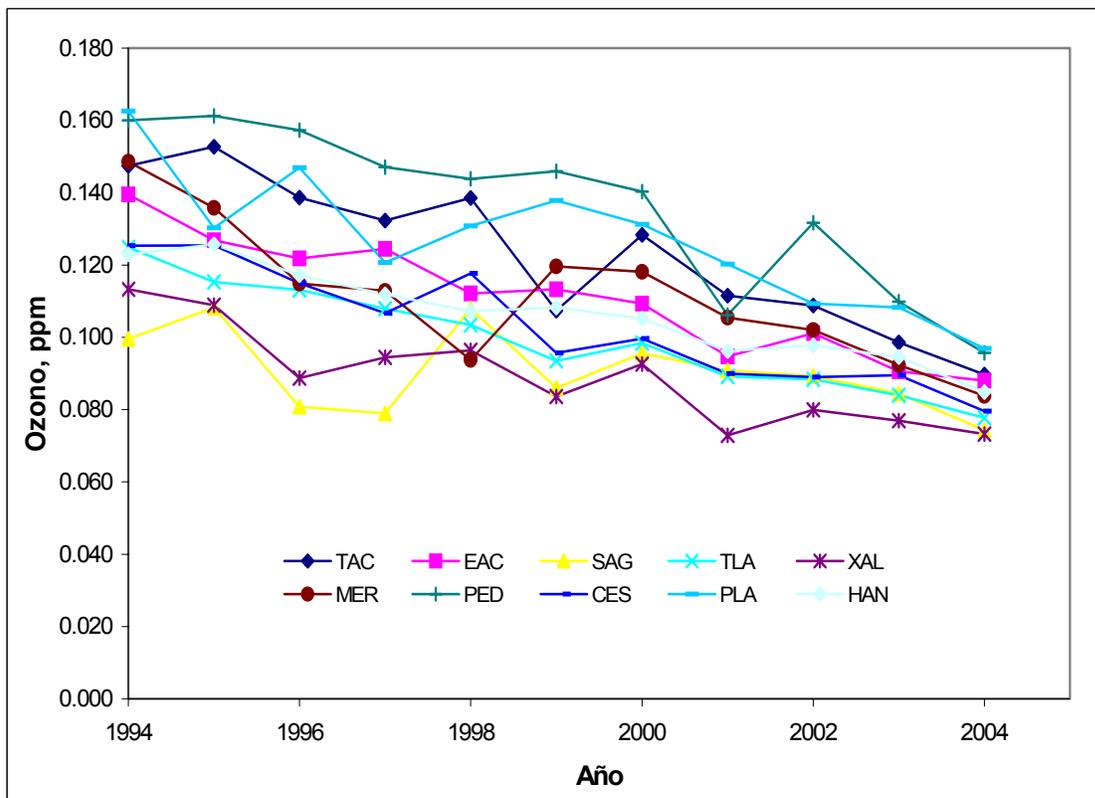
Gráfica 4.3. Concentraciones máximas promedio anuales

Figura 4.3. Conc entraciones máximas promedio anuales



4.3. Tendencias anuales

Con base en la información presentada en la tabla 4.3. se construyó la gráfica 4.3a. en la que se muestra de manera objetiva las tendencias anuales de las concentraciones de ozono; y en el anexo A se presentan las gráficas correspondientes para cada una de las estaciones analizadas.



Gráfica 4.3a. Promedio anual de las concentraciones máximas diarias de ozono para la ZMCM

En la gráfica anterior, puede notarse un comportamiento en general decreciente en todas las estaciones y que en algunos años las concentraciones de ozono estuvieron aún por debajo del valor norma, la cual establece que, en no más de una vez al año debe excederse la concentración de ozono del valor de 0.11 ppm; sin embargo, esto es aparente, ya que por tratarse de valores promedio enmascara los datos horarios en que las concentraciones de ozono estuvieron por arriba del valor norma permitido; por ejemplo, si observamos la curva correspondiente a la estación San Agustín puede notarse que en todo el período analizado, el promedio de las concentraciones de ozono son menores al valor norma, no obstante que, como puede observarse en la tabla 4.1. en dicha estación, durante el período analizado hubo excedencias al valor norma en un ámbito del orden del 9 al 47%. En relación con esto, en la gráfica anterior se observa que en el año 2001 las violaciones a la norma fueron menores con respecto a los años anteriores. Este aspecto posteriormente se pretende explicar, con base en

un modelo de regresión lineal múltiple en el que se hacen intervenir las variables meteorológicas.

Con el propósito de visualizar de manera más completa el porcentaje de excedencias y ubicación de las concentraciones de ozono en la ZMCM se construyó la figura 4.4. considerando, para este caso, todas las estaciones con que cuenta la RAMA.

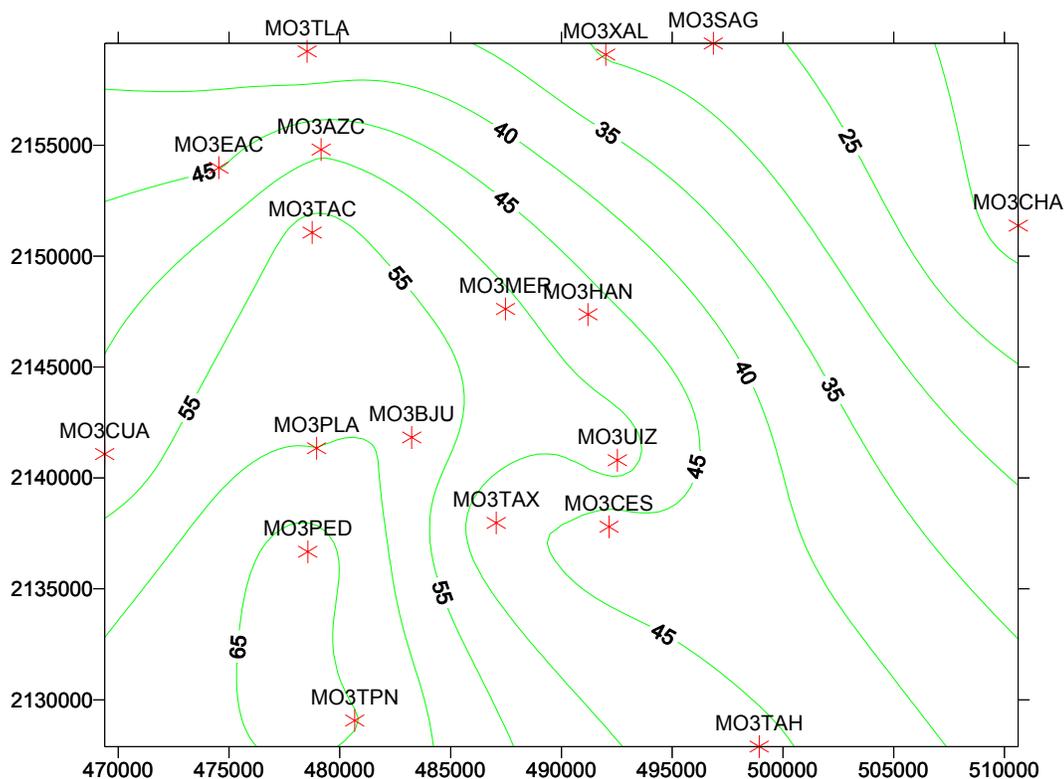


Figura 4.4. Porcentaje excedencia del valor de 0.11 ppm para ozono

Por otra parte, para obtener la tendencia global de las concentraciones de ozono en cada estación de monitoreo, la información con la que se construyó la gráfica 4.3a. se sometió a un procedimiento de regresión lineal, definiendo como variable independiente al tiempo. Las ecuaciones y sus coeficientes de correlación se muestran en la tabla 4.4. En esta tabla puede observarse que en la medida en la que transcurre el tiempo (años), las concentraciones medias anuales de ozono, en todas las estaciones tienden a disminuir (tendencia negativa), aunque en la estación San Agustín el coeficiente de correlación es bajo, debido a las fuertes variaciones interanuales.

Tabla 4.4. Tendencias para los valores máximos promedio diarios de ozono

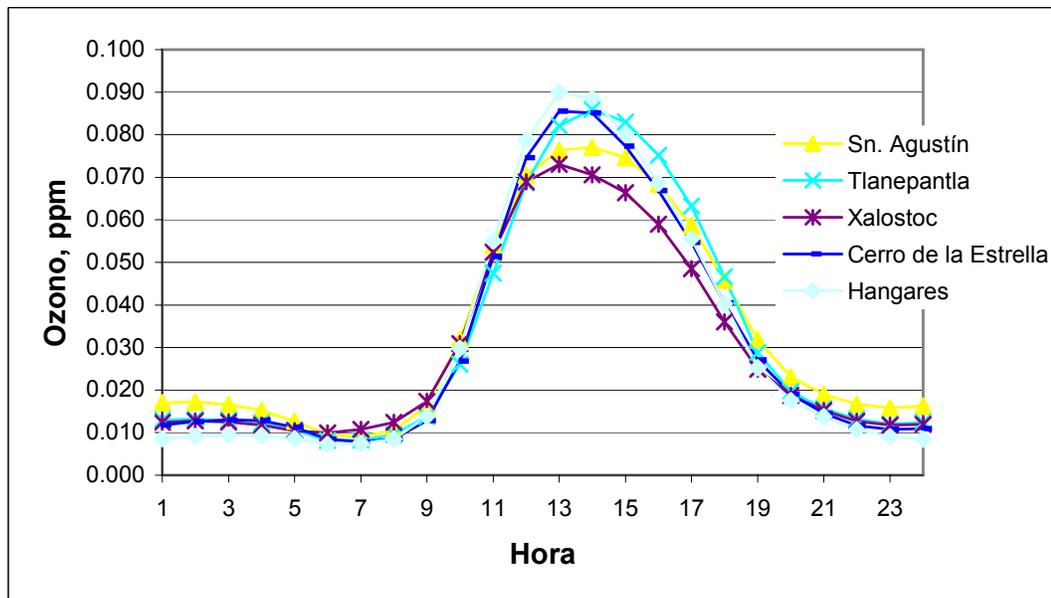
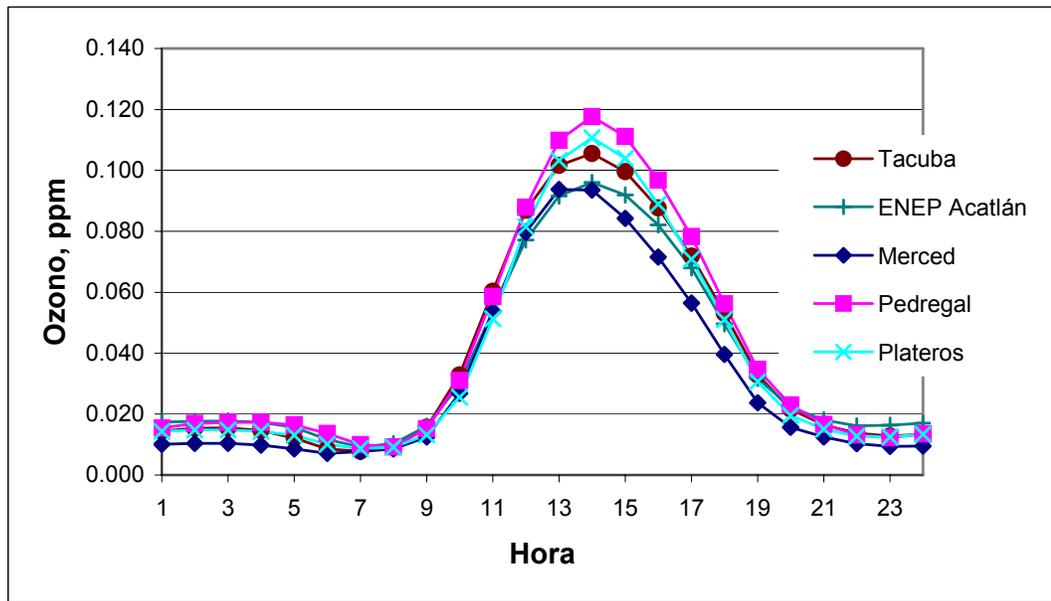
Estación	Ecuación	Coefficiente de correlación	Tendencia
Cerro de la Estrella	$y = -0.0046x + 0.1304$	0.95	negativa
Tacuba	$y = -0.0059x + 0.1583$	0.94	negativa
Merced	$y = -0.0048x + 0.1403$	0.82	negativa
ENEP Acatlán	$y = -0.0048x + 0.1398$	0.97	negativa
San Agustín	$y = -0.0017x + 0.1006$	0.49	negativa
Tlanepantla	$y = -0.0043x + 0.1257$	0.98	negativa
Xalostoc	$y = -0.0036x + 0.1111$	0.89	negativa
Pedregal	$y = -0.0063x + 0.1739$	0.92	negativa
Plateros	$y = -0.0048x + 0.1557$	0.86	negativa
Hangares	$y = -0.0037x + 0.1287$	0.98	negativa

4.4. Variaciones diarias promedio

Un aspecto que se consideró conveniente analizar fue el de conocer las variaciones diarias del ozono, con el propósito de identificar las condiciones más críticas durante el día, y con ello acotar el intervalo de análisis de este comportamiento mediante simulación. En las gráficas 4.4. y 4.5. se muestran las variaciones diarias promedio de las concentraciones de ozono para cada una de las estaciones analizadas. En dichas gráficas, puede observarse que en todas las estaciones, durante la noche, las concentraciones medias de ozono están por debajo del nivel norma; sin embargo, entre las 8 y 9 h, tales concentraciones se empiezan a incrementar llegando a su máximo entre las 13 y las 15 h en las estaciones mostradas en la gráfica 4.4. y entre las 12 y las 14 en las restantes estaciones, gráfica 4.5. Esta diferencia de la hora en la que se alcanzan los máximos, probablemente se deba al transporte de los contaminantes desde el oriente hacia el poniente (Klaus y Jáuregui, 2001). También puede notarse que estos valores promedio, solamente en las estaciones Pedregal y Plateros, están por encima del valor norma; sin embargo debe tomarse en consideración que por tratarse de valores promedio difuminan los valores puntuales que la exceden, por lo que este comportamiento en relación con lo que estipula la norma, debe tomarse con ciertas reservas.

Aún con lo expuesto anteriormente, se considera conveniente mencionar que en la estación **Pedregal**, la concentración promedio diaria máxima se alcanza **a las 14 h**, seguida de las siguientes: Plateros(14h), Tacuba(14h), ENEP Acatlán(14h) y **Merced(13h), Hangares(13h)**, Cerro de la Estrella(13h), Tlanepantla(14h), San Agustín(13h) y **Xalostoc(13h)**. Durante las horas nocturnas las mayores concentraciones se observan en la ENEP Acatlán y las más bajas en Hangares. En la mañana, hasta las 10 h, aunque las concentraciones son muy cercanas entre las señaladas con negritas, las más altas se presentan en Xalostoc en la parte norte de la Ciudad; asimismo en dicha estación, en la tarde y primeras horas de la noche, también se presentan las concentraciones más bajas en toda la Ciudad.

También puede notarse en las gráficas 4.4. y 4.5. que de las 5 a las 8 de la mañana es cuando la Ciudad se encuentra menos contaminada por ozono.



Gráficas 4.4. y 4.5. Concentraciones horarias promedio en la ZMCM

De lo expuesto anteriormente puede decirse que, en términos generales, el comportamiento del ozono en el espacio es similar, tanto en frecuencia de excedencias, como en magnitud de concentraciones de ozono para las concentraciones promedio y las excedencias a la norma; así como para las concentraciones máximas anuales puntuales.

Ahora bien, ¿cómo influyen los factores meteorológicos en dichos comportamientos? y ¿qué pasó en los años en los que se registran cambios más o menos importantes en el

comportamiento general del ozono en las estaciones, como en el año 1998 o en el 2001 en la estación Pedregal? Aunque existe la posibilidad de que, en estos años, se hayan implementado políticas ambientales, o cambiado las existentes; esto se encuentra fuera del alcance de este trabajo, por lo que no se analizarán estas medidas tomadas.

Con el fin de detectar algún patrón observable a simple vista, en el comportamiento de la velocidad y dirección del viento, la temperatura y humedad relativa, como primera aproximación y de una forma meramente cualitativa, se grafica para cada año del período de estudio los valores de los factores meteorológicos mencionados. Los mapas de distribución obtenidos se encuentran en el anexo F. En estos mapas no se detecta alguna influencia de las variables mencionadas en las variaciones del ozono, con excepción los mapas de la velocidad y dirección del viento, en los que, de manera general, tienen direcciones Norte-Sur parecido a la forma en la que se va incrementando el nivel de ozono en la ZMCM, con lo que, cualitativamente, se puede decir que existe una influencia, que dado el caso, se confirmará en los resultados de los modelos de regresión múltiples presentados a continuación.

4.5. Resultados de la aplicación del modelo de regresión

En el capítulo anterior se dio una explicación en relación con la forma del modelo de regresión utilizado para evaluar el efecto de los parámetros meteorológicos sobre la distribución de las concentraciones de ozono. Cabe aclarar que aunque de manera general, la estructura del modelo es similar para todas las situaciones, su forma es diferente en aquellos casos en los que los coeficientes de regresión, no resultaron ser estadísticamente significativos a un nivel de confianza del 95%.

En las tablas 4.5 a la 4.14 se muestran, para cada estación de medición, los modelos de regresión lineal resultantes, los cuales explican la variación del ozono en los 11 años de estudio en función de los parámetros meteorológicos. La totalidad de los coeficientes, aún aquellos que se encuentran fuera del nivel de significancia, se pueden consultar en el anexo B.

4.5.1. Estación Cerro de la Estrella

En el modelo de regresión lineal utilizado para el análisis de la información correspondiente a la estación Cerro de la Estrella, se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 87.21%,

un error estándar residual de 0.2636 con 45 934 grados de libertad y una F de 1659, cuyo valor de rechazo fue para valores menores a 88

El parámetro que por sí mismo tiene una influencia mayor y directamente proporcional al aumento, es la temperatura. La velocidad del viento ejerce una influencia mayor, pero en el sentido de disminuirlo.

Asimismo, la dirección del viento que menos contribuye al aumento de los niveles de ozono es la que se encuentra en el cuadrante 2 y la que más contribuye es la del 4.

Las direcciones de viento 1 a 4, se refieren a los cuadrantes establecidos en el esquema que se encuentra en la parte superior derecha en cada modelo, con dirección de viento 1 empezando del norte y siguiendo el sentido de las manecillas del reloj.

Se observa que el parámetro que registra la mayor influencia en el tiempo, es la temperatura, seguida por la humedad relativa, la velocidad del viento y finalmente, la dirección del viento.

Para el análisis de este último parámetro, es necesario mencionar que se debe realizar de un modo marginal y selectivo, puesto que los comportamientos en el ozono no son uniformes en el tiempo, aún con las mismas direcciones de viento.

Es interesante hacer notar que, para todas las estaciones, después de las 11 h y hasta las 19 h, se ejerce una influencia de aportación al ozono, cada vez menor. Esto puede deberse, en parte, a las actividades antropogénicas, que generan los precursores de ozono

Tabla 4.5. Modelo de regresión: estación Cerro de la Estrella

$\ln O_3 =$



Coefficiente	Parámetro CES	Coeffic. (cont)	Parámetro CES	Coeff. (cont)	Parámetro CES
-4.166	Ordenada al origen	-0.973	Hora 19	0.079	Dirección de viento 1. Año 1994
-0.009	Humedad relativa.	-0.720	Hora 20	0.086	Dirección de viento 2. Año 1994
0.066	Temperatura.	0.003	Humedad relativa. Año 1994	-0.131	Dirección de viento 3. Año 1994
-0.162	Velocidad de viento.	0.002	Humedad relativa. Año 1995	-0.065	Dirección de viento 1. Año 1995
-0.035	Dirección de viento 1	-0.001	Humedad relativa. Año 1996	0.086	Dirección de viento 2. Año 1995
-0.103	Dirección de viento 2	-0.012	Humedad relativa. Año 1997	-0.050	Dirección de viento 1. Año 1996
0.063	Dirección de viento 3	-0.002	Humedad relativa. Año 1998	0.032	Dirección de viento 2. Año 1996
0.074	Dirección de viento 4	0.006	Humedad relativa. Año 1999	-0.057	Dirección de viento 1. Año 1997
-0.436	Año 1994	0.006	Humedad relativa. Año 2000	0.057	Dirección de viento 3. Año 1997
-0.530	Año 1995	-0.003	Humedad relativa. Año 2001	-0.032	Dirección de viento 3. Año 1998
-0.367	Año 1996	-0.002	Humedad relativa. Año 2002	0.057	Dirección de viento 4. Año 1998
0.319	Año 1997	0.004	Humedad relativa. Año 2003	0.064	Dirección de viento 1. Año 1999
-0.633	Año 1998	0.013	Temperatura. Año 1994	-0.068	Dirección de viento 2. Año 1999
0.974	Año 1999	0.009	Temperatura. Año 1995	0.046	Dirección de viento 1. Año 2000
0.753	Año 2000	0.016	Temperatura. Año 1996	-0.055	Dirección de viento 2. Año 2000
0.748	Año 2001	0.007	Temperatura. Año 1997	0.096	Dirección de viento 3. Año 2000
0.142	Año 2002	0.028	Temperatura. Año 1998	0.037	Dirección de viento 1. Año 2001
-0.838	Año 2003	-0.038	Temperatura. Año 1999	-0.095	Dirección de viento 2. Año 2001
-0.175	Hora 8	-0.029	Temperatura. Año 2000	0.076	Dirección de viento 3. Año 2001
0.339	Hora 9	-0.025	Temperatura. Año 2001	-0.038	Dirección de viento 3. Año 2002
0.575	Hora 10	-0.005	Temperatura. Año 2002	0.051	Dirección de viento 4. Año 2002
0.596	Hora 11	0.032	Temperatura. Año 2003	-0.054	Dirección de viento 1. Año 2003
0.515	Hora 12	0.051	Velocidad de viento. Año 1995	0.049	Dirección de viento 3. Año 2003
0.402	Hora 13	0.027	Velocidad de viento. Año 1997		
0.282	Hora 14	0.037	Velocidad de viento. Año 1998		
0.152	Hora 15	-0.023	Velocidad de viento. Año 1999		
-0.036	Hora 16	-0.031	Velocidad de viento. Año 2000		
-0.332	Hora 17	-0.031	Velocidad de viento. Año 2001		
-0.626	Hora 18	-0.034	Velocidad de viento. Año 2003		

Nota: Los valores de humedad relativa se deben ingresar en porcentaje, la temperatura en °C y la velocidad del viento en m/s.

También se observa que, después del año 1998, el patrón de los agentes meteorológicos se invierte.

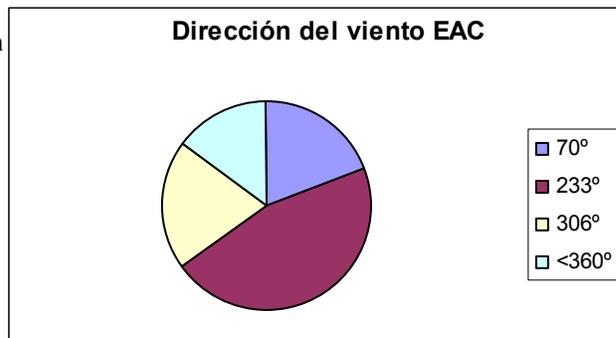
Conviene aclarar que, teniendo establecida la hora del día y los datos de las variables meteorológicas registradas, sólo se toman en cuenta los coeficientes en los que estén presentes estas condiciones, para obtener el valor del ozono.

4.5.2. Estación ENEP Acatlán

La magnitud de los parámetros del modelo de regresión para esta estación, fueron: coeficiente de correlación múltiple de 85.91%, error estándar residual de 0.2408 con 44 184 grados de libertad y una F de 1414. El valor de rechazo de F fue para valores menores a 88.

Tabla 4.6. Modelo de regresión

$\ln O_3 =$



Coefficiente	Parámetro EAC	Coeffic. (cont)	Parámetro EAC	Coeffic. (cont)	Parámetro EAC
-3.833	Ordenada al origen	0.002	Humedad relativa Año 1996	0.034	Dirección de viento 2. Año 1994
-0.008	Humedad relativa.	0.002	Humedad relativa. Año 1997	0.029	Dirección de viento 3. Año 1994
0.055	Temperatura	0.002	Humedad relativa. Año 1998	0.052	Dirección de viento 4. Año 1994
-0.060	Velocidad de viento.	0.001	Humedad relativa. Año 1999	-0.027	Dirección de viento 1. Año 1995
-0.020	Dirección de viento 1	0.004	Humedad relativa. Año 2000	-0.027	Dirección de viento 3. Año 1995
-0.055	Dirección de viento 3	-0.002	Humedad relativa. Año 2001	0.068	Dirección de viento 4. Año 1995
0.081	Dirección de viento 4	-0.003	Humedad relativa. Año 2002	-0.046	Dirección de viento 2. Año 1996
-0.303	Año 1994	-0.007	Humedad relativa. Año 2003	0.035	Dirección de viento 1. Año 1998
-0.335	Año 1995	0.012	Temperatura Año 1994	-0.077	Dirección de viento 2. Año 1998
-0.352	Año 1996	0.010	Temperatura Año 1995	0.055	Dirección de viento 4. Año 1998
-0.551	Año 1997	0.006	Temperatura Año 1996	0.062	Dirección de viento 2. Año 1999
-0.669	Año 1998	0.008	Temperatura Año 1997	0.042	Dirección de viento 3. Año 1999
1.276	Año 1999	0.015	Temperatura Año 1998	-0.086	Dirección de viento 4. Año 1999
0.621	Año 2000	-0.037	Temperatura Año 1999	0.109	Dirección de viento 3. Año 2000
0.493	Año 2001	-0.018	Temperatura Año 2000	-0.121	Dirección de viento 4. Año 2000
0.184	Año 2002	-0.011	Temperatura Año 2001	0.103	Dirección de viento 1. Año 2001
-0.384	Año 2004	-0.004	Temperatura Año 2003	-0.055	Dirección de viento 3. Año 2001
-0.257	Hora 8	0.015	Temperatura Año 2004	-0.073	Dirección de viento 4. Año 2001
0.222	Hora 9	0.040	Velocidad de viento. Año 1995	0.044	Dirección de viento 1. Año 2002
0.484	Hora 10	0.044	Velocidad de viento. Año 1996	-0.091	Dirección de viento 3. Año 2002
0.560	Hora 11	0.063	Velocidad de viento. Año 1997	0.055	Dirección de viento 4. Año 2002
0.526	Hora 12	0.061	Velocidad de viento. Año 1998	0.030	Dirección de viento 2. Año 2003
0.438	Hora 13	-0.100	Velocidad de viento. Año 1999		
0.335	Hora 14	-0.092	Velocidad de viento. Año 2000		
0.206	Hora 15	-0.067	Velocidad de viento. Año 2001		
-0.307	Hora 17	-0.026	Velocidad de viento. Año 2002		
-0.555	Hora 18	0.027	Velocidad de viento. Año 2003		
-0.958	Hora 19	0.041	Velocidad de viento. Año 2004		
-0.705	Hora 20	-0.116	Dirección de viento 1. Año 1994		

4.5.3. Estación Hangares

Para esta estación, la magnitud de los parámetros del modelo de regresión correspondiente se estimaron en: coeficiente de correlación múltiple de 87.14%; error estándar residual de 0.2657 con 47 125 grados de libertad y una F de 1689. El valor de rechazo de F para valores menores a 88.



Tabla 4.7. Modelo de regresión para la estación Hangares

$\ln O_3 =$

Coeficiente	Parámetro Hangares	Coefic. (cont)	Parámetro Hangares	Coefic. (cont)	Parámetro Hangares
-3.837	Ordenada al origen	-0.716	Hora 20	-0.087	Dirección de viento 4. Año 1994
-0.011	Humedad relativa.	-0.001	Humedad relativa. Año 1994	0.067	Dirección de viento 1. Año 1995
0.053	Temperatura	0.003	Humedad relativa. Año 1995	-0.065	Dirección de viento 3. Año 1995
-0.065	Velocidad de viento.	0.004	Humedad relativa. Año 1996	0.089	Dirección de viento 1. Año 1996
0.175	Dirección de viento 1	-0.005	Humedad relativa. Año 1997	-0.063	Dirección de viento 3. Año 1996
0.221	Dirección de viento 2	0.004	Humedad relativa. Año 1998	0.051	Dirección de viento 1. Año 1997
-0.183	Dirección de viento 3	0.006	Humedad relativa. Año 1999	0.033	Dirección de viento 2. Año 1997
-0.214	Dirección de viento 4	-0.003	Humedad relativa. Año 2001	-0.062	Dirección de viento 3. Año 1997
-0.614	Año 1994	0.003	Humedad relativa. Año 2003	0.081	Dirección de viento 1. Año 1998
-0.937	Año 1995	-0.010	Humedad relativa. Año 2004	0.041	Dirección de viento 2. Año 1998
-1.111	Año 1996	0.018	Temperatura Año 1994	-0.092	Dirección de viento 3. Año 1998
-0.173	Año 1997	0.026	Temperatura Año 1995	-0.066	Dirección de viento 2. Año 1999
-0.842	Año 1998	0.040	Temperatura Año 1996	-0.141	Dirección de viento 3. Año 1999
0.703	Año 1999	0.009	Temperatura Año 1997	0.228	Dirección de viento 4. Año 1999
1.412	Año 2000	0.020	Temperatura Año 1998	-0.088	Dirección de viento 1. Año 2000
0.934	Año 2001	-0.031	Temperatura Año 1999	-0.123	Dirección de viento 2. Año 2000
0.255	Año 2002	-0.046	Temperatura Año 2000	0.201	Dirección de viento 4. Año 2000
0.171	Año 2003	-0.026	Temperatura Año 2001	0.028	Dirección de viento 1. Año 2001
-0.124	Hora 8	-0.010	Temperatura Año 2003	-0.037	Dirección de viento 3. Año 2001
0.350	Hora 9	0.027	Velocidad de viento. Año 1994	0.040	Dirección de viento 1. Año 2002
0.563	Hora 10	0.036	Velocidad de viento. Año 1995	0.066	Dirección de viento 2. Año 2002
0.602	Hora 11	0.014	Velocidad de viento. Año 1996	-0.031	Dirección de viento 3. Año 2002
0.534	Hora 12	0.036	Velocidad de viento. Año 1997	-0.074	Dirección de viento 4. Año 2002
0.429	Hora 13	0.022	Velocidad de viento. Año 1998	-0.158	Dirección de viento 1. Año 2003
0.330	Hora 14	-0.021	Velocidad de viento. Año 1999	-0.027	Dirección de viento 2. Año 2003
0.200	Hora 15	-0.052	Velocidad de viento. Año 2000	0.234	Dirección de viento 3. Año 2003
-0.369	Hora 17	-0.022	Velocidad de viento. Año 2001	-0.049	Dirección de viento 4. Año 2003
-0.706	Hora 18	-0.031	Velocidad de viento. Año 2002	-0.111	Dirección de viento 1. Año 2004
-1.092	Hora 19	0.053	Dirección de viento 3. Año 1994	0.195	Dirección de viento 3. Año 2004
				-0.137	Dirección de viento 4. Año 2004

4.5.4. Estación Merced

Para la estación Merced, se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 88.12%, un error estándar residual de 0.2731 con 47 358 grados de libertad y una F de 1871. El valor de rechazo de F son los valores que sean menores a 88



Tabla 4.8. Modelo de regresión para la estación Merced

$\ln O_3 =$

Coeficiente	Parámetro Merced	Coefic. (cont)	Parámetro Merced	Coefic. (cont)	Parámetro Merced
-4.103	Ordenada al origen	-0.730	Hora 20	0.052	Velocidad de viento. Año 2003
-0.011	Humedad relativa.	0.003	Humedad relativa. Año 1994	0.055	Dirección de viento 1. Año 1995
0.070	Temperatura	0.004	Humedad relativa. Año 1995	0.029	Dirección de viento 1. Año 1996
-0.123	Velocidad de viento.	-0.008	Humedad relativa. Año 1996	0.038	Dirección de viento 2. Año 1996
0.106	Dirección de viento 2	0.002	Humedad relativa. Año 1997	0.036	Dirección de viento 3. Año 1996
0.062	Dirección de viento 3	-0.006	Humedad relativa. Año 1998	-0.103	Dirección de viento 4. Año 1996
-0.168	Dirección de viento 4	-0.004	Humedad relativa. Año 1999	-0.030	Dirección de viento 2. Año 1997
-0.394	Año 1994	0.013	Humedad relativa. Año 2000	0.044	Dirección de viento 3. Año 1997
-0.918	Año 1995	-0.007	Humedad relativa. Año 2002	0.040	Dirección de viento 1. Año 1998
-0.128	Año 1996	0.002	Humedad relativa. Año 2003	-0.139	Dirección de viento 2. Año 1999
-0.794	Año 1997	0.011	Temperatura Año 1994	-0.057	Dirección de viento 3. Año 1999
-0.430	Año 1998	0.033	Temperatura Año 1995	0.229	Dirección de viento 4. Año 1999
2.081	Año 1999	0.013	Temperatura Año 1996	-0.124	Dirección de viento 1. Año 2000
0.441	Año 2001	0.024	Temperatura Año 1997	-0.079	Dirección de viento 2. Año 2000
0.729	Año 2002	0.013	Temperatura Año 1998	0.066	Dirección de viento 3. Año 2000
-0.338	Año 2003	-0.068	Temperatura Año 1999	0.137	Dirección de viento 4. Año 2000
-0.355	Año 2004	-0.010	Temperatura Año 2000	0.039	Dirección de viento 1. Año 2001
-0.180	Hora 8	-0.014	Temperatura Año 2001	-0.031	Dirección de viento 3. Año 2001
0.362	Hora 9	-0.012	Temperatura Año 2002	0.039	Dirección de viento 1. Año 2002
0.639	Hora 10	-0.009	Temperatura Año 2003	0.075	Dirección de viento 2. Año 2002
0.684	Hora 11	0.019	Temperatura Año 2004	-0.031	Dirección de viento 3. Año 2002
0.599	Hora 12	0.027	Velocidad de viento. Año 1994	-0.082	Dirección de viento 4. Año 2002
0.451	Hora 13	0.018	Velocidad de viento. Año 1995	-0.065	Dirección de viento 1. Año 2003
0.304	Hora 14	0.033	Velocidad de viento. Año 1996	0.087	Dirección de viento 2. Año 2003
0.136	Hora 15	0.057	Velocidad de viento. Año 1998	0.061	Dirección de viento 3. Año 2003
-0.088	Hora 16	-0.053	Velocidad de viento. Año 1999	-0.083	Dirección de viento 4. Año 2003
-0.460	Hora 17	-0.072	Velocidad de viento. Año 2000	0.090	Dirección de viento 2. Año 2004
-0.772	Hora 18	-0.029	Velocidad de viento. Año 2001		
-0.945	Hora 19	-0.019	Velocidad de viento. Año 2002		

4.5.5. Estación Pedregal

Para la estación Pedregal, se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 86.84%, un error estándar residual de 0.2874 con 49763 grados de libertad y una F de 1735. El valor de rechazo de F son los valores que sean menores a



Tabla 4.9. Modelo de regresión para la estación Pedregal

$\ln O_3 =$

Coeficiente	Parámetro Pedregal	Coefic. (cont)	Parámetro Pedregal	Coefic. (cont)	Parámetro Pedregal
-3.677	Ordenada al origen	-1.122	Hora 19	-0.020	Velocidad de viento. Año 2002
-0.013	Humedad relativa.	-0.802	Hora 20	0.027	Dirección de viento 2. Año 1994
0.061	Temperatura	0.007	Humedad relativa. Año 1994	-0.053	Dirección de viento 4. Año 1994
-0.071	Velocidad de viento.	-0.003	Humedad relativa. Año 1995	-0.035	Dirección de viento 1. Año 1996
0.017	Dirección de viento 1	0.003	Humedad relativa. Año 1996	0.055	Dirección de viento 2. Año 1996
0.043	Dirección de viento 2	0.002	Humedad relativa. Año 1997	-0.037	Dirección de viento 3. Año 1996
0.019	Dirección de viento 3	-0.005	Humedad relativa. Año 1998	-0.026	Dirección de viento 1. Año 1997
-0.079	Dirección de viento 4	0.009	Humedad relativa. Año 1999	0.028	Dirección de viento 2. Año 1997
-1.075	Año 1994	0.002	Humedad relativa. Año 2000	-0.058	Dirección de viento 1. Año 1998
0.248	Año 1995	0.002	Humedad relativa. Año 2002	0.039	Dirección de viento 2. Año 1998
-0.723	Año 1996	-0.004	Humedad relativa. Año 2003	-0.045	Dirección de viento 1. Año 1999
-0.612	Año 1997	-0.012	Humedad relativa. Año 2004	-0.049	Dirección de viento 3. Año 1999
0.344	Año 1998	0.044	Temperatura Año 1994	0.071	Dirección de viento 4. Año 1999
0.547	Año 1999	-0.015	Temperatura Año 1995	-0.145	Dirección de viento 2. Año 2000
0.745	Año 2000	0.026	Temperatura Año 1996	0.030	Dirección de viento 3. Año 2000
0.251	Año 2001	0.016	Temperatura Año 1997	0.103	Dirección de viento 4. Año 2000
-0.186	Año 2003	-0.017	Temperatura Año 1998	-0.148	Dirección de viento 1. Año 2001
0.538	Año 2004	-0.032	Temperatura Año 1999	-0.144	Dirección de viento 2. Año 2001
-0.268	Hora 8	-0.025	Temperatura Año 2000	0.206	Dirección de viento 3. Año 2001
0.223	Hora 9	-0.006	Temperatura Año 2001	0.087	Dirección de viento 4. Año 2001
0.501	Hora 10	0.005	Temperatura Año 2002	0.062	Dirección de viento 1. Año 2002
0.628	Hora 11	0.005	Temperatura Año 2003	0.041	Dirección de viento 2. Año 2002
0.621	Hora 12	-0.033	Velocidad de viento. Año 1994	-0.068	Dirección de viento 3. Año 2002
0.528	Hora 13	0.031	Velocidad de viento. Año 1995	0.145	Dirección de viento 1. Año 2003
0.405	Hora 14	0.085	Velocidad de viento. Año 1996	-0.090	Dirección de viento 3. Año 2003
0.250	Hora 15	0.052	Velocidad de viento. Año 1997	-0.070	Dirección de viento 4. Año 2003
0.029	Hora 16	0.041	Velocidad de viento. Año 1998		
-0.334	Hora 17	-0.055	Velocidad de viento. Año 2000		
-0.658	Hora 18	-0.048	Velocidad de viento. Año 2001		

4.5.6. Estación Plateros

Para la estación Plateros, se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 87.06%, un error estándar residual de 0.2854 con 50068 grados de libertad y una F de 1782. El valor de rechazo de F son los valores que sean menores a 88.



Tabla 4.10. Modelo de regresión para la estación Plateros

$\ln O_3 =$

Coeficiente	Parámetro Plateros	Coefic. (cont)	Parámetro Plateros	Coefic. (cont)	Parámetro Plateros
-3.991	Ordenada al origen	-0.841	Hora 20	0.045	Velocidad de viento. Año 2003
-0.012	Humedad relativa.	-0.002	Humedad relativa. Año 1994	0.049	Dirección de viento 3. Año 1994
0.067	Temperatura	0.006	Humedad relativa. Año 1995	-0.051	Dirección de viento 4. Año 1994
-0.084	Velocidad de viento.	0.006	Humedad relativa. Año 1996	-0.105	Dirección de viento 1. Año 1995
0.045	Dirección de viento 1	0.004	Humedad relativa. Año 1997	0.048	Dirección de viento 3. Año 1995
-0.014	Dirección de viento 2	0.003	Humedad relativa. Año 1998	0.059	Dirección de viento 4. Año 1995
-0.024	Dirección de viento 4	-0.002	Humedad relativa. Año 2000	0.047	Dirección de viento 1. Año 1996
-0.220	Año 1994	0.002	Humedad relativa. Año 2001	-0.049	Dirección de viento 2. Año 1996
-0.728	Año 1995	-0.001	Humedad relativa. Año 2002	-0.042	Dirección de viento 3. Año 1996
-1.119	Año 1996	-0.005	Humedad relativa. Año 2003	0.044	Dirección de viento 4. Año 1996
-0.890	Año 1997	-0.012	Humedad relativa. Año 2004	-0.058	Dirección de viento 1. Año 1997
-0.462	Año 1998	0.010	Temperatura Año 1994	0.035	Dirección de viento 2. Año 1997
1.168	Año 1999	0.030	Temperatura Año 1995	-0.030	Dirección de viento 3. Año 1997
1.808	Año 2000	0.035	Temperatura Año 1996	0.052	Dirección de viento 4. Año 1997
0.523	Año 2001	0.024	Temperatura Año 1997	-0.076	Dirección de viento 2. Año 1999
0.168	Año 2002	0.009	Temperatura Año 1998	0.055	Dirección de viento 4. Año 1999
-0.380	Año 2003	-0.031	Temperatura Año 1999	0.047	Dirección de viento 3. Año 2000
-0.371	Hora 8	-0.062	Temperatura Año 2000	-0.050	Dirección de viento 4. Año 2000
0.172	Hora 9	-0.019	Temperatura Año 2001	0.072	Dirección de viento 1. Año 2001
0.511	Hora 10	-0.012	Temperatura Año 2002	-0.063	Dirección de viento 3. Año 2001
0.644	Hora 11	0.004	Temperatura Año 2003	0.041	Dirección de viento 4. Año 2002
0.636	Hora 12	0.012	Temperatura Año 2004	0.094	Dirección de viento 2. Año 2003
0.536	Hora 13	-0.022	Velocidad de viento. Año 1995	-0.110	Dirección de viento 4. Año 2003
0.403	Hora 14	0.025	Velocidad de viento. Año 1996		
0.247	Hora 15	0.077	Velocidad de viento. Año 1997		
0.042	Hora 16	0.055	Velocidad de viento. Año 1998		
-0.323	Hora 17	-0.073	Velocidad de viento. Año 1999		
-0.664	Hora 18	-0.097	Velocidad de viento. Año 2000		
-0.991	Hora 19	0.024	Velocidad de viento. Año 2002		

4.5.7. Estación San Agustín

Para la estación San Agustín, se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 87.5%, un error estándar residual de 0.192 con 40981 grados de libertad y una F de 1524. El valor de rechazo de F son los valores que sean menores a 88.



Tabla 4.11. Modelo de regresión para la estación San Agustín

$\ln O_3 =$

Coeficiente	Parámetro San Agustín	Coefic. (cont)	Parámetro San Agustín	Coefic. (cont)	Parámetro San Agustín
-3.705	Ordenada al origen	-0.945	Hora 19	0.067	Dirección de viento 4. Año 1995
-0.009	Humedad relativa.	-0.648	Hora 20	0.030	Dirección de viento 3. Año 1996
0.049	Temperatura	-0.001	Humedad relativa. Año 1994	-0.038	Dirección de viento 1. Año 1997
-0.079	Velocidad de viento.	0.002	Humedad relativa. Año 1995	-0.044	Dirección de viento 2. Año 1997
-0.017	Dirección de viento 1	-0.007	Humedad relativa. Año 1996	0.054	Dirección de viento 4. Año 1997
-0.059	Dirección de viento 2	0.003	Humedad relativa. Año 1997	0.027	Dirección de viento 1. Año 1998
0.021	Dirección de viento 3	0.009	Humedad relativa. Año 1999	-0.058	Dirección de viento 3. Año 1998
0.055	Dirección de viento 4	-0.005	Humedad relativa. Año 2001	0.041	Dirección de viento 1. Año 1999
-0.343	Año 1994	-0.002	Humedad relativa. Año 2002	-0.037	Dirección de viento 4. Año 1999
-0.275	Año 1995	0.006	Humedad relativa. Año 2003	0.076	Dirección de viento 2. Año 2000
0.153	Año 1996	-0.006	Humedad relativa. Año 2004	-0.101	Dirección de viento 4. Año 2000
-1.010	Año 1997	0.017	Temperatura Año 1994	0.044	Dirección de viento 2. Año 2001
-0.937	Año 1998	0.012	Temperatura Año 1995	0.029	Dirección de viento 3. Año 2001
0.425	Año 1999	0.039	Temperatura Año 1997	-0.075	Dirección de viento 4. Año 2001
0.976	Año 2000	0.038	Temperatura Año 1998	-0.029	Dirección de viento 3. Año 2002
0.781	Año 2001	-0.018	Temperatura Año 1999		
0.436	Año 2002	-0.033	Temperatura Año 2000		
-0.299	Año 2003	-0.040	Temperatura Año 2001		
-0.131	Hora 8	-0.021	Temperatura Año 2002		
0.300	Hora 9	0.012	Temperatura Año 2003		
0.451	Hora 10	0.012	Velocidad de viento. Año 1996		
0.442	Hora 11	0.023	Velocidad de viento. Año 1997		
0.375	Hora 12	0.070	Velocidad de viento. Año 1998		
0.308	Hora 13	-0.089	Velocidad de viento. Año 1999		
0.256	Hora 14	-0.041	Velocidad de viento. Año 2000		
0.180	Hora 15	0.020	Velocidad de viento. Año 2001		
0.049	Hora 16	-0.011	Velocidad de viento. Año 2002		
-0.200	Hora 17	-0.026	Dirección de viento 2. Año 1994		
-0.438	Hora 18	-0.048	Dirección de viento 2. Año 1995		

4.5.8. Estación Tacuba

Para la estación Tacuba, se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 87.66%, un error estándar residual de 0.2616 con 47305 grados de libertad y una F de 1784. El valor de rechazo de F son los valores que sean menores a 88.



Tabla 4.12. Modelo de regresión para la estación Tacuba

$\ln O_3 =$

Coeficiente	Parámetro Tacuba	Coefic. (cont)	Parámetro Tacuba	Coefic. (cont)	Parámetro Tacuba
-3.908	Ordenada al origen	-0.796	Hora 20	0.045	Dirección de viento 3. Año 1995
-0.009	Humedad relativa.	-0.003	Humedad relativa. Año 1996	0.053	Dirección de viento 4. Año 1995
0.066	Temperatura	0.005	Humedad relativa. Año 1998	-0.054	Dirección de viento 1. Año 1996
-0.080	Velocidad de viento.	0.013	Humedad relativa. Año 1999	-0.079	Dirección de viento 2. Año 1996
0.038	Dirección de viento 1	-0.003	Humedad relativa. Año 2000	0.104	Dirección de viento 3. Año 1996
-0.055	Dirección de viento 3	-0.004	Humedad relativa. Año 2001	-0.041	Dirección de viento 2. Año 1997
0.012	Dirección de viento 4	-0.005	Humedad relativa. Año 2002	0.054	Dirección de viento 1. Año 1998
-0.519	Año 1994	0.004	Humedad relativa. Año 2003	-0.032	Dirección de viento 3. Año 1998
-0.382	Año 1995	-0.009	Humedad relativa. Año 2004	-0.103	Dirección de viento 1. Año 1999
-0.108	Año 1996	0.021	Temperatura Año 1994	-0.059	Dirección de viento 2. Año 1999
-0.535	Año 1997	0.011	Temperatura Año 1995	0.152	Dirección de viento 3. Año 1999
-1.353	Año 1998	0.007	Temperatura Año 1997	0.039	Dirección de viento 2. Año 2000
-0.243	Año 1999	0.030	Temperatura Año 1998	0.045	Dirección de viento 3. Año 2000
1.734	Año 2000	0.009	Temperatura Año 1999	-0.104	Dirección de viento 4. Año 2000
0.977	Año 2001	-0.053	Temperatura Año 2000	0.051	Dirección de viento 1. Año 2001
0.497	Año 2002	-0.021	Temperatura Año 2001	-0.081	Dirección de viento 3. Año 2001
-0.225	Año 2003	0.004	Temperatura Año 2003	0.049	Dirección de viento 1. Año 2002
-0.230	Hora 8	0.028	Velocidad de viento. Año 1994	-0.129	Dirección de viento 3. Año 2002
0.249	Hora 9	0.049	Velocidad de viento. Año 1996	0.058	Dirección de viento 4. Año 2002
0.512	Hora 10	0.085	Velocidad de viento. Año 1997	0.037	Dirección de viento 1. Año 2003
0.580	Hora 11	0.100	Velocidad de viento. Año 1998	0.076	Dirección de viento 2. Año 2003
0.558	Hora 12	-0.080	Velocidad de viento. Año 1999	-0.101	Dirección de viento 4. Año 2003
0.479	Hora 13	-0.108	Velocidad de viento. Año 2000		
0.387	Hora 14	-0.057	Velocidad de viento. Año 2001		
0.254	Hora 15	-0.040	Velocidad de viento. Año 2002		
0.059	Hora 16	0.097	Dirección de viento 2. Año 1994		
-0.300	Hora 17	-0.093	Dirección de viento 3. Año 1994		
-0.640	Hora 18	-0.062	Dirección de viento 1. Año 1995		
-1.112	Hora 19	-0.036	Dirección de viento 2. Año 1995		

4.5.9. Estación Tlanepantla

Para la estación Tlanepantla, se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 87.50%, un error estándar residual de 0.2275 con 46758 grados de libertad y una F de 1737. El valor de rechazo de F son los valores que sean menores a 88.



Tabla 4.13. Modelo de regresión para la estación Tlanepantla

$\ln O_3 =$

Coeficiente	Parámetro Tlanepantla	Coefic. (cont)	Parámetro Tlanepantla	Coefic. (cont)	Parámetro Tlanepantla
-3.980	Ordenada al origen	-0.669	Hora 20	-0.037	Dirección de viento 2. Año 1994
-0.009	Humedad relativa.	0.005	Humedad relativa. Año 1994	0.072	Dirección de viento 3. Año 1994
0.058	Temperatura	-0.002	Humedad relativa. Año 1995	0.041	Dirección de viento 1. Año 1996
-0.050	Velocidad de viento.	0.004	Humedad relativa. Año 1996	-0.055	Dirección de viento 3. Año 1996
-0.012	Dirección de viento 1	-0.001	Humedad relativa. Año 1997	-0.027	Dirección de viento 3. Año 1997
0.090	Dirección de viento 2	-0.005	Humedad relativa. Año 1998	0.036	Dirección de viento 4. Año 1997
-0.040	Dirección de viento 3	0.003	Humedad relativa. Año 1999	0.052	Dirección de viento 1. Año 1998
-0.039	Dirección de viento 4	0.006	Humedad relativa. Año 2000	-0.055	Dirección de viento 3. Año 1998
-0.504	Año 1994	0.001	Humedad relativa. Año 2001	-0.077	Dirección de viento 1. Año 1999
-0.125	Año 1995	-0.003	Humedad relativa. Año 2002	-0.077	Dirección de viento 2. Año 1999
-1.011	Año 1996	-0.006	Humedad relativa. Año 2004	0.104	Dirección de viento 3. Año 1999
-0.361	Año 1997	0.011	Temperatura Año 1994	0.050	Dirección de viento 4. Año 1999
-0.380	Año 1998	0.035	Temperatura Año 1996	-0.038	Dirección de viento 2. Año 2000
1.145	Año 1999	0.008	Temperatura Año 1997	0.062	Dirección de viento 3. Año 2000
0.468	Año 2000	0.017	Temperatura Año 1998	0.049	Dirección de viento 2. Año 2001
0.265	Año 2001	-0.033	Temperatura Año 1999	-0.046	Dirección de viento 3. Año 2001
0.334	Año 2002	-0.016	Temperatura Año 2000	0.064	Dirección de viento 1. Año 2002
-0.263	Hora 8	-0.005	Temperatura Año 2001	0.028	Dirección de viento 2. Año 2002
0.187	Hora 9	-0.005	Temperatura Año 2002	-0.117	Dirección de viento 3. Año 2002
0.443	Hora 10	-0.009	Temperatura Año 2004	0.045	Dirección de viento 2. Año 2003
0.528	Hora 11	0.042	Velocidad de viento. Año 1994		
0.508	Hora 12	0.027	Velocidad de viento. Año 1995		
0.442	Hora 13	0.038	Velocidad de viento. Año 1996		
0.361	Hora 14	0.039	Velocidad de viento. Año 1997		
0.244	Hora 15	0.064	Velocidad de viento. Año 1998		
0.036	Hora 16	-0.068	Velocidad de viento. Año 1999		
-0.327	Hora 17	-0.084	Velocidad de viento. Año 2000		
-0.621	Hora 18	-0.024	Velocidad de viento. Año 2001		
-0.869	Hora 19	-0.039	Velocidad de viento. Año 2002		

4.5.10. Estación Xalostoc

Para la estación Xalostoc, se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 85.68%, un error estándar residual de 0.2536 con 48157 grados de libertad y una F de 1511. El valor de rechazo de F son los valores que sean menores a 88.



Tabla 4.14. Modelo de regresión para la estación Xalostoc

$\ln O_3 =$

Coefficiente	Parámetro Xalostoc	Coefic. (cont)	Parámetro Xalostoc	Coefic. (cont)	Parámetro Xalostoc
-3.692	Ordenada al origen	0.005	Humedad relativa. Año 1995	-0.162	Dirección de viento 3. Año 1995
-0.012	Humedad relativa.	-0.004	Humedad relativa. Año 1996	0.070	Dirección de viento 1. Año 1996
0.047	Temperatura	-0.004	Humedad relativa. Año 1997	0.025	Dirección de viento 2. Año 1996
-0.095	Velocidad de viento.	-0.004	Humedad relativa. Año 1998	-0.070	Dirección de viento 4. Año 1996
-0.164	Dirección de viento 1	0.008	Humedad relativa. Año 1999	0.028	Dirección de viento 1. Año 1997
0.087	Dirección de viento 2	0.010	Humedad relativa. Año 2000	0.090	Dirección de viento 1. Año 1998
0.177	Dirección de viento 3	-0.007	Humedad relativa. Año 2001	0.058	Dirección de viento 2. Año 1998
-0.101	Dirección de viento 4	-0.004	Humedad relativa. Año 2002	-0.080	Dirección de viento 3. Año 1998
-0.283	Año 1994	0.005	Humedad relativa. Año 2003	-0.068	Dirección de viento 4. Año 1998
-0.396	Año 1995	-0.003	Humedad relativa. Año 2004	-0.186	Dirección de viento 2. Año 1999
-0.307	Año 1996	0.012	Temperatura Año 1994	0.042	Dirección de viento 3. Año 1999
-0.689	Año 1997	0.007	Temperatura Año 1995	0.172	Dirección de viento 4. Año 1999
-0.386	Año 1998	0.017	Temperatura Año 1996	-0.138	Dirección de viento 1. Año 2000
1.039	Año 1999	0.033	Temperatura Año 1997	-0.144	Dirección de viento 2. Año 2000
0.216	Año 2000	0.023	Temperatura Año 1998	0.132	Dirección de viento 3. Año 2000
0.666	Año 2001	-0.043	Temperatura Año 1999	0.150	Dirección de viento 4. Año 2000
0.584	Año 2002	-0.012	Temperatura Año 2000	-0.054	Dirección de viento 1. Año 2001
-0.597	Año 2003	-0.026	Temperatura Año 2001	-0.082	Dirección de viento 2. Año 2001
-0.158	Hora 8	-0.019	Temperatura Año 2002	0.036	Dirección de viento 3. Año 2001
0.269	Hora 9	0.016	Temperatura Año 2003	0.100	Dirección de viento 4. Año 2001
0.486	Hora 10	0.017	Velocidad de viento. Año 1994	-0.045	Dirección de viento 1. Año 2002
0.497	Hora 11	0.021	Velocidad de viento. Año 1996	0.085	Dirección de viento 2. Año 2002
0.419	Hora 12	0.052	Velocidad de viento. Año 1997	0.023	Dirección de viento 3. Año 2002
0.335	Hora 13	0.043	Velocidad de viento. Año 1998	-0.063	Dirección de viento 4. Año 2002
0.248	Hora 14	-0.093	Velocidad de viento. Año 1999	-0.106	Dirección de viento 1. Año 2003
0.132	Hora 15	-0.032	Velocidad de viento. Año 2000	0.140	Dirección de viento 2. Año 2003
-0.052	Hora 16	-0.014	Velocidad de viento. Año 2002	0.052	Dirección de viento 3. Año 2003
-0.304	Hora 17	0.023	Velocidad de viento. Año 2003	-0.086	Dirección de viento 4. Año 2003
-0.505	Hora 18	0.069	Dirección de viento 1. Año 1994	0.090	Dirección de viento 2. Año 2004
-0.784	Hora 19	-0.062	Dirección de viento 4. Año 1994		
-0.584	Hora 20	0.139	Dirección de viento 1. Año 1995		

De estos parámetros, en relación a sus interacciones en el tiempo, sólo son significativos los coeficientes a partir de la hora 8 al final de cada tabla.

4.5.11. Capa de mezcla

En lo que concierne al modelo de regresión desarrollado para el análisis del efecto de la capa de mezcla sobre la distribución del ozono,

En cuanto a la influencia de la capa de mezcla, el modelo obtenido es el mostrado en la tabla 4.20, con los indicadores siguientes:

Coefficiente de correlación múltiple = 84.5%

Error estándar residual = 0.5591

G. l.= 39620

Tabla 4.15. Modelo de regresión para la capa de mezcla

$\ln O_3 =$

Coefficient e β_i	Parámetro	Coefficiente β_i	Parámetro
-3.6647	Ordenada al origen	0.0004	CapaMezcla
-0.0867	Año 1994	0.0001	CapaMezcla Año 1994
-0.1252	Año 1995	0.0001	CapaMezcla Año 1995
-0.4327	Año 1996	0.0002	CapaMezcla Año 1996
-0.4965	Año 1997	0.0002	CapaMezcla Año 1997
-0.3264	Año 1998	0.0001	CapaMezcla Año 1998
0.5953	Año 1999	-0.0003	CapaMezcla Año 1999
0.6153	Año 2000	-0.0003	CapaMezcla Año 2000
0.3246	Año 2001	-0.0002	CapaMezcla Año 2001
-0.1526	Año 2002	0.0001	CapaMezcla Año 2003
0.0838	Año 2004	0.0001	CapaMezcla Hora 8
-0.4129	Hora 8	-0.0001	CapaMezcla Hora 9
0.2272	Hora 9	-0.0001	CapaMezcla Hora 10
0.531	Hora 10	-0.0002	CapaMezcla Hora 11
0.6893	Hora 11	-0.0002	CapaMezcla Hora 12
0.721	Hora 12	-0.0002	CapaMezcla Hora 13
0.6178	Hora 13	-0.0002	CapaMezcla Hora 14
0.3555	Hora 14	-0.0001	CapaMezcla Hora 15
-0.2987	Hora 16	-0.0001	CapaMezcla Hora 16
-1.3886	Hora 17	0.0007	CapaMezcla Hora 17
-1.0424	Hora 18	0.0004	CapaMezcla Hora 18

Para los análisis de los resultados de los modelos de regresión se puede decir:

La humedad relativa y la velocidad de viento, influyen en todas las estaciones disminuyendo las concentraciones del ozono, no así la temperatura cuya influencia es en el sentido de aumentar los niveles del ozono (ver tablas 4.5 a 4.14). Pero, en cuanto a interacciones en el tiempo, en términos generales se obtuvo que la temperatura y la velocidad del viento en todas las estaciones, muestran una leve influencia a aumentar los niveles ozono hasta 1998 y a disminuirlos después de este año, cuyos signos de los coeficientes son los correspondientes a los modelos de las tablas mencionadas y con el fin de observar cualitativamente lo mencionado, se presentan en las tablas 4.16. a 4.20.

En la tabla 4.19 se observa que para todas las estaciones el ozono disminuye, a partir de las 17 h y hasta las 8 h; de las 9 a las 16 h aumenta, excepto en las estaciones Cerro de la Estrella, Merced y Xalostoc, en las que se adelanta 1 h, o sea de las 9 a las 15 h va en aumento y a partir de las 16 h disminuye.

Respecto a cada año se observa también una disminución hasta el año 1998 y, posteriormente un aumento, tabla 4.20.

En cuanto a la influencia de cada parámetro en la tendencia a la baja del ozono en el tiempo, el análisis se debe hacer en relación con las interacciones de cada parámetro respecto a la hora del día y el año respectivo Enseguida se presentan las comparaciones de cada uno de dichos parámetros.

Tabla 4.16. Influencia de la humedad relativa en las concentraciones de ozono

Año/Estación	CES	EAC	HAN	MER	PED	PLA	SAG	TAC	TLA	XAL
1994	+	n.s.	-	+	+	-	-	n.s.	+	n.s.
1995	+	n.s.	+	+	-	+	+	n.s.	-	+
1996	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-
1997	-	+	-	+	+	+	+	n.s.	-	-
1998	-	+	+	-	-	+	n.s.	+	-	-
1999	+	+	+	-	+	n.s.	+	+	+	+
2000	+	+	n.s.	+	+	-	n.s.	-	+	+
2001	-	-	-	n.s.	n.s.	+	-	-	+	-
2002	-	-	n.s.	-	+	-	-	-	-	-
2003	+	-	+	+	-	-	+	+		+
2004	n.s.	n.s.	-	n.s.	-	-	-	-	-	-

n.s. No significativo estadísticamente

- + Aumento
- Decremento

Tabla 4.17. Influencia de la temperatura en las concentraciones de ozono

Año/Estación	CES	EAC	HAN	MER	PED	PLA	SAG	TAC	TLA	XAL
1994	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1995	+	+	+	+	-	+	+	+		+
1996	+	+	+	+	+	+	n.s.	n.s.	+	+
1997	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1998	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
1999	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	n.s.	-	+	-	-	n.s.	-	-
2003	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
2004	n.s.	+	n.s.	+	n.s.	+	n.s.	n.s.	-	n.s.

n.s. No significativo estadísticamente

- + Aumento
- Decremento

Tabla 4.18. Influencia de la velocidad del viento en las concentraciones de ozono

Año/Estación	CES	EAC	HAN	MER	PED	PLA	SAG	TAC	TLA	XAL
1994	n.s.	n.s.	+	+	-	n.s.	n.s.	+	+	+
1995	+	+	+	+	+	-	n.s.	n.s.	+	n.s.
1996	n.s.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1997	+	+	+	n.s.	+	+	+	+	+	+
1998	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1999	-	-	-	-	n.s.	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	n.s.	+	-	-	n.s.
2002	n.s.	-	-	-	-	+	-	-	-	-
2003	-	+	n.s.	+	n.s.	+	n.s.	n.s.	n.s.	+
2004	n.s.	+	n.s.							

n.s. No significativo estadísticamente

- + Aumento
- Decremento

Tabla 4.19. Comportamiento del ozono según la hora del día

Hora/Estación	CES	EAC	HAN	MER	PED	PLA	SAG	TAC	TLA	XAL
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16	-	n.s.	n.s.	-	+	+	+	+	+	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

n.s. No significativo estadísticamente

- + Aumento
- Decremento

Tabla 4.20. Comportamiento del ozono en el tiempo por estación de medición

Año/Estación	CES	EAC	HAN	MER	PED	PLA	SAG	TAC	TLA	XAL
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
1997	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
1999	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
2000	+	+	+	n.s.	+	+	+	+	+	+
2001	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2002	+	+	+	+	n.s.	+	+	+	+	+
2003	-	n.s.	+	-	-	-	-	-	n.s.	-
2004	n.s.	-	n.s.	-	+	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

n.s. No significativo estadísticamente

+ Aumento

- Decremento

Influencia de la dirección del viento en las concentraciones de ozono

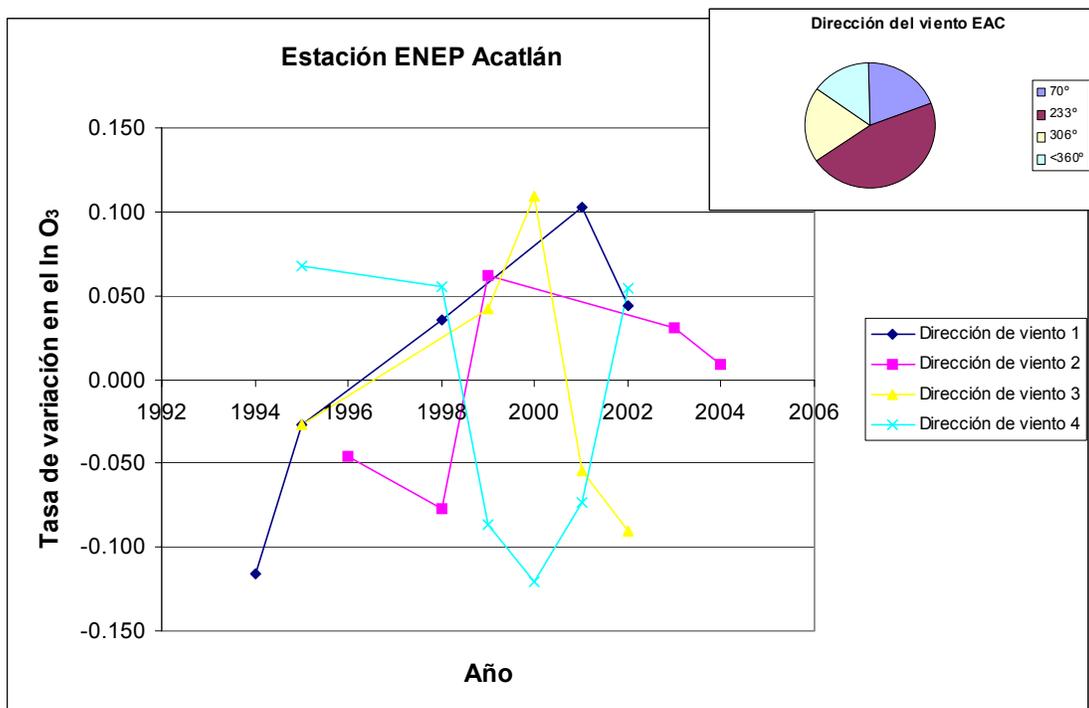
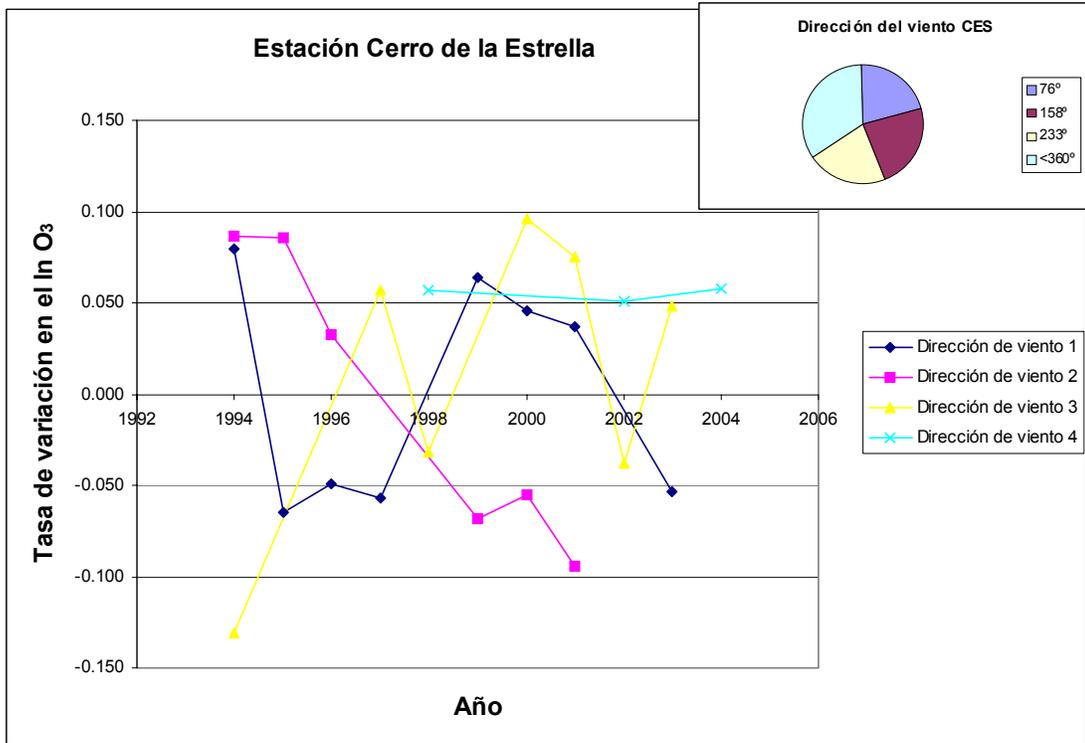
Para las direcciones del viento, el análisis de los resultados ilustrados en las gráficas 4.5 a 4.14 para todo el período de tiempo muestra lo siguiente:

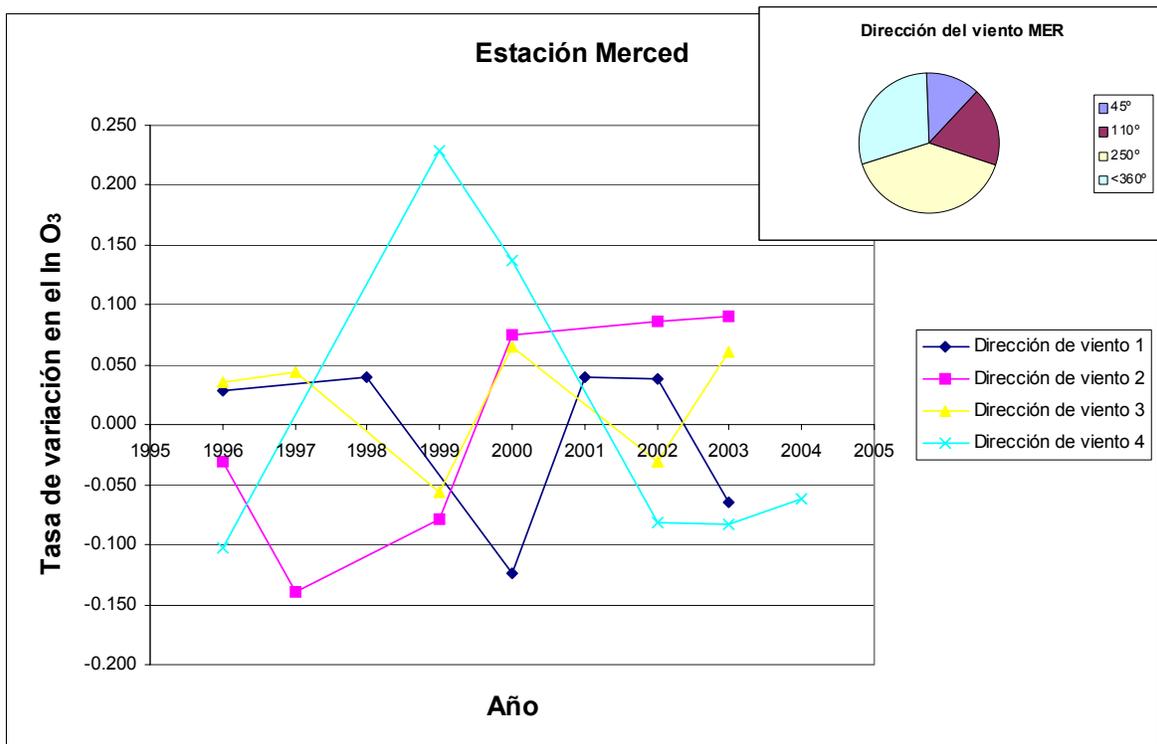
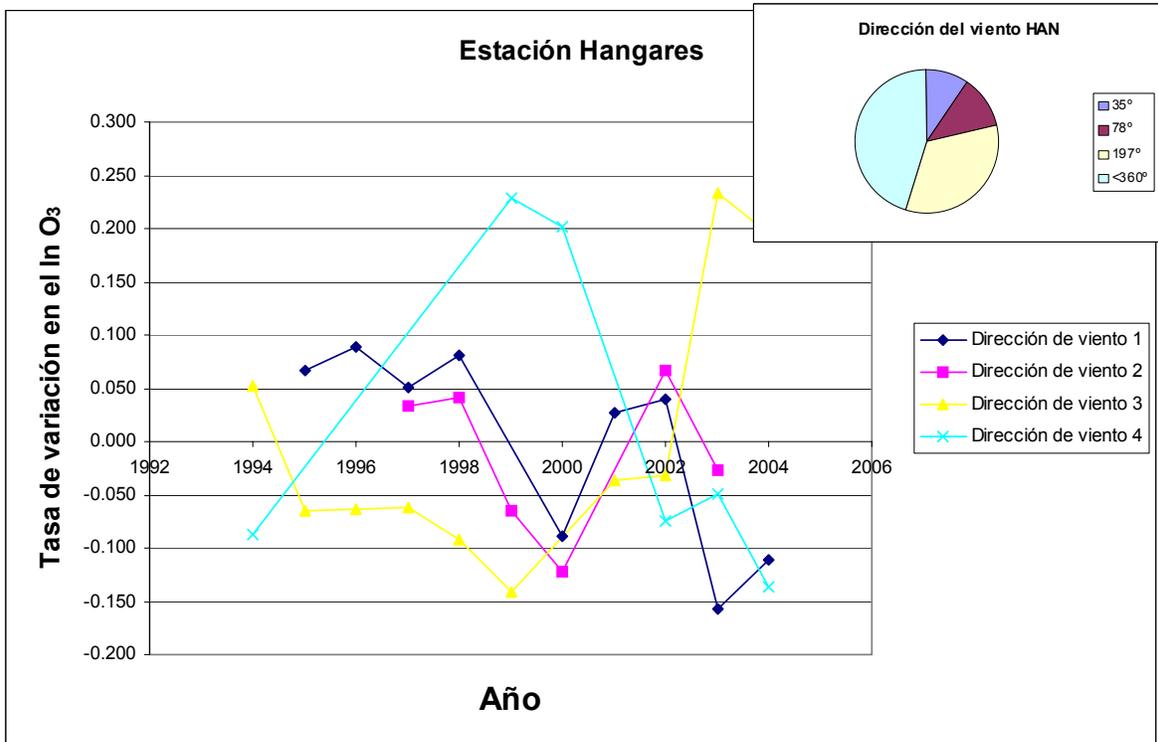
Para la estación Hangares; las direcciones del viento 1 y 2 muestran un comportamiento paralelo de influencia positiva hasta el año 2001, aunque más desfavorable para la dirección 1 (hasta 35° ver gráfico de la estación Hangares en las gráficas 4.5 a 4.14), posteriormente la influencia es negativa.

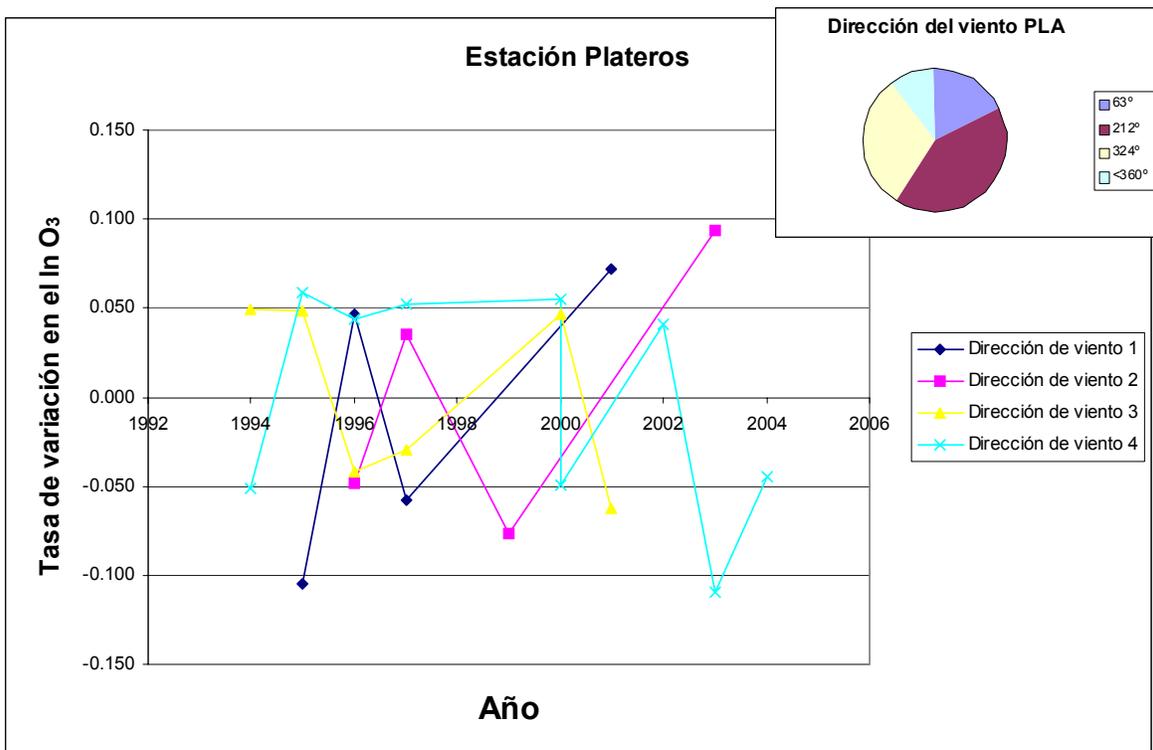
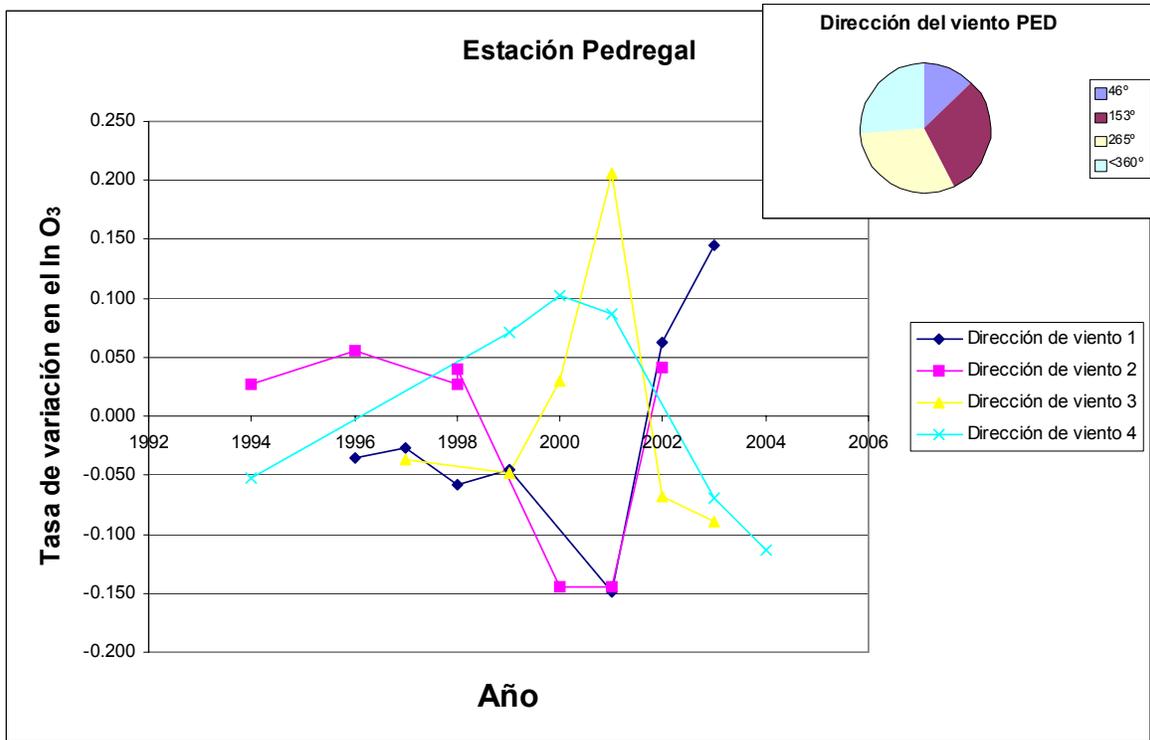
La dirección 3 es la más favorable a disminuir el ozono y la 4 es, de todos, la más desfavorable a disminuirlo.

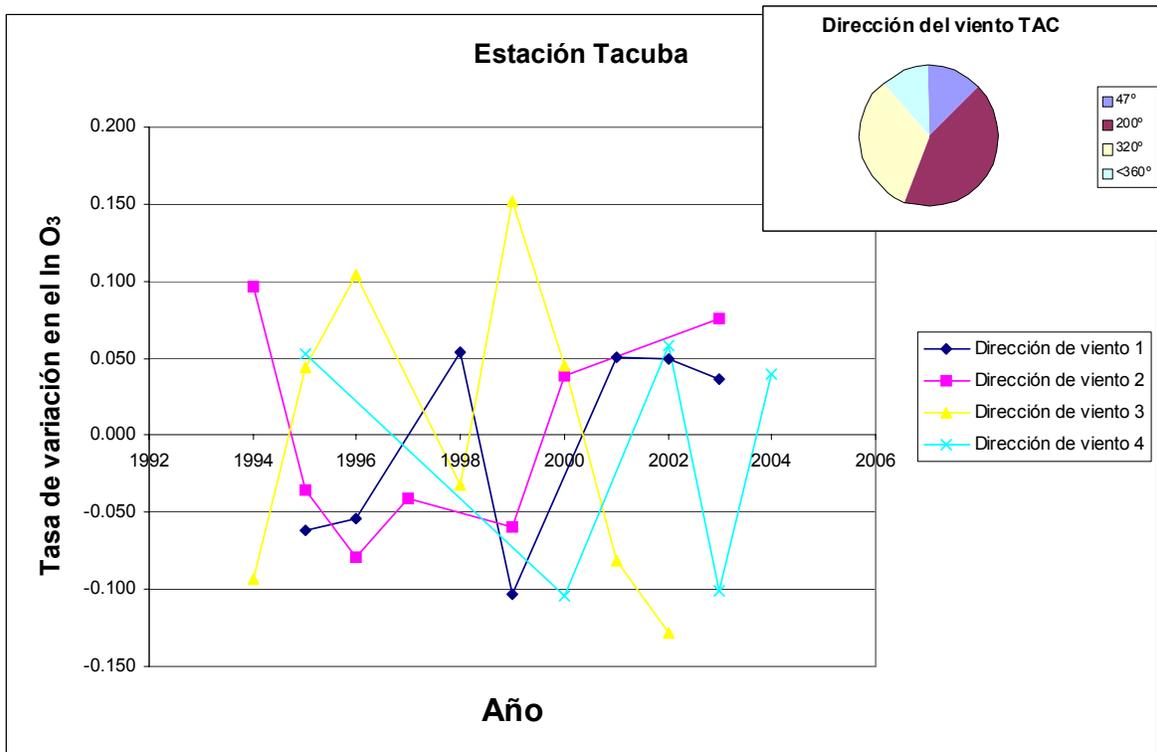
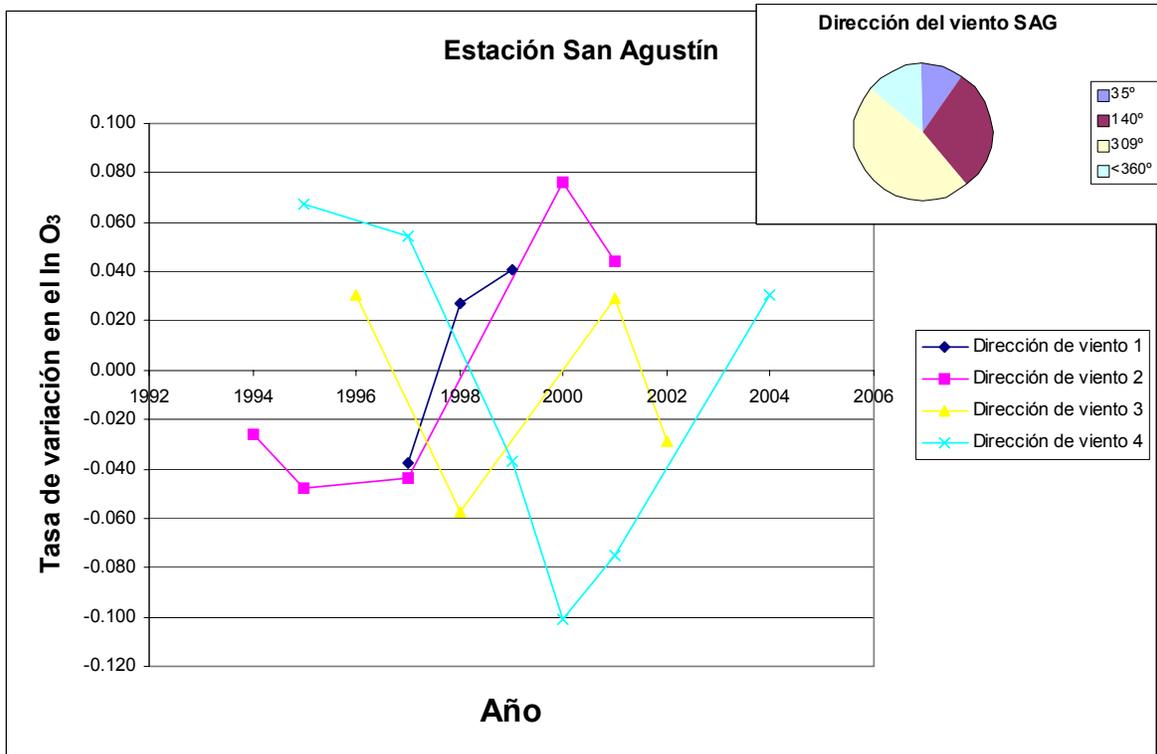
No se observa un patrón definido de influencia en el ozono de alguna dirección específica para el resto de las estaciones. Esto puede deberse, a que se utilizan los promedios de las velocidades de viento horarias, y aunque resulta ser válido para explicar su comportamiento en el tiempo en períodos de tiempo grandes, como los anuales, a niveles horarios pueden tener una variación muy fuerte, debido a lo cambiante de la atmósfera, aún en condiciones similares, de un día a otro.

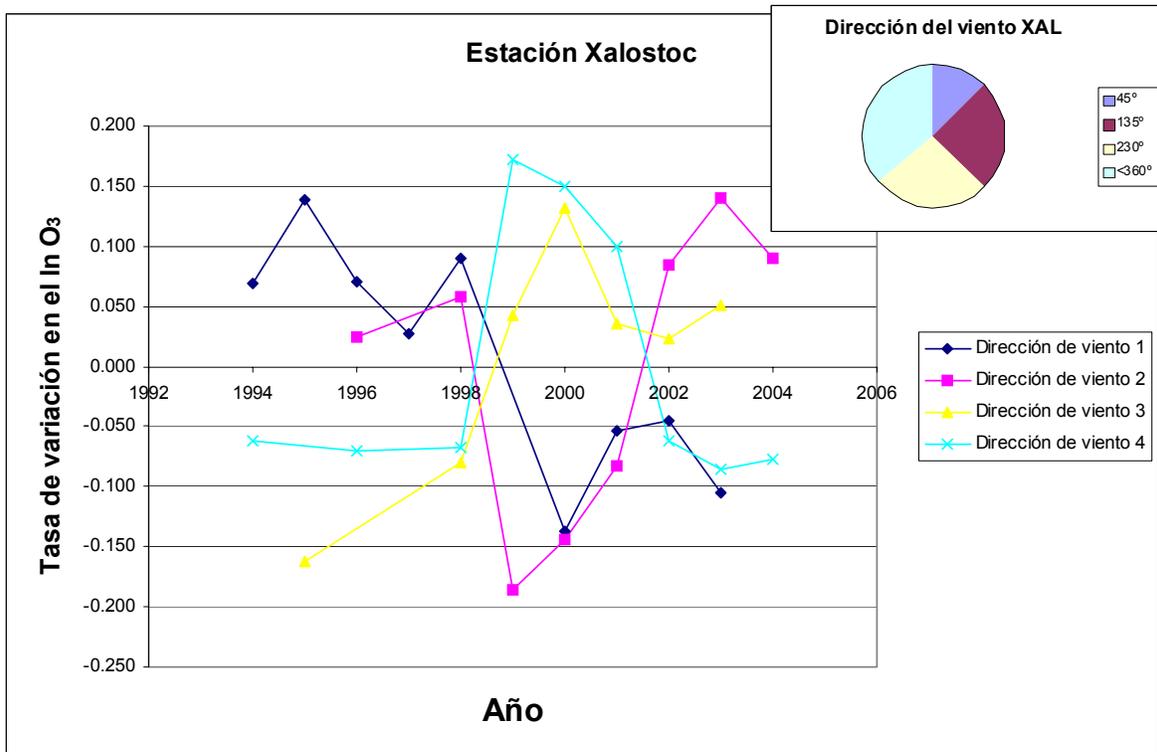
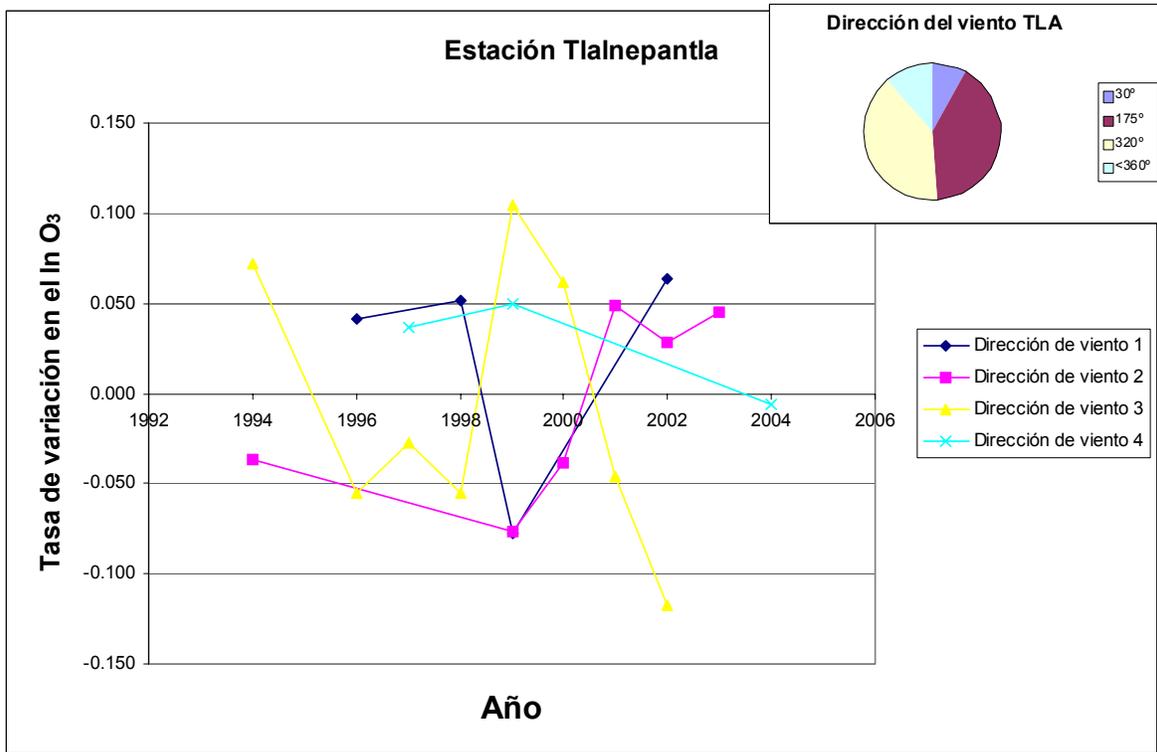
Gráficas 4.6. a 4.14. Influencia de la dirección de viento por año en las concentraciones de ozono en la Cd. de México











Nota: Sólo se muestran los años estadísticamente significativos para cada modelo

De los resultados anteriormente presentados, se concluye que, aunque existe una influencia de los patrones de la dirección y velocidad de los vientos, temperatura, humedad relativa y capa de mezcla, dada la magnitud de los coeficientes de cada uno de los modelos, no se puede afirmar que la disminución en los niveles del ozono durante el período de estudio, 1994-2004, se deba a la influencia de estos parámetros evaluados.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos en este trabajo se desprenden las siguientes conclusiones y recomendaciones.

Del análisis del comportamiento de las concentraciones de ozono promedio máximas diarias anuales, durante el período 1994-2004, se concluye que en ningún caso se cumple con lo establecido en la norma mexicana de calidad del aire, NOM-020-SSA1-1993 y su modificación, la cual establece como valor límite horario permisible una concentración de 0.11 ppm de ozono una vez al año. Esto implica que la calidad del aire por ozono en la ZMVM sigue constituyendo un problema importante a resolver.

Se concluye que, en términos generales, la distribución espacial del comportamiento del ozono es similar, tanto en lo que respecta a los promedios máximos anuales, la frecuencia de excedencias del valor de la norma de calidad del aire y valores máximos anuales. Las zonas que presentan las menores excedencias son la noreste, fuera del D.F., (San Agustín, Xalostoc), seguidas de la zona noroeste (Tlalnepantla, ENEP Acatlán), en los límites del D.F. Por otra parte, en la zona sureste (Cerro de la Estrella), se van incrementando, pasando por el oriente (Hangares), hasta llegar a la zona centro (Merced), noroeste (Tacuba) y de allí a la parte suroeste de la ciudad (Plateros, Pedregal). Las concentraciones máximas anuales de ozono se incrementan en la mayoría de los años en las direcciones este-oeste y norte-sur y en el año 1994 se nota un claro patrón en la dirección noreste-suroeste.

La aplicación de la metodología de regresión lineal simple a la información histórica procedente de las bases de datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, fue suficiente para determinar que, existe una tendencia a la baja en las concentraciones de ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Los modelos de regresión lineal múltiple, conformados con base en la información histórica de las variables meteorológicas, permitieron conocer de manera confiable, tanto la influencia de la temperatura, la velocidad y dirección del viento y la humedad relativa sobre la distribución espacio-temporal de las concentraciones de ozono en el sentido horizontal.

El modelo estadístico empírico empleado es un método apropiado, de acuerdo a los valores obtenidos de los errores residuales estándar y a los coeficientes de correlación múltiple que varían de 0.19 a 0.29 y del 86 al 89% respectivamente. Para la capa de mezcla se encontró el mayor error residual con 0.56 y coeficiente de correlación de 84%, en relación a lo explicado anteriormente.

Los resultados obtenidos con los modelos anteriores, permiten concluir que, aunque la mayoría de los parámetros meteorológicos estudiados tiene una influencia importante en el comportamiento de las concentraciones de ozono, ninguno de ellos, por separado, es determinante en explicar las tendencias a su disminución durante este período, inclusive la capa de mezcla. Por lo tanto, cabe la posibilidad de que dichas disminuciones también sean el

resultado de las políticas ambientales aplicadas, lo cual tendría que ser comprobado. Es importante hacer notar que dichas políticas no han logrado cumplir con las normas de calidad del aire correspondientes.

El parámetro que por sí mismo tiene una influencia mayor y directamente proporcional a la variación de los niveles de ozono, es la temperatura, debido a que este parámetro está relacionado con la cantidad de radiación solar.

En relación a las bases de datos de la RAMA, se encontraron algunas inconsistencias, por ejemplo, se reportan concentraciones de ozono con valores cero entre las 8 a las 17 h que, aunque técnicamente pueden registrarse en los aparatos de medición, se consideran difíciles de ocurrir en la Ciudad de México.

Con el objeto de incrementar el conocimiento de la dinámica atmosférica de la Ciudad de México y poder desarrollar modelos más completos para un mejor entendimiento de la dilución de los contaminantes en el aire, es recomendable realizar más campañas de mediciones de las variables atmosféricas y niveles de ozono en el sentido vertical a lo largo del año, puesto que, además de los radiosondeos realizados por el Servicio Meteorológico Nacional en Tacubaya, en un punto de la Ciudad y 2 veces diarias, no existen datos históricos que permitan evaluarlos para desarrollar modelos más completos de contaminación del aire.

A fin de poder comprobar que las políticas ambientales implementadas en la ZMVM han contribuido a una disminución de los niveles de ozono, se recomienda efectuar más estudios que utilicen herramientas como las aquí presentadas, en donde se busque verificar la influencia de dichas políticas en los niveles de contaminación.

Finalmente, se sugiere que, para el estudio de la influencia de la meteorología en los niveles de contaminación, es apropiado enfocarse en los procesos de la atmósfera en niveles por encima de los superficiales. Para esto convendría:

- Completar con el entendimiento del comportamiento de la atmósfera fuera del Valle y medir en los perfiles verticales, los contaminantes para establecer las condiciones iniciales y de frontera de los modelos y poder caracterizar mejor los flujos de aire en y fuera del Valle.
- Establecer bases de datos de los contaminantes y variables meteorológicas en campañas intensivas de mediciones y coordinarlas con los requerimientos de los modelos.

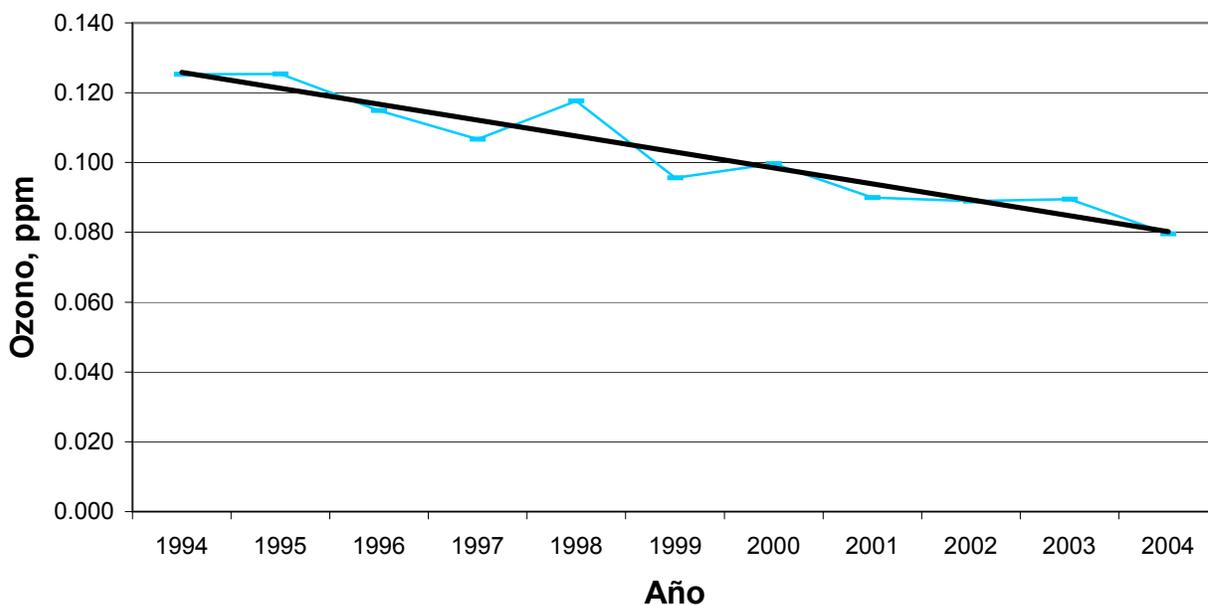
ANEXO A

Tendencias de ozono para la ZMCM

Período 1994-2004

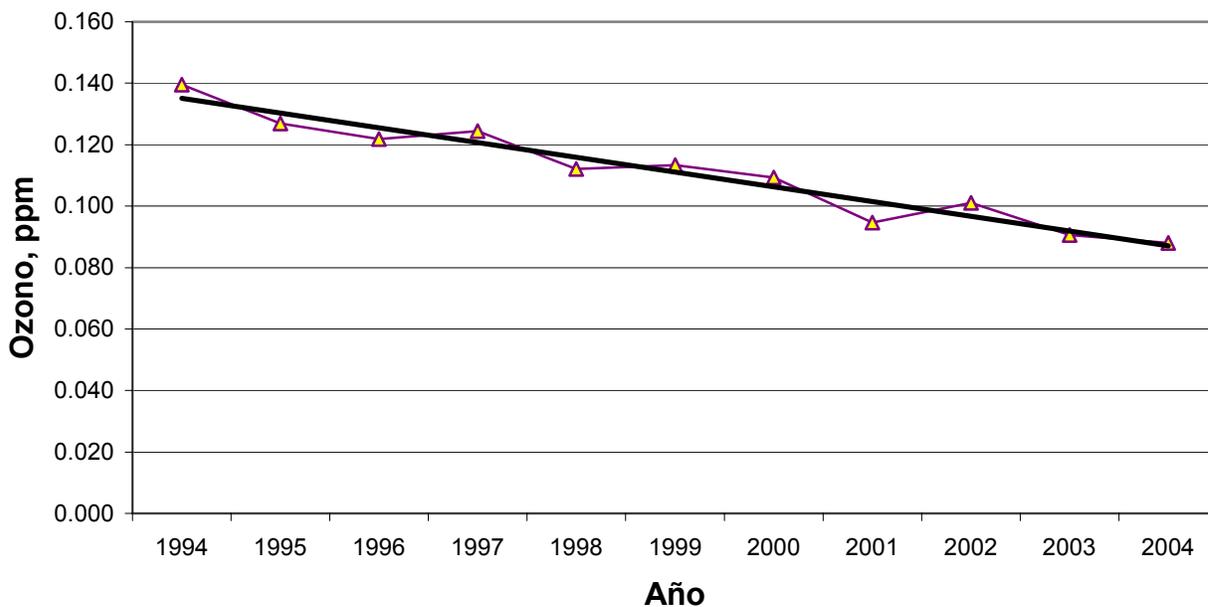
Tendencias anuales para los máximos promedio diario
Estación Cerro de la Estrella

$$y = -0.0046x + 0.1304$$
$$R^2 = 0.9031$$
$$R = 95\%$$



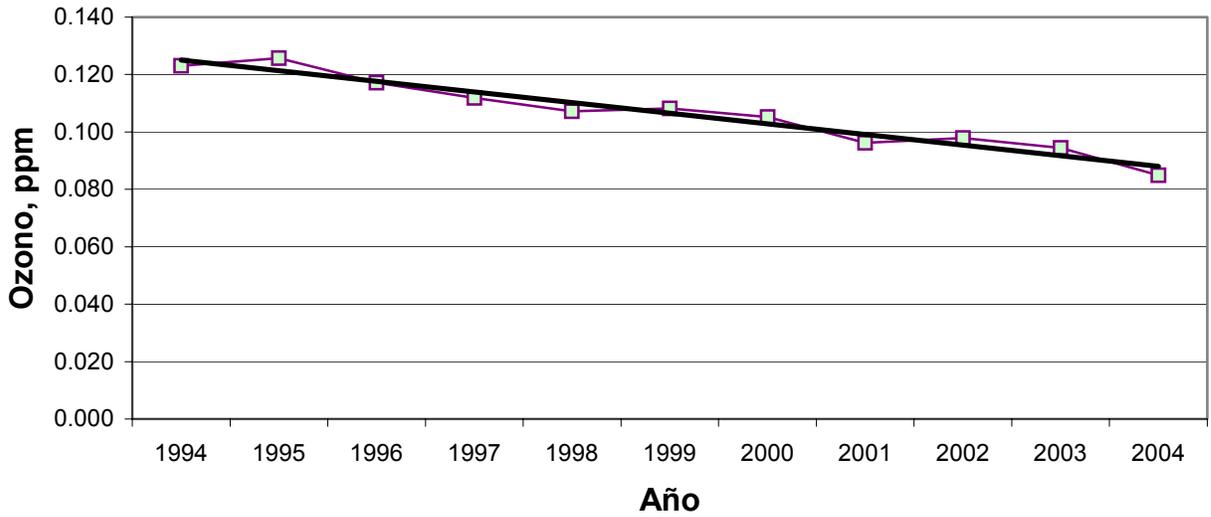
Tendencias anuales para los máximos promedio diario
Estación ENEP Acatlán

$$y = -0.0048x + 0.1398$$
$$R^2 = 0.9417$$
$$R = 97\%$$



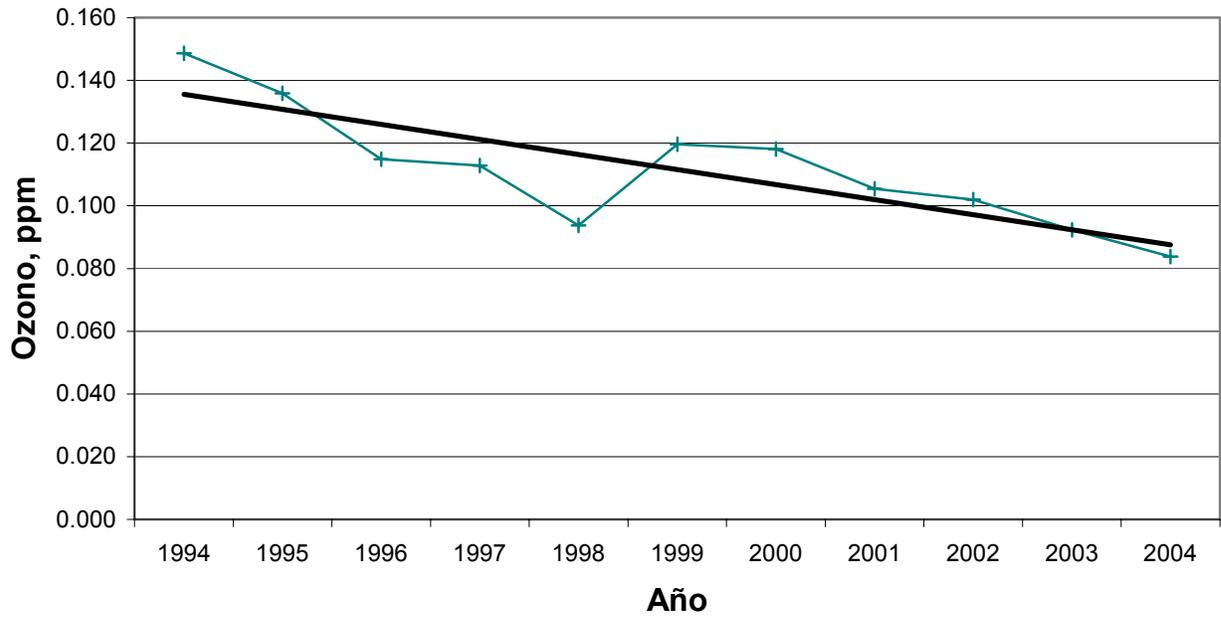
Tendencias anuales para los máximos promedio diario Estación Hangares

$$y = -0.0037x + 0.1287$$
$$R^2 = 0.9516$$
$$R = 98\%$$



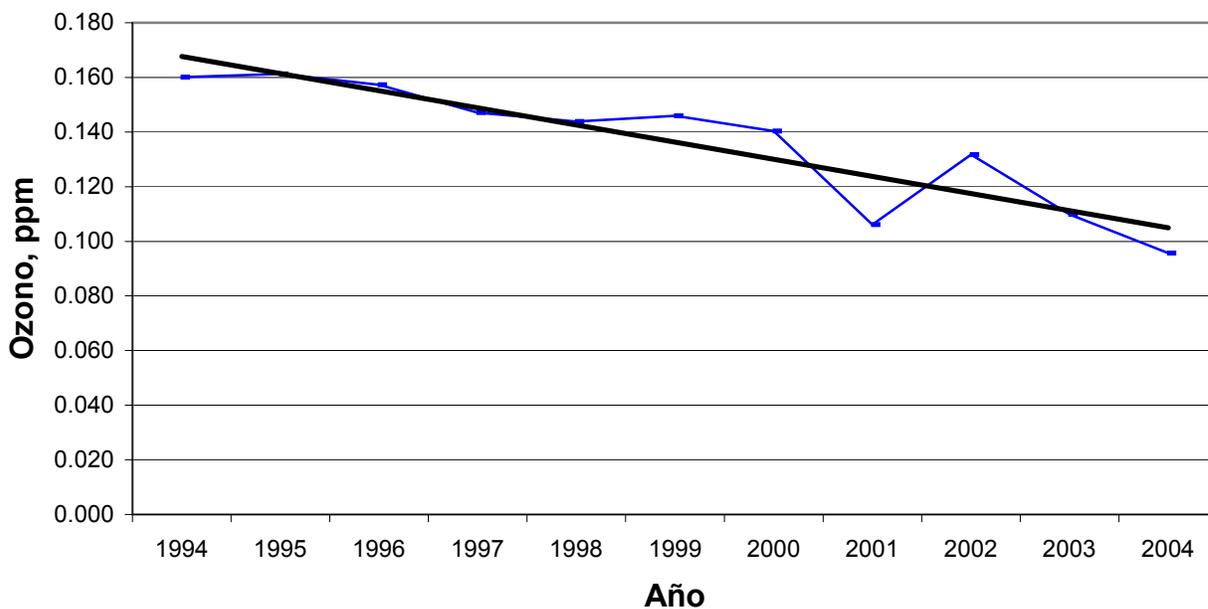
Tendencias anuales para los máximos promedio diario Estación Merced

$$y = -0.0048x + 0.1403$$
$$R^2 = 0.6885$$
$$R = 82\%$$



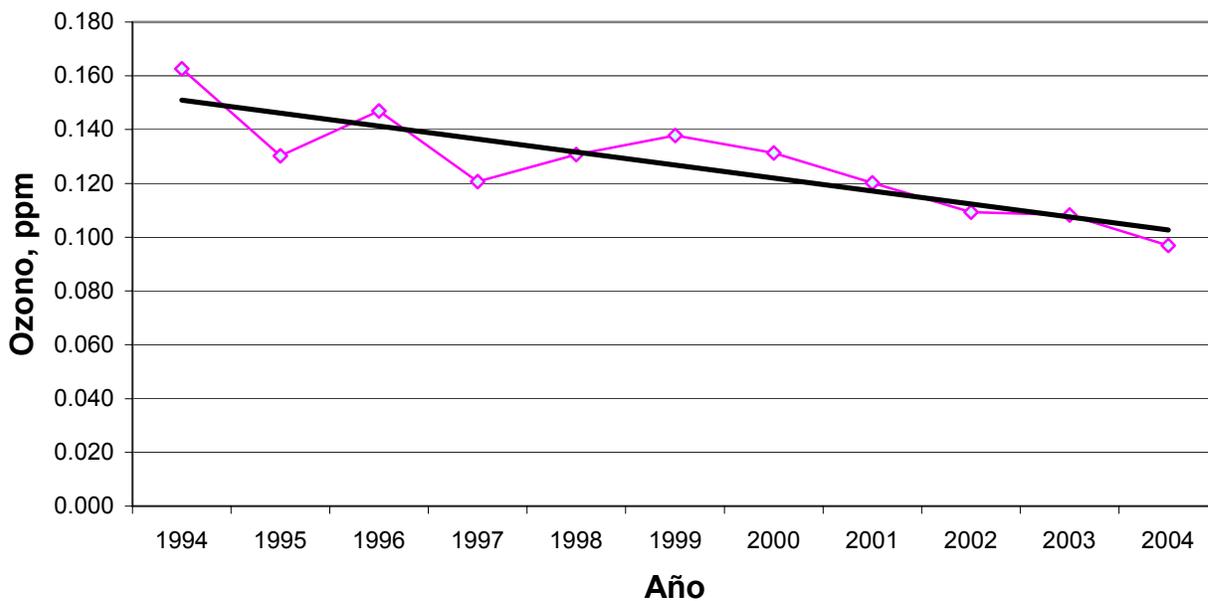
Tendencias anuales para los máximos promedio diario Estación Pedregal

$$y = -0.0063x + 0.1739$$
$$R^2 = 0.8333$$
$$R = 92 \%$$



Tendencias anuales para los máximos promedio diario Estación Plateros

$$y = -0.0048x + 0.1557$$
$$R^2 = 0.733$$
$$R = 86 \%$$

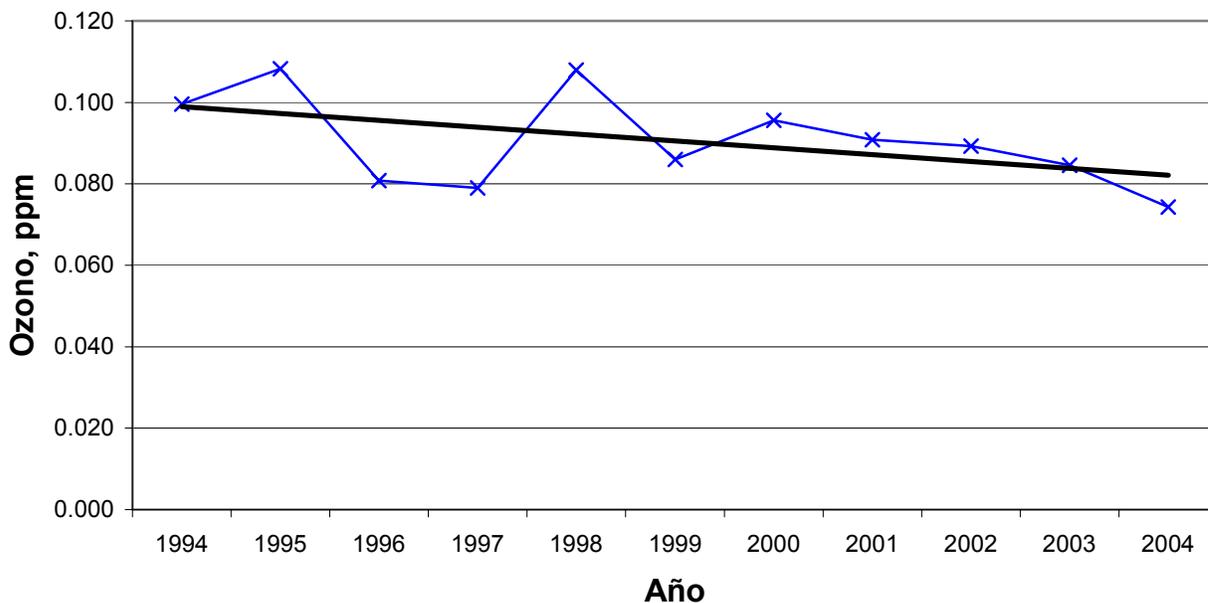


Tendencias anuales para los máximos promedio diario Estación San Agustín

$$y = -0.0017x + 0.1006$$

$$R^2 = 0.2429$$

$$R = 49\%$$

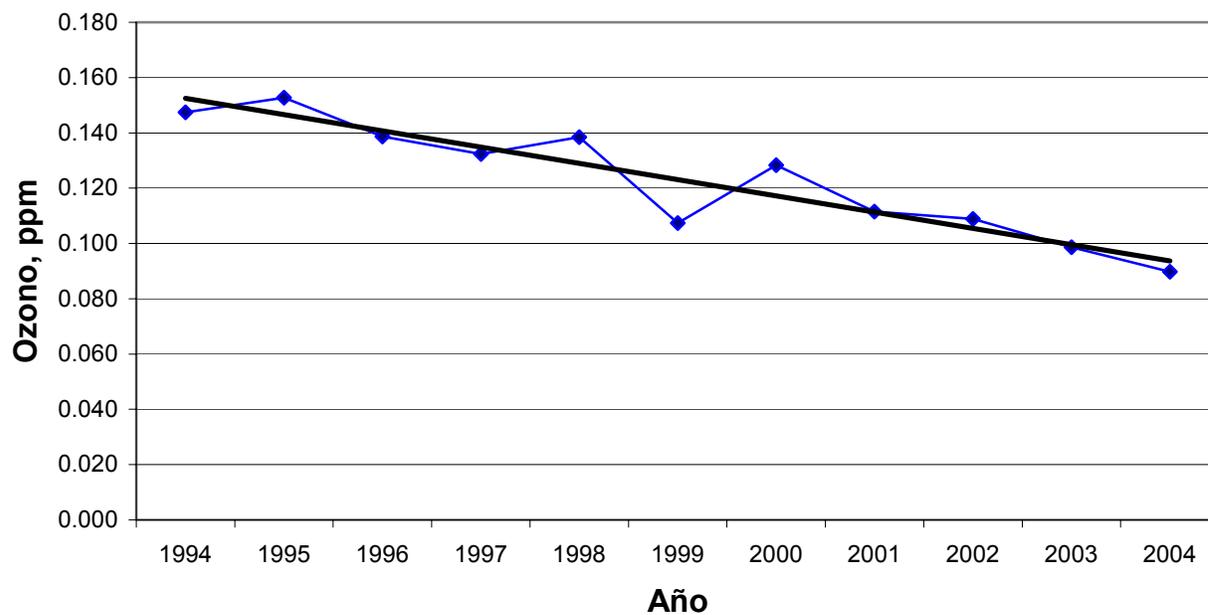


Tendencias anuales para los máximos promedio diario Estación Tacuba

$$y = -0.0059x + 0.1583$$

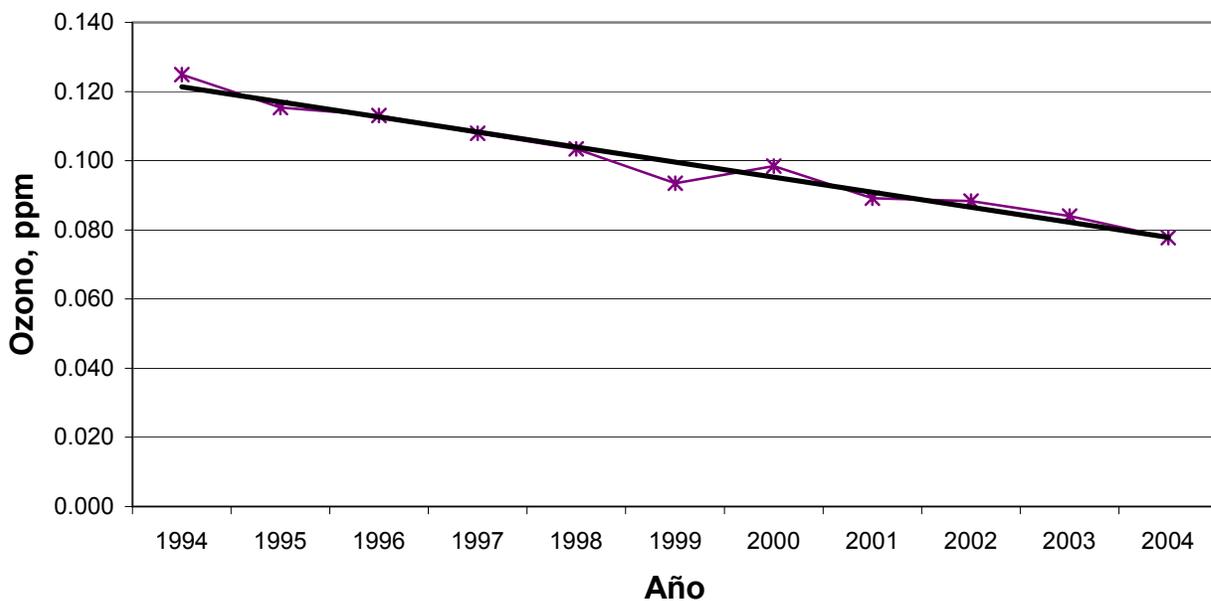
$$R^2 = 0.8712$$

$$R = 94\%$$



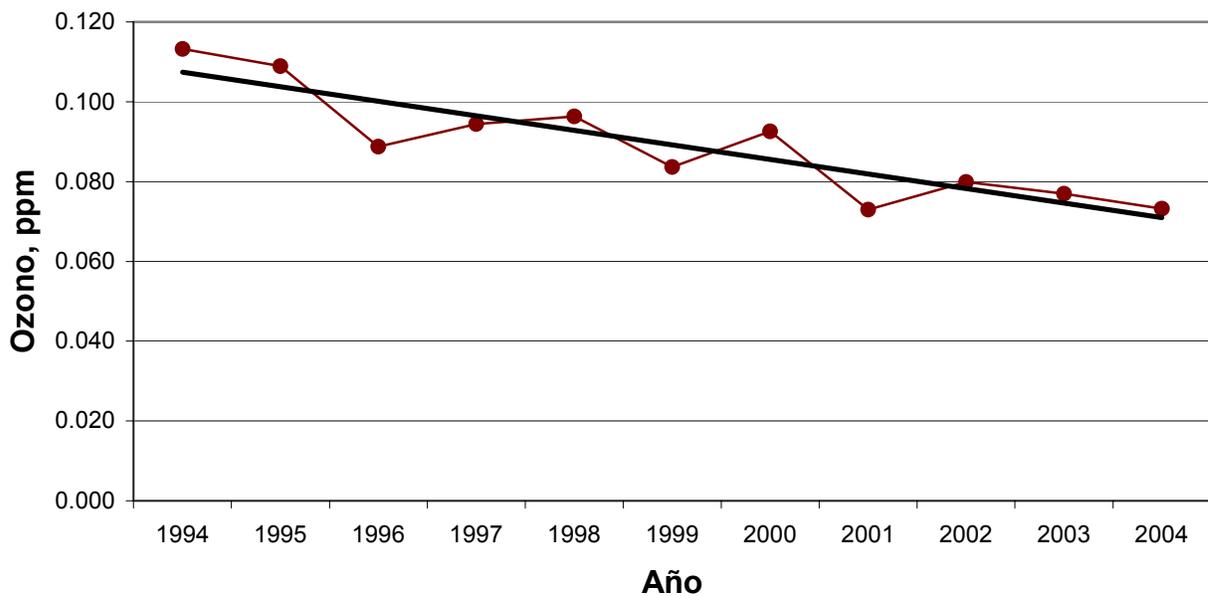
Tendencias anuales para los máximos promedio diario Estación Tlanepantla

$$y = -0.0043x + 0.1257$$
$$R^2 = 0.9658$$
$$R = 98 \%$$



Tendencias anuales para los máximos promedio diario Estación Xalostoc

$$y = -0.0036x + 0.1111$$
$$R^2 = 0.7936$$
$$R = 89 \%$$



ANEXO B

**Modelos de regresión por estación
de monitoreo**

Código del programa*

```
attach("F:\\vicente//_data2", pos=5)
options(object.size=60000000)
options(contrasts="contr.sum")
summary(basePEDvd)
ozonoPEDvd.m5_lm(log(ozonoPED)~rhPED+tmpPED+wspPED+CLASEwdrPED+Claveanio+Clavehora, data=basePEDvd[basePEDvd$ozonoPED>0.000,], x=T, na.action=na.exclude)
plot(ozonoPEDvd.m5$x[, 3], ozonoPEDvd.m5$residuals, pch=".")

varianza_rep(0, length(ozonoPEDvd.m5$residuals))
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<3]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<3])
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=3&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<6]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=3&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<6])
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=6&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<9]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=6&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<9])
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=9&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<12]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=9&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<12])
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=12&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<15]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=12&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<15])
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=15&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<18]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=15&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<18])
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=18&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<21]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=18&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<21])
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=21&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<24]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=21&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<24])
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=24&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<27]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=24&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<27])
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=27&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<30]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=27&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<30])
varianza[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=30&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<33]_var(ozonoPEDvd.m5$residuals[ozonoPEDvd.m5$x[, 3]>=30&ozonoPEDvd.m5$x[, 3]<33])
plot(ozonoPEDvd.m5$x[, 3], ozonoPEDvd.m5$residuals, pch=".")

ozonoPEDvd.m5_lm(log(ozonoPED)~rhPED+tmpPED+wspPED+CLASEwdrPED+Claveanio+Clavehora+Claveanio*rhPED+Claveanio*tmpPED+Claveanio*wspPED+Claveanio*CLASEwdrPED, data=basePEDvd[basePEDvd$ozonoPED>0.000,], x=T, na.action=na.exclude, weights=varianza)

summary(ozonoPEDvd.m5, cor=F)
```

* Se muestra el de la estación Cerro de la Estrella. Es similar para el resto

Resultados

Estación Cerro de la Estrella

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.343	-0.1544	0.01306	0.1736	1.328

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.1662	0.0199	-209.6635	0.0000
rhCES	-0.0088	0.0002	-51.4459	0.0000
tmpCES	0.0662	0.0008	80.3463	0.0000
wspCES	-0.1619	0.0041	-39.7543	0.0000
CLASEwdrCES1	-0.0348	0.0046	-7.5210	0.0000
CLASEwdrCES2	-0.1025	0.0050	-20.3739	0.0000
CLASEwdrCES3	0.0631	0.0045	13.9946	0.0000
Claveanio1	-0.4356	0.0502	-8.6848	0.0000
Claveanio2	-0.5298	0.0525	-10.0853	0.0000
Claveanio3	-0.3667	0.0540	-6.7909	0.0000
Claveanio4	0.3191	0.0599	5.3224	0.0000
Claveanio5	-0.6329	0.0645	-9.8126	0.0000
Claveanio6	0.9744	0.0612	15.9267	0.0000
Claveanio7	0.7531	0.0625	12.0530	0.0000
Claveanio8	0.7476	0.0514	14.5350	0.0000
Claveanio9	0.1415	0.0620	2.2808	0.0226
Claveanio10	-0.8379	0.0434	-19.3030	0.0000
Clavehora1	-0.1748	0.0082	-21.3973	0.0000
Clavehora2	0.3387	0.0081	41.6042	0.0000
Clavehora3	0.5750	0.0085	67.8280	0.0000
Clavehora4	0.5955	0.0090	66.1213	0.0000
Clavehora5	0.5149	0.0094	54.5714	0.0000
Clavehora6	0.4017	0.0096	42.0272	0.0000
Clavehora7	0.2824	0.0095	29.8134	0.0000
Clavehora8	0.1522	0.0092	16.4972	0.0000
Clavehora9	-0.0355	0.0088	-4.0379	0.0001
Clavehora10	-0.3318	0.0083	-39.8803	0.0000
Clavehora11	-0.6259	0.0081	-77.5434	0.0000
Clavehora12	-0.9726	0.0096	-101.3961	0.0000
rhCESClaveanio1	0.0034	0.0005	7.1135	0.0000
rhCESClaveanio2	0.0023	0.0005	4.5059	0.0000
rhCESClaveanio3	-0.0014	0.0005	-2.7548	0.0059
rhCESClaveanio4	-0.0121	0.0006	-21.7091	0.0000
rhCESClaveanio5	-0.0018	0.0006	-2.8905	0.0038
rhCESClaveanio6	0.0056	0.0005	11.2300	0.0000
rhCESClaveanio7	0.0057	0.0005	10.4063	0.0000
rhCESClaveanio8	-0.0026	0.0005	-5.2841	0.0000
rhCESClaveanio9	-0.0015	0.0007	-2.2090	0.0272
rhCESClaveanio10	0.0036	0.0005	7.3304	0.0000
tmpCESClaveanio1	0.0126	0.0021	5.9560	0.0000
tmpCESClaveanio2	0.0085	0.0021	4.0274	0.0001
tmpCESClaveanio3	0.0161	0.0020	8.2296	0.0000
tmpCESClaveanio4	0.0065	0.0020	3.2053	0.0014
tmpCESClaveanio5	0.0279	0.0022	12.8140	0.0000
tmpCESClaveanio6	-0.0380	0.0022	-17.5691	0.0000
tmpCESClaveanio7	-0.0287	0.0022	-12.9195	0.0000
tmpCESClaveanio8	-0.0245	0.0021	-11.9200	0.0000
tmpCESClaveanio9	-0.0053	0.0024	-2.2577	0.0240
tmpCESClaveanio10	0.0317	0.0018	17.9079	0.0000
wspCESClaveanio1	-0.0210	0.0130	-1.6210	0.1050
wspCESClaveanio2	0.0508	0.0120	4.2480	0.0000
wspCESClaveanio3	0.0109	0.0106	1.0298	0.3031
wspCESClaveanio4	0.0266	0.0100	2.6637	0.0077
wspCESClaveanio5	0.0366	0.0089	4.1273	0.0000
wspCESClaveanio6	-0.0227	0.0114	-1.9910	0.0465
wspCESClaveanio7	-0.0309	0.0107	-2.8839	0.0039
wspCESClaveanio8	-0.0311	0.0110	-2.8283	0.0047
wspCESClaveanio9	0.0132	0.0126	1.0410	0.2979
wspCESClaveanio10	-0.0335	0.0143	-2.3431	0.0191
CLASEwdrCES1Claveanio1	0.0793	0.0205	3.8593	0.0001
CLASEwdrCES2Claveanio1	0.0864	0.0140	6.1826	0.0000

CLASEwdrCES3Claveanio1	-0.1307	0.0131	-9.9580	0.0000
CLASEwdrCES1Claveanio2	-0.0649	0.0156	-4.1575	0.0000
CLASEwdrCES2Claveanio2	0.0856	0.0130	6.5704	0.0000
CLASEwdrCES3Claveanio2	-0.0153	0.0132	-1.1591	0.2464
CLASEwdrCES1Claveanio3	-0.0495	0.0133	-3.7161	0.0002
CLASEwdrCES2Claveanio3	0.0322	0.0119	2.6982	0.0070
CLASEwdrCES3Claveanio3	0.0264	0.0138	1.9101	0.0561
CLASEwdrCES1Claveanio4	-0.0569	0.0133	-4.2861	0.0000
CLASEwdrCES2Claveanio4	0.0040	0.0120	0.3312	0.7405
CLASEwdrCES3Claveanio4	0.0569	0.0133	4.2734	0.0000
CLASEwdrCES1Claveanio5	-0.0075	0.0132	-0.5692	0.5692
CLASEwdrCES2Claveanio5	-0.0177	0.0122	-1.4520	0.1465
CLASEwdrCES3Claveanio5	-0.0320	0.0134	-2.3840	0.0171
CLASEwdrCES1Claveanio6	0.0637	0.0151	4.2019	0.0000
CLASEwdrCES2Claveanio6	-0.0682	0.0282	-2.4176	0.0156
CLASEwdrCES3Claveanio6	-0.0094	0.0171	-0.5505	0.5820
CLASEwdrCES1Claveanio7	0.0460	0.0137	3.3596	0.0008
CLASEwdrCES2Claveanio7	-0.0549	0.0180	-3.0530	0.0023
CLASEwdrCES3Claveanio7	0.0963	0.0150	6.4183	0.0000
CLASEwdrCES1Claveanio8	0.0372	0.0131	2.8438	0.0045
CLASEwdrCES2Claveanio8	-0.0946	0.0150	-6.2954	0.0000
CLASEwdrCES3Claveanio8	0.0755	0.0138	5.4614	0.0000
CLASEwdrCES1Claveanio9	0.0063	0.0134	0.4743	0.6353
CLASEwdrCES2Claveanio9	-0.0190	0.0139	-1.3686	0.1711
CLASEwdrCES3Claveanio9	-0.0380	0.0138	-2.7611	0.0058
CLASEwdrCES1Claveanio10	-0.0537	0.0130	-4.1202	0.0000
CLASEwdrCES2Claveanio10	0.0259	0.0138	1.8737	0.0610
CLASEwdrCES3Claveanio10	0.0486	0.0132	3.6931	0.0002

Residual standard error: 0.2636 on 45934 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7606

F-statistic: 1658 on 88 and 45934 degrees of freedom, the p-value is 0

Warning messages:

2 rows with zero weights not counted in: summary.lm(ozonoCESvd.m1, cor = F)

Estación ENEP Acatlán

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.809	-0.1394	0.005641	0.1519	1.074

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.8325	0.0195	-196.5945	0.0000
rhEAC	-0.0082	0.0002	-50.3740	0.0000
tmpEAC	0.0554	0.0008	69.1365	0.0000
wspEAC	-0.0603	0.0024	-25.4525	0.0000
CLASEwdrEAC1	-0.0198	0.0055	-3.6296	0.0003
CLASEwdrEAC2	-0.0066	0.0045	-1.4520	0.1465
CLASEwdrEAC3	-0.0547	0.0045	-12.2573	0.0000
Claveanio1	-0.3029	0.0610	-4.9667	0.0000
Claveanio2	-0.3346	0.0468	-7.1508	0.0000
Claveanio3	-0.3518	0.0550	-6.4020	0.0000
Claveanio4	-0.5511	0.0520	-10.5914	0.0000
Claveanio5	-0.6686	0.0532	-12.5774	0.0000
Claveanio6	1.2764	0.0637	20.0262	0.0000
Claveanio7	0.6213	0.0535	11.6062	0.0000
Claveanio8	0.4930	0.0482	10.2309	0.0000
Claveanio9	0.1844	0.0526	3.5046	0.0005
Claveanio10	0.0182	0.0485	0.3751	0.7076
Clavehora1	-0.2571	0.0080	-32.2761	0.0000
Clavehora2	0.2220	0.0080	27.7822	0.0000
Clavehora3	0.4843	0.0083	58.6150	0.0000
Clavehora4	0.5602	0.0087	64.4799	0.0000
Clavehora5	0.5255	0.0091	57.8677	0.0000
Clavehora6	0.4384	0.0092	47.4047	0.0000
Clavehora7	0.3353	0.0092	36.4112	0.0000
Clavehora8	0.2056	0.0089	22.9822	0.0000

clavehora9	0.0105	0.0086	1.2163	0.2239
clavehora10	-0.3072	0.0082	-37.4791	0.0000
clavehora11	-0.5551	0.0079	-69.9161	0.0000
clavehora12	-0.9575	0.0093	-103.2480	0.0000
rhEAClaveanio1	-0.0008	0.0006	-1.3770	0.1685
rhEAClaveanio2	0.0006	0.0005	1.3876	0.1653
rhEAClaveanio3	0.0018	0.0005	3.4540	0.0006
rhEAClaveanio4	0.0023	0.0005	4.8393	0.0000
rhEAClaveanio5	0.0022	0.0005	4.5990	0.0000
rhEAClaveanio6	0.0014	0.0005	2.6499	0.0081
rhEAClaveanio7	0.0040	0.0005	8.7710	0.0000
rhEAClaveanio8	-0.0019	0.0005	-4.0837	0.0000
rhEAClaveanio9	-0.0026	0.0005	-5.2820	0.0000
rhEAClaveanio10	-0.0070	0.0006	-11.8101	0.0000
tmpEAClaveanio1	0.0121	0.0025	4.8004	0.0000
tmpEAClaveanio2	0.0099	0.0020	5.0221	0.0000
tmpEAClaveanio3	0.0056	0.0021	2.7396	0.0062
tmpEAClaveanio4	0.0083	0.0019	4.3717	0.0000
tmpEAClaveanio5	0.0153	0.0019	8.0815	0.0000
tmpEAClaveanio6	-0.0370	0.0022	-17.0277	0.0000
tmpEAClaveanio7	-0.0176	0.0020	-8.8029	0.0000
tmpEAClaveanio8	-0.0112	0.0020	-5.6307	0.0000
tmpEAClaveanio9	0.0034	0.0021	1.6141	0.1065
tmpEAClaveanio10	-0.0040	0.0018	-2.2163	0.0267
wspEAClaveanio1	0.0100	0.0072	1.3955	0.1629
wspEAClaveanio2	0.0399	0.0068	5.8750	0.0000
wspEAClaveanio3	0.0439	0.0062	7.0624	0.0000
wspEAClaveanio4	0.0627	0.0069	9.1339	0.0000
wspEAClaveanio5	0.0610	0.0062	9.8413	0.0000
wspEAClaveanio6	-0.1002	0.0068	-14.7871	0.0000
wspEAClaveanio7	-0.0921	0.0064	-14.3701	0.0000
wspEAClaveanio8	-0.0671	0.0072	-9.3376	0.0000
wspEAClaveanio9	-0.0263	0.0066	-3.9740	0.0001
wspEAClaveanio10	0.0269	0.0062	4.3288	0.0000
CLASEwdreAC1Claveanio1	-0.1155	0.0238	-4.8485	0.0000
CLASEwdreAC2Claveanio1	0.0342	0.0136	2.5166	0.0119
CLASEwdreAC3Claveanio1	0.0294	0.0144	2.0410	0.0413
CLASEwdreAC1Claveanio2	-0.0271	0.0134	-2.0209	0.0433
CLASEwdreAC2Claveanio2	-0.0134	0.0117	-1.1459	0.2519
CLASEwdreAC3Claveanio2	-0.0274	0.0127	-2.1608	0.0307
CLASEwdreAC1Claveanio3	0.0228	0.0130	1.7519	0.0798
CLASEwdreAC2Claveanio3	-0.0461	0.0148	-3.1084	0.0019
CLASEwdreAC3Claveanio3	-0.0039	0.0135	-0.2871	0.7740
CLASEwdreAC1Claveanio4	0.0196	0.0135	1.4567	0.1452
CLASEwdreAC2Claveanio4	-0.0210	0.0157	-1.3403	0.1801
CLASEwdreAC3Claveanio4	0.0032	0.0136	0.2364	0.8131
CLASEwdreAC1Claveanio5	0.0352	0.0127	2.7746	0.0055
CLASEwdreAC2Claveanio5	-0.0773	0.0134	-5.7769	0.0000
CLASEwdreAC3Claveanio5	-0.0128	0.0127	-1.0109	0.3121
CLASEwdreAC1Claveanio6	-0.0178	0.0127	-1.4031	0.1606
CLASEwdreAC2Claveanio6	0.0623	0.0142	4.3893	0.0000
CLASEwdreAC3Claveanio6	0.0417	0.0127	3.2961	0.0010
CLASEwdreAC1Claveanio7	0.0059	0.0132	0.4457	0.6558
CLASEwdreAC2Claveanio7	0.0057	0.0152	0.3769	0.7063
CLASEwdreAC3Claveanio7	0.1094	0.0136	8.0218	0.0000
CLASEwdreAC1Claveanio8	0.1031	0.0130	7.9030	0.0000
CLASEwdreAC2Claveanio8	0.0247	0.0143	1.7236	0.0848
CLASEwdreAC3Claveanio8	-0.0547	0.0156	-3.5136	0.0004
CLASEwdreAC1Claveanio9	0.0443	0.0127	3.4919	0.0005
CLASEwdreAC2Claveanio9	-0.0083	0.0134	-0.6222	0.5338
CLASEwdreAC3Claveanio9	-0.0905	0.0139	-6.5072	0.0000
CLASEwdreAC1Claveanio10	-0.0201	0.0165	-1.2202	0.2224
CLASEwdreAC2Claveanio10	0.0304	0.0121	2.5048	0.0123
CLASEwdreAC3Claveanio10	-0.0190	0.0130	-1.4624	0.1436

Residual standard error: 0.2408 on 44184 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.738

F-statistic: 1414 on 88 and 44184 degrees of freedom, the p-value is 0

Warning messages:

7 rows with zero weights not counted in: summary.lm(ozonoEACvd.m2, cor = F)

Estación Hangares

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.17	-0.15	0.01299	0.1682	1.3

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.8370	0.0197	-195.0000	0.0000
rhHAN	-0.0112	0.0002	-64.1654	0.0000
tmpHAN	0.0528	0.0008	67.8616	0.0000
wspHAN	-0.0652	0.0019	-35.0677	0.0000
CLASEwdrHAN1	0.1751	0.0044	39.6415	0.0000
CLASEwdrHAN2	0.2211	0.0044	50.0852	0.0000
CLASEwdrHAN3	-0.1826	0.0044	-41.8152	0.0000
Claveanio1	-0.6139	0.0440	-13.9415	0.0000
Claveanio2	-0.9371	0.0701	-13.3665	0.0000
Claveanio3	-1.1108	0.0527	-21.0720	0.0000
Claveanio4	-0.1731	0.0512	-3.3839	0.0007
Claveanio5	-0.8422	0.0525	-16.0379	0.0000
Claveanio6	0.7034	0.0641	10.9679	0.0000
Claveanio7	1.4116	0.0640	22.0419	0.0000
Claveanio8	0.9342	0.0554	16.8695	0.0000
Claveanio9	0.2545	0.0664	3.8342	0.0001
Claveanio10	0.1712	0.0471	3.6373	0.0003
Clavehora1	-0.1235	0.0081	-15.1788	0.0000
Clavehora2	0.3501	0.0080	43.5596	0.0000
Clavehora3	0.5634	0.0083	67.6924	0.0000
Clavehora4	0.6017	0.0088	68.4471	0.0000
Clavehora5	0.5336	0.0092	58.1751	0.0000
Clavehora6	0.4292	0.0093	46.1445	0.0000
Clavehora7	0.3300	0.0092	35.9137	0.0000
Clavehora8	0.1998	0.0090	22.2803	0.0000
Clavehora9	-0.0015	0.0087	-0.1760	0.8603
Clavehora10	-0.3690	0.0084	-43.9799	0.0000
Clavehora11	-0.7060	0.0080	-87.9900	0.0000
Clavehora12	-1.0921	0.0094	-115.7908	0.0000
rhHANClaveanio1	-0.0011	0.0005	-2.2901	0.0220
rhHANClaveanio2	0.0027	0.0007	4.0057	0.0001
rhHANClaveanio3	0.0043	0.0004	9.6028	0.0000
rhHANClaveanio4	-0.0052	0.0005	-9.9609	0.0000
rhHANClaveanio5	0.0041	0.0005	8.7981	0.0000
rhHANClaveanio6	0.0061	0.0006	10.1479	0.0000
rhHANClaveanio7	0.0001	0.0005	0.1965	0.8442
rhHANClaveanio8	-0.0033	0.0005	-6.9197	0.0000
rhHANClaveanio9	-0.0008	0.0006	-1.4865	0.1371
rhHANClaveanio10	0.0026	0.0004	5.9538	0.0000
tmpHANClaveanio1	0.0178	0.0019	9.4835	0.0000
tmpHANClaveanio2	0.0261	0.0024	11.0364	0.0000
tmpHANClaveanio3	0.0397	0.0020	20.2222	0.0000
tmpHANClaveanio4	0.0093	0.0018	5.1388	0.0000
tmpHANClaveanio5	0.0199	0.0018	10.9361	0.0000
tmpHANClaveanio6	-0.0308	0.0023	-13.3003	0.0000
tmpHANClaveanio7	-0.0462	0.0022	-21.1820	0.0000
tmpHANClaveanio8	-0.0260	0.0021	-12.2680	0.0000
tmpHANClaveanio9	0.0044	0.0023	1.9186	0.0550
tmpHANClaveanio10	-0.0096	0.0017	-5.6233	0.0000
wspHANClaveanio1	0.0265	0.0049	5.4635	0.0000
wspHANClaveanio2	0.0364	0.0051	7.0940	0.0000
wspHANClaveanio3	0.0136	0.0058	2.3563	0.0185
wspHANClaveanio4	0.0357	0.0062	5.7757	0.0000
wspHANClaveanio5	0.0217	0.0060	3.6147	0.0003
wspHANClaveanio6	-0.0208	0.0056	-3.7186	0.0002
wspHANClaveanio7	-0.0521	0.0048	-10.8993	0.0000
wspHANClaveanio8	-0.0216	0.0045	-4.8258	0.0000
wspHANClaveanio9	-0.0314	0.0039	-7.9558	0.0000
wspHANClaveanio10	-0.0068	0.0043	-1.5690	0.1167
CLASEwdrHAN1Claveanio1	0.0250	0.0136	1.8357	0.0664
CLASEwdrHAN2Claveanio1	0.0087	0.0126	0.6914	0.4893
CLASEwdrHAN3Claveanio1	0.0530	0.0130	4.0880	0.0000
CLASEwdrHAN1Claveanio2	0.0668	0.0133	5.0061	0.0000

CLASEwdrHAN2Claveanio2	0.0163	0.0132	1.2301	0.2187
CLASEwdrHAN3Claveanio2	-0.0652	0.0131	-4.9862	0.0000
CLASEwdrHAN1Claveanio3	0.0886	0.0146	6.0617	0.0000
CLASEwdrHAN2Claveanio3	0.0018	0.0135	0.1360	0.8918
CLASEwdrHAN3Claveanio3	-0.0633	0.0134	-4.7339	0.0000
CLASEwdrHAN1Claveanio4	0.0508	0.0130	3.9128	0.0001
CLASEwdrHAN2Claveanio4	0.0327	0.0134	2.4473	0.0144
CLASEwdrHAN3Claveanio4	-0.0624	0.0139	-4.4947	0.0000
CLASEwdrHAN1Claveanio5	0.0805	0.0130	6.1902	0.0000
CLASEwdrHAN2Claveanio5	0.0407	0.0130	3.1259	0.0018
CLASEwdrHAN3Claveanio5	-0.0918	0.0123	-7.4877	0.0000
CLASEwdrHAN1Claveanio6	-0.0214	0.0137	-1.5581	0.1192
CLASEwdrHAN2Claveanio6	-0.0656	0.0185	-3.5466	0.0004
CLASEwdrHAN3Claveanio6	-0.1413	0.0194	-7.2952	0.0000
CLASEwdrHAN1Claveanio7	-0.0884	0.0126	-6.9919	0.0000
CLASEwdrHAN2Claveanio7	-0.1229	0.0149	-8.2614	0.0000
CLASEwdrHAN3Claveanio7	0.0103	0.0140	0.7344	0.4627
CLASEwdrHAN1Claveanio8	0.0277	0.0125	2.2197	0.0264
CLASEwdrHAN2Claveanio8	-0.0036	0.0133	-0.2743	0.7839
CLASEwdrHAN3Claveanio8	-0.0371	0.0129	-2.8795	0.0040
CLASEwdrHAN1Claveanio9	0.0396	0.0131	3.0187	0.0025
CLASEwdrHAN2Claveanio9	0.0659	0.0140	4.7238	0.0000
CLASEwdrHAN3Claveanio9	-0.0312	0.0125	-2.4914	0.0127
CLASEwdrHAN1Claveanio10	-0.1579	0.0177	-8.9181	0.0000
CLASEwdrHAN2Claveanio10	-0.0266	0.0125	-2.1261	0.0335
CLASEwdrHAN3Claveanio10	0.2338	0.0125	18.7675	0.0000

Residual standard error: 0.2657 on 47125 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7593

F-statistic: 1689 on 88 and 47125 degrees of freedom, the p-value is 0

Warning messages:

22 rows with zero weights not counted in: summary.lm(ozonoHANvd.m3, cor = F)

Estación Merced

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.931	-0.1624	0.01363	0.1767	1.326

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.1032	0.0203	-202.4134	0.0000
rhMER	-0.0112	0.0002	-65.2724	0.0000
tmpMER	0.0704	0.0008	86.0959	0.0000
wspMER	-0.1234	0.0030	-41.7334	0.0000
CLASEwdrMER1	-0.0005	0.0048	-0.1038	0.9173
CLASEwdrMER2	0.1057	0.0063	16.6944	0.0000
CLASEwdrMER3	0.0624	0.0047	13.2519	0.0000
Claveanio1	-0.3941	0.0599	-6.5799	0.0000
Claveanio2	-0.9179	0.0552	-16.6427	0.0000
Claveanio3	-0.1279	0.0619	-2.0686	0.0386
Claveanio4	-0.7940	0.0569	-13.9528	0.0000
Claveanio5	-0.4298	0.0596	-7.2051	0.0000
Claveanio6	2.0812	0.0743	28.0249	0.0000
Claveanio7	0.1053	0.0566	1.8614	0.0627
Claveanio8	0.4412	0.0566	7.7934	0.0000
Claveanio9	0.7290	0.0613	11.8986	0.0000
Claveanio10	-0.3383	0.0440	-7.6847	0.0000
Clavehora1	-0.1797	0.0082	-21.8299	0.0000
Clavehora2	0.3620	0.0081	44.6018	0.0000
Clavehora3	0.6389	0.0084	76.2252	0.0000
Clavehora4	0.6840	0.0089	77.2399	0.0000
Clavehora5	0.5994	0.0092	64.8603	0.0000
Clavehora6	0.4511	0.0094	47.9489	0.0000
Clavehora7	0.3035	0.0094	32.4282	0.0000
Clavehora8	0.1361	0.0091	14.8929	0.0000

Clavehora9	-0.0883	0.0089	-9.9738	0.0000
Clavehora10	-0.4601	0.0085	-53.8302	0.0000
Clavehora11	-0.7719	0.0082	-93.9256	0.0000
Clavehora12	-0.9453	0.0094	-100.4290	0.0000
rhMERClaveanio1	0.0034	0.0005	6.8092	0.0000
rhMERClaveanio2	0.0035	0.0005	7.2732	0.0000
rhMERClaveanio3	-0.0075	0.0006	-13.2072	0.0000
rhMERClaveanio4	0.0015	0.0005	2.8482	0.0044
rhMERClaveanio5	-0.0055	0.0006	-10.0619	0.0000
rhMERClaveanio6	-0.0039	0.0006	-6.0719	0.0000
rhMERClaveanio7	0.0127	0.0005	26.2889	0.0000
rhMERClaveanio8	-0.0005	0.0006	-0.8532	0.3936
rhMERClaveanio9	-0.0071	0.0006	-12.6362	0.0000
rhMERClaveanio10	0.0024	0.0004	5.3150	0.0000
tmpMERClaveanio1	0.0107	0.0025	4.2829	0.0000
tmpMERClaveanio2	0.0331	0.0021	15.6334	0.0000
tmpMERClaveanio3	0.0127	0.0021	5.9060	0.0000
tmpMERClaveanio4	0.0237	0.0020	11.9894	0.0000
tmpMERClaveanio5	0.0132	0.0021	6.3259	0.0000
tmpMERClaveanio6	-0.0676	0.0026	-26.4165	0.0000
tmpMERClaveanio7	-0.0097	0.0021	-4.6855	0.0000
tmpMERClaveanio8	-0.0135	0.0020	-6.7650	0.0000
tmpMERClaveanio9	-0.0120	0.0021	-5.7994	0.0000
tmpMERClaveanio10	-0.0091	0.0017	-5.2966	0.0000
wspMERClaveanio1	0.0268	0.0086	3.1105	0.0019
wspMERClaveanio2	0.0175	0.0088	2.0035	0.0451
wspMERClaveanio3	0.0327	0.0086	3.8046	0.0001
wspMERClaveanio4	0.0133	0.0085	1.5690	0.1167
wspMERClaveanio5	0.0567	0.0080	7.0838	0.0000
wspMERClaveanio6	-0.0533	0.0080	-6.6448	0.0000
wspMERClaveanio7	-0.0721	0.0076	-9.4631	0.0000
wspMERClaveanio8	-0.0291	0.0079	-3.6861	0.0002
wspMERClaveanio9	-0.0191	0.0074	-2.5863	0.0097
wspMERClaveanio10	0.0515	0.0075	6.8788	0.0000
CLASEwdrMER1Claveanio1	0.0086	0.0137	0.6260	0.5313
CLASEwdrMER2Claveanio1	0.0138	0.0141	0.9745	0.3298
CLASEwdrMER3Claveanio1	-0.0265	0.0155	-1.7054	0.0881
CLASEwdrMER1Claveanio2	0.0546	0.0135	4.0348	0.0001
CLASEwdrMER2Claveanio2	-0.0228	0.0135	-1.6916	0.0907
CLASEwdrMER3Claveanio2	-0.0075	0.0137	-0.5448	0.5859
CLASEwdrMER1Claveanio3	0.0286	0.0128	2.2449	0.0248
CLASEwdrMER2Claveanio3	0.0383	0.0134	2.8503	0.0044
CLASEwdrMER3Claveanio3	0.0360	0.0152	2.3639	0.0181
CLASEwdrMER1Claveanio4	0.0116	0.0129	0.8994	0.3684
CLASEwdrMER2Claveanio4	-0.0302	0.0146	-2.0766	0.0378
CLASEwdrMER3Claveanio4	0.0440	0.0158	2.7790	0.0055
CLASEwdrMER1Claveanio5	0.0404	0.0132	3.0627	0.0022
CLASEwdrMER2Claveanio5	-0.0102	0.0141	-0.7243	0.4689
CLASEwdrMER3Claveanio5	-0.0233	0.0143	-1.6305	0.1030
CLASEwdrMER1Claveanio6	-0.0335	0.0252	-1.3293	0.1838
CLASEwdrMER2Claveanio6	-0.1393	0.0483	-2.8815	0.0040
CLASEwdrMER3Claveanio6	-0.0565	0.0197	-2.8661	0.0042
CLASEwdrMER1Claveanio7	-0.1239	0.0144	-8.5957	0.0000
CLASEwdrMER2Claveanio7	-0.0789	0.0155	-5.0980	0.0000
CLASEwdrMER3Claveanio7	0.0655	0.0118	5.5557	0.0000
CLASEwdrMER1Claveanio8	0.0392	0.0125	3.1266	0.0018
CLASEwdrMER2Claveanio8	-0.0228	0.0154	-1.4825	0.1382
CLASEwdrMER3Claveanio8	-0.0313	0.0126	-2.4890	0.0128
CLASEwdrMER1Claveanio9	0.0387	0.0140	2.7573	0.0058
CLASEwdrMER2Claveanio9	0.0747	0.0142	5.2436	0.0000
CLASEwdrMER3Claveanio9	-0.0314	0.0130	-2.4129	0.0158
CLASEwdrMER1Claveanio10	-0.0646	0.0146	-4.4337	0.0000
CLASEwdrMER2Claveanio10	0.0870	0.0138	6.3160	0.0000
CLASEwdrMER3Claveanio10	0.0606	0.0134	4.5053	0.0000

Residual standard error: 0.2731 on 47358 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7766

F-statistic: 1871 on 88 and 47358 degrees of freedom, the p-value is 0

Warning messages:

24 rows with zero weights not counted in: summary.lm(ozonoMERvd.m4, cor = F)

Estación Pedregal

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.757	-0.167	0.01466	0.1822	1.349

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.6767	0.0196	-187.8788	0.0000
rhPED	-0.0128	0.0002	-75.5484	0.0000
tmpPED	0.0614	0.0008	73.8130	0.0000
wspPED	-0.0711	0.0033	-21.8258	0.0000
CLASEwdrPED1	0.0167	0.0048	3.4660	0.0005
CLASEwdrPED2	0.0432	0.0045	9.5103	0.0000
CLASEwdrPED3	0.0188	0.0046	4.0705	0.0000
Claveanio1	-1.0746	0.0484	-22.2069	0.0000
Claveanio2	0.2482	0.0550	4.5148	0.0000
Claveanio3	-0.7227	0.0575	-12.5591	0.0000
Claveanio4	-0.6116	0.0587	-10.4258	0.0000
Claveanio5	0.3438	0.0583	5.8968	0.0000
Claveanio6	0.5467	0.0448	12.2108	0.0000
Claveanio7	0.7453	0.0548	13.5904	0.0000
Claveanio8	0.2507	0.0514	4.8805	0.0000
Claveanio9	-0.0784	0.0594	-1.3210	0.1865
Claveanio10	-0.1856	0.0561	-3.3112	0.0009
Clavehora1	-0.2680	0.0082	-32.7143	0.0000
Clavehora2	0.2230	0.0083	26.8315	0.0000
Clavehora3	0.5007	0.0087	57.6192	0.0000
Clavehora4	0.6276	0.0091	68.8661	0.0000
Clavehora5	0.6206	0.0094	65.6814	0.0000
Clavehora6	0.5283	0.0096	55.3186	0.0000
Clavehora7	0.4048	0.0095	42.8048	0.0000
Clavehora8	0.2502	0.0092	27.1880	0.0000
Clavehora9	0.0287	0.0088	3.2656	0.0011
Clavehora10	-0.3338	0.0084	-39.8729	0.0000
Clavehora11	-0.6576	0.0081	-80.8531	0.0000
Clavehora12	-1.1221	0.0092	-122.0981	0.0000
rhPEDClaveanio1	0.0066	0.0005	12.4586	0.0000
rhPEDClaveanio2	-0.0033	0.0005	-6.7773	0.0000
rhPEDClaveanio3	0.0027	0.0005	5.3128	0.0000
rhPEDClaveanio4	0.0015	0.0006	2.6111	0.0090
rhPEDClaveanio5	-0.0054	0.0006	-9.7037	0.0000
rhPEDClaveanio6	0.0089	0.0003	25.4652	0.0000
rhPEDClaveanio7	0.0022	0.0005	4.5474	0.0000
rhPEDClaveanio8	0.0001	0.0005	0.1141	0.9091
rhPEDClaveanio9	0.0020	0.0005	3.7214	0.0002
rhPEDClaveanio10	-0.0035	0.0006	-5.4335	0.0000
tmpPEDClaveanio1	0.0444	0.0022	20.2349	0.0000
tmpPEDClaveanio2	-0.0150	0.0022	-6.8029	0.0000
tmpPEDClaveanio3	0.0263	0.0022	12.2034	0.0000
tmpPEDClaveanio4	0.0163	0.0021	7.8327	0.0000
tmpPEDClaveanio5	-0.0168	0.0021	-8.1504	0.0000
tmpPEDClaveanio6	-0.0317	0.0020	-15.5312	0.0000
tmpPEDClaveanio7	-0.0250	0.0022	-11.3890	0.0000
tmpPEDClaveanio8	-0.0060	0.0022	-2.7828	0.0054
tmpPEDClaveanio9	0.0053	0.0024	2.2434	0.0249
tmpPEDClaveanio10	0.0050	0.0021	2.3380	0.0194
wspPEDClaveanio1	-0.0328	0.0101	-3.2564	0.0011
wspPEDClaveanio2	0.0312	0.0109	2.8595	0.0042
wspPEDClaveanio3	0.0852	0.0100	8.5378	0.0000
wspPEDClaveanio4	0.0515	0.0108	4.7852	0.0000
wspPEDClaveanio5	0.0414	0.0104	4.0026	0.0001
wspPEDClaveanio6	-0.0087	0.0066	-1.3230	0.1858
wspPEDClaveanio7	-0.0553	0.0082	-6.7779	0.0000
wspPEDClaveanio8	-0.0478	0.0103	-4.6532	0.0000
wspPEDClaveanio9	-0.0204	0.0102	-2.0110	0.0443
wspPEDClaveanio10	-0.0133	0.0100	-1.3309	0.1832
CLASEwdrPED1Claveanio1	0.0197	0.0132	1.4916	0.1358
CLASEwdrPED2Claveanio1	0.0274	0.0139	1.9663	0.0493
CLASEwdrPED3Claveanio1	0.0059	0.0150	0.3965	0.6917
CLASEwdrPED1Claveanio2	0.0130	0.0130	1.0023	0.3162

CLASEwdrPED2Claveanio2	0.0065	0.0144	0.4554	0.6489
CLASEwdrPED3Claveanio2	-0.0125	0.0143	-0.8741	0.3821
CLASEwdrPED1Claveanio3	-0.0349	0.0138	-2.5258	0.0115
CLASEwdrPED2Claveanio3	0.0550	0.0128	4.2804	0.0000
CLASEwdrPED3Claveanio3	-0.0366	0.0144	-2.5382	0.0111
CLASEwdrPED1Claveanio4	-0.0264	0.0134	-1.9696	0.0489
CLASEwdrPED2Claveanio4	0.0276	0.0138	2.0059	0.0449
CLASEwdrPED3Claveanio4	0.0130	0.0155	0.8410	0.4004
CLASEwdrPED1Claveanio5	-0.0578	0.0137	-4.2114	0.0000
CLASEwdrPED2Claveanio5	0.0394	0.0131	2.9938	0.0028
CLASEwdrPED3Claveanio5	0.0026	0.0142	0.1834	0.8545
CLASEwdrPED1Claveanio6	-0.0452	0.0192	-2.3577	0.0184
CLASEwdrPED2Claveanio6	0.0228	0.0143	1.5949	0.1107
CLASEwdrPED3Claveanio6	-0.0488	0.0129	-3.7994	0.0001
CLASEwdrPED1Claveanio7	0.0125	0.0155	0.8085	0.4188
CLASEwdrPED2Claveanio7	-0.1446	0.0130	-11.0828	0.0000
CLASEwdrPED3Claveanio7	0.0296	0.0124	2.3839	0.0171
CLASEwdrPED1Claveanio8	-0.1483	0.0203	-7.3199	0.0000
CLASEwdrPED2Claveanio8	-0.1442	0.0138	-10.4574	0.0000
CLASEwdrPED3Claveanio8	0.2060	0.0129	15.9301	0.0000
CLASEwdrPED1Claveanio9	0.0621	0.0142	4.3850	0.0000
CLASEwdrPED2Claveanio9	0.0410	0.0137	2.9884	0.0028
CLASEwdrPED3Claveanio9	-0.0675	0.0138	-4.9080	0.0000
CLASEwdrPED1Claveanio10	0.1450	0.0133	10.9158	0.0000
CLASEwdrPED2Claveanio10	0.0140	0.0169	0.8287	0.4073
CLASEwdrPED3Claveanio10	-0.0895	0.0142	-6.3004	0.0000

Residual standard error: 0.2874 on 49763 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7542

F-statistic: 1735 on 88 and 49763 degrees of freedom, the p-value is 0

Warning messages:

1 rows with zero weights not counted in: summary.lm(ozonoPEDvd.m5, cor = F)

Estación Plateros

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.968	-0.1679	0.01494	0.1821	1.327

Coefficients:

	value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.9911	0.0206	-193.8278	0.0000
rhPLA	-0.0117	0.0002	-62.9994	0.0000
tmpPLA	0.0674	0.0009	79.2301	0.0000
wspPLA	-0.0839	0.0031	-27.3488	0.0000
CLASEwdrPLA1	0.0451	0.0047	9.5576	0.0000
CLASEwdrPLA2	-0.0140	0.0047	-2.9623	0.0031
CLASEwdrPLA3	-0.0073	0.0045	-1.6074	0.1080
Claveanio1	-0.2197	0.0492	-4.4668	0.0000
Claveanio2	-0.7283	0.0510	-14.2926	0.0000
Claveanio3	-1.1190	0.0617	-18.1214	0.0000
Claveanio4	-0.8897	0.0569	-15.6306	0.0000
Claveanio5	-0.4618	0.0609	-7.5811	0.0000
Claveanio6	1.1681	0.0747	15.6396	0.0000
Claveanio7	1.8081	0.0637	28.3705	0.0000
Claveanio8	0.5228	0.0542	9.6548	0.0000
Claveanio9	0.1675	0.0521	3.2141	0.0013
Claveanio10	-0.3803	0.0583	-6.5275	0.0000
Clavehora1	-0.3709	0.0081	-45.6086	0.0000
Clavehora2	0.1719	0.0082	20.9874	0.0000
Clavehora3	0.5106	0.0086	59.5961	0.0000
Clavehora4	0.6439	0.0090	71.2017	0.0000
Clavehora5	0.6359	0.0094	67.5521	0.0000
Clavehora6	0.5362	0.0095	56.1914	0.0000
Clavehora7	0.4025	0.0094	42.6761	0.0000
Clavehora8	0.2468	0.0092	26.9620	0.0000
Clavehora9	0.0416	0.0088	4.7306	0.0000
Clavehora10	-0.3231	0.0084	-38.6064	0.0000
Clavehora11	-0.6636	0.0081	-81.6885	0.0000

Clavehora12	-0.9909	0.0092	-107.2209	0.0000
rhPLAClaveanio1	-0.0021	0.0005	-4.0676	0.0000
rhPLAClaveanio2	0.0059	0.0005	12.7012	0.0000
rhPLAClaveanio3	0.0063	0.0006	11.0720	0.0000
rhPLAClaveanio4	0.0038	0.0005	7.2990	0.0000
rhPLAClaveanio5	0.0033	0.0005	6.1570	0.0000
rhPLAClaveanio6	0.0010	0.0006	1.6406	0.1009
rhPLAClaveanio7	-0.0024	0.0005	-4.7445	0.0000
rhPLAClaveanio8	0.0020	0.0005	3.9535	0.0001
rhPLAClaveanio9	-0.0014	0.0005	-2.7917	0.0052
rhPLAClaveanio10	-0.0048	0.0008	-6.1740	0.0000
tmpPLAClaveanio1	0.0101	0.0022	4.5553	0.0000
tmpPLAClaveanio2	0.0300	0.0022	13.6016	0.0000
tmpPLAClaveanio3	0.0354	0.0023	15.0718	0.0000
tmpPLAClaveanio4	0.0236	0.0021	11.1403	0.0000
tmpPLAClaveanio5	0.0085	0.0023	3.7214	0.0002
tmpPLAClaveanio6	-0.0313	0.0026	-11.8952	0.0000
tmpPLAClaveanio7	-0.0617	0.0024	-25.5214	0.0000
tmpPLAClaveanio8	-0.0192	0.0022	-8.7599	0.0000
tmpPLAClaveanio9	-0.0119	0.0021	-5.6036	0.0000
tmpPLAClaveanio10	0.0043	0.0021	2.0118	0.0442
wspPLAClaveanio1	-0.0079	0.0086	-0.9254	0.3548
wspPLAClaveanio2	-0.0219	0.0098	-2.2346	0.0254
wspPLAClaveanio3	0.0249	0.0092	2.7163	0.0066
wspPLAClaveanio4	0.0770	0.0101	7.6048	0.0000
wspPLAClaveanio5	0.0546	0.0092	5.9314	0.0000
wspPLAClaveanio6	-0.0731	0.0088	-8.3142	0.0000
wspPLAClaveanio7	-0.0966	0.0084	-11.5081	0.0000
wspPLAClaveanio8	-0.0135	0.0079	-1.7002	0.0891
wspPLAClaveanio9	0.0244	0.0080	3.0401	0.0024
wspPLAClaveanio10	0.0451	0.0084	5.3642	0.0000
CLASEwdrPLA1Claveanio1	-0.0175	0.0139	-1.2577	0.2085
CLASEwdrPLA2Claveanio1	0.0196	0.0122	1.6058	0.1083
CLASEwdrPLA3Claveanio1	0.0490	0.0142	3.4575	0.0005
CLASEwdrPLA1Claveanio2	-0.1045	0.0195	-5.3536	0.0000
CLASEwdrPLA2Claveanio2	-0.0028	0.0141	-0.1982	0.8429
CLASEwdrPLA3Claveanio2	0.0482	0.0164	2.9363	0.0033
CLASEwdrPLA1Claveanio3	0.0466	0.0129	3.6293	0.0003
CLASEwdrPLA2Claveanio3	-0.0486	0.0146	-3.3236	0.0009
CLASEwdrPLA3Claveanio3	-0.0420	0.0138	-3.0506	0.0023
CLASEwdrPLA1Claveanio4	-0.0576	0.0125	-4.5919	0.0000
CLASEwdrPLA2Claveanio4	0.0348	0.0164	2.1198	0.0340
CLASEwdrPLA3Claveanio4	-0.0296	0.0142	-2.0878	0.0368
CLASEwdrPLA1Claveanio5	-0.0103	0.0133	-0.7733	0.4394
CLASEwdrPLA2Claveanio5	0.0146	0.0139	1.0487	0.2943
CLASEwdrPLA3Claveanio5	0.0050	0.0130	0.3864	0.6992
CLASEwdrPLA1Claveanio6	-0.0011	0.0188	-0.0600	0.9522
CLASEwdrPLA2Claveanio6	-0.0762	0.0206	-3.7073	0.0002
CLASEwdrPLA3Claveanio6	0.0226	0.0128	1.7682	0.0770
CLASEwdrPLA1Claveanio7	0.0203	0.0140	1.4452	0.1484
CLASEwdrPLA2Claveanio7	-0.0175	0.0161	-1.0892	0.2761
CLASEwdrPLA3Claveanio7	0.0470	0.0129	3.6342	0.0003
CLASEwdrPLA1Claveanio8	0.0719	0.0131	5.4937	0.0000
CLASEwdrPLA2Claveanio8	-0.0228	0.0135	-1.6874	0.0915
CLASEwdrPLA3Claveanio8	-0.0626	0.0137	-4.5759	0.0000
CLASEwdrPLA1Claveanio9	0.0111	0.0136	0.8126	0.4164
CLASEwdrPLA2Claveanio9	-0.0252	0.0130	-1.9413	0.0522
CLASEwdrPLA3Claveanio9	-0.0267	0.0136	-1.9550	0.0506
CLASEwdrPLA1Claveanio10	0.0280	0.0144	1.9515	0.0510
CLASEwdrPLA2Claveanio10	0.0939	0.0141	6.6802	0.0000
CLASEwdrPLA3Claveanio10	-0.0124	0.0140	-0.8873	0.3749

Residual standard error: 0.2854 on 50068 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.758

F-statistic: 1782 on 88 and 50068 degrees of freedom, the p-value is 0

Warning messages:

4 rows with zero weights not counted in: summary.lm(ozonoPLAvd.m6, cor = F)

Estación San Agustín

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.728	-0.1029	0.009377	0.1145	1.554

Coefficients:

	value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.7046	0.0159	-233.6522	0.0000
rhSAG	-0.0085	0.0002	-52.1841	0.0000
tmpSAG	0.0488	0.0006	75.4249	0.0000
wspSAG	-0.0786	0.0022	-36.2390	0.0000
CLASEwdrSAG1	-0.0169	0.0039	-4.3299	0.0000
CLASEwdrSAG2	-0.0593	0.0040	-14.8402	0.0000
CLASEwdrSAG3	0.0211	0.0043	4.9352	0.0000
Claveanio1	-0.3429	0.0349	-9.8186	0.0000
Claveanio2	-0.2752	0.0404	-6.8088	0.0000
Claveanio3	0.1531	0.0459	3.3351	0.0009
Claveanio4	-1.0101	0.0666	-15.1629	0.0000
Claveanio5	-0.9366	0.0534	-17.5264	0.0000
Claveanio6	0.4250	0.0534	7.9637	0.0000
Claveanio7	0.9764	0.0483	20.2007	0.0000
Claveanio8	0.7805	0.0349	22.3689	0.0000
Claveanio9	0.4362	0.0459	9.5049	0.0000
Claveanio10	-0.2988	0.0323	-9.2622	0.0000
Clavehora1	-0.1305	0.0074	-17.6145	0.0000
Clavehora2	0.2996	0.0074	40.3301	0.0000
Clavehora3	0.4514	0.0077	58.4807	0.0000
Clavehora4	0.4422	0.0082	53.9765	0.0000
Clavehora5	0.3753	0.0086	43.4416	0.0000
Clavehora6	0.3084	0.0089	34.7647	0.0000
Clavehora7	0.2558	0.0088	28.9776	0.0000
Clavehora8	0.1796	0.0086	20.8030	0.0000
Clavehora9	0.0486	0.0084	5.8078	0.0000
Clavehora10	-0.1999	0.0079	-25.2428	0.0000
Clavehora11	-0.4377	0.0076	-57.8125	0.0000
Clavehora12	-0.9452	0.0082	-114.9152	0.0000
rhSAGClaveanio1	-0.0009	0.0004	-2.2212	0.0263
rhSAGClaveanio2	0.0024	0.0004	6.0063	0.0000
rhSAGClaveanio3	-0.0068	0.0005	-12.9239	0.0000
rhSAGClaveanio4	0.0032	0.0008	3.9902	0.0001
rhSAGClaveanio5	-0.0009	0.0006	-1.5925	0.1113
rhSAGClaveanio6	0.0088	0.0005	16.7627	0.0000
rhSAGClaveanio7	0.0007	0.0005	1.6273	0.1037
rhSAGClaveanio8	-0.0046	0.0004	-11.7348	0.0000
rhSAGClaveanio9	-0.0024	0.0004	-5.4227	0.0000
rhSAGClaveanio10	0.0060	0.0003	19.8099	0.0000
tmpSAGClaveanio1	0.0165	0.0016	10.4712	0.0000
tmpSAGClaveanio2	0.0121	0.0016	7.3565	0.0000
tmpSAGClaveanio3	0.0007	0.0016	0.4298	0.6673
tmpSAGClaveanio4	0.0386	0.0022	17.8710	0.0000
tmpSAGClaveanio5	0.0377	0.0020	18.7192	0.0000
tmpSAGClaveanio6	-0.0181	0.0019	-9.4995	0.0000
tmpSAGClaveanio7	-0.0325	0.0017	-18.9777	0.0000
tmpSAGClaveanio8	-0.0395	0.0013	-30.7012	0.0000
tmpSAGClaveanio9	-0.0213	0.0017	-12.7165	0.0000
tmpSAGClaveanio10	0.0120	0.0013	9.1491	0.0000
wspSAGClaveanio1	0.0096	0.0054	1.7887	0.0737
wspSAGClaveanio2	0.0040	0.0050	0.7941	0.4271
wspSAGClaveanio3	0.0122	0.0057	2.1381	0.0325
wspSAGClaveanio4	0.0230	0.0073	3.1445	0.0017
wspSAGClaveanio5	0.0699	0.0075	9.3568	0.0000
wspSAGClaveanio6	-0.0889	0.0060	-14.8130	0.0000
wspSAGClaveanio7	-0.0413	0.0058	-7.1705	0.0000
wspSAGClaveanio8	0.0204	0.0054	3.7914	0.0002
wspSAGClaveanio9	-0.0111	0.0056	-1.9686	0.0490
wspSAGClaveanio10	-0.0006	0.0054	-0.1018	0.9189
CLASEwdrSAG1Claveanio1	0.0204	0.0113	1.8047	0.0711
CLASEwdrSAG2Claveanio1	-0.0263	0.0117	-2.2410	0.0250
CLASEwdrSAG3Claveanio1	-0.0140	0.0136	-1.0321	0.3020
CLASEwdrSAG1Claveanio2	-0.0037	0.0105	-0.3501	0.7262
CLASEwdrSAG2Claveanio2	-0.0480	0.0111	-4.3296	0.0000

CLASEwdrSAG3Claveanio2	-0.0155	0.0115	-1.3435	0.1791
CLASEwdrSAG1Claveanio3	-0.0214	0.0120	-1.7883	0.0737
CLASEwdrSAG2Claveanio3	-0.0206	0.0119	-1.7313	0.0834
CLASEwdrSAG3Claveanio3	0.0304	0.0127	2.3962	0.0166
CLASEwdrSAG1Claveanio4	-0.0378	0.0171	-2.2131	0.0269
CLASEwdrSAG2Claveanio4	-0.0435	0.0164	-2.6619	0.0078
CLASEwdrSAG3Claveanio4	0.0270	0.0175	1.5414	0.1232
CLASEwdrSAG1Claveanio5	0.0270	0.0130	2.0729	0.0382
CLASEwdrSAG2Claveanio5	-0.0079	0.0138	-0.5742	0.5658
CLASEwdrSAG3Claveanio5	-0.0576	0.0178	-3.2345	0.0012
CLASEwdrSAG1Claveanio6	0.0407	0.0112	3.6202	0.0003
CLASEwdrSAG2Claveanio6	0.0093	0.0137	0.6746	0.4999
CLASEwdrSAG3Claveanio6	-0.0131	0.0115	-1.1381	0.2551
CLASEwdrSAG1Claveanio7	0.0058	0.0125	0.4659	0.6413
CLASEwdrSAG2Claveanio7	0.0764	0.0108	7.1028	0.0000
CLASEwdrSAG3Claveanio7	0.0187	0.0119	1.5637	0.1179
CLASEwdrSAG1Claveanio8	0.0018	0.0115	0.1549	0.8769
CLASEwdrSAG2Claveanio8	0.0442	0.0107	4.1418	0.0000
CLASEwdrSAG3Claveanio8	0.0292	0.0115	2.5331	0.0113
CLASEwdrSAG1Claveanio9	-0.0003	0.0111	-0.0267	0.9787
CLASEwdrSAG2Claveanio9	0.0172	0.0119	1.4508	0.1468
CLASEwdrSAG3Claveanio9	-0.0288	0.0113	-2.5625	0.0104
CLASEwdrSAG1Claveanio10	-0.0148	0.0117	-1.2600	0.2077
CLASEwdrSAG2Claveanio10	0.0155	0.0118	1.3192	0.1871
CLASEwdrSAG3Claveanio10	0.0199	0.0120	1.6620	0.0965

Residual standard error: 0.192 on 40981 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7659

F-statistic: 1524 on 88 and 40981 degrees of freedom, the p-value is 0

Warning messages:

2 rows with zero weights not counted in: summary.lm(ozonoSAGvd.m7, cor = F)

Estación Tacuba

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.603	-0.1489	0.01005	0.1628	1.164

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.9084	0.0195	-200.8894	0.0000
rhTAC	-0.0090	0.0002	-53.7304	0.0000
tmpTAC	0.0657	0.0008	79.5361	0.0000
wspTAC	-0.0803	0.0024	-32.8833	0.0000
CLASEwdrTAC1	0.0380	0.0044	8.7181	0.0000
CLASEwdrTAC2	0.0048	0.0044	1.0965	0.2728
CLASEwdrTAC3	-0.0551	0.0043	-12.8080	0.0000
Claveanio1	-0.5193	0.0489	-10.6202	0.0000
Claveanio2	-0.3819	0.0624	-6.1161	0.0000
Claveanio3	-0.1080	0.0491	-2.1974	0.0280
Claveanio4	-0.5354	0.0514	-10.4235	0.0000
Claveanio5	-1.3531	0.0538	-25.1558	0.0000
Claveanio6	-0.2429	0.0672	-3.6114	0.0003
Claveanio7	1.7335	0.0630	27.5277	0.0000
Claveanio8	0.9773	0.0558	17.5071	0.0000
Claveanio9	0.4970	0.0597	8.3187	0.0000
Claveanio10	-0.2254	0.0419	-5.3828	0.0000
Clavehora1	-0.2304	0.0080	-28.7440	0.0000
Clavehora2	0.2493	0.0081	30.8106	0.0000
Clavehora3	0.5124	0.0085	60.0395	0.0000
Clavehora4	0.5796	0.0091	64.0221	0.0000
Clavehora5	0.5579	0.0094	59.1184	0.0000
Clavehora6	0.4788	0.0096	49.9749	0.0000
Clavehora7	0.3871	0.0095	40.9426	0.0000
Clavehora8	0.2544	0.0092	27.5774	0.0000
Clavehora9	0.0586	0.0089	6.6145	0.0000
Clavehora10	-0.3004	0.0084	-35.5774	0.0000
Clavehora11	-0.6398	0.0081	-78.9057	0.0000
Clavehora12	-1.1120	0.0090	-124.1640	0.0000
rhTACClaveanio1	0.0007	0.0005	1.4121	0.1579
rhTACClaveanio2	0.0011	0.0007	1.6718	0.0946
rhTACClaveanio3	-0.0030	0.0005	-6.4983	0.0000

rhTACClaveanio4	-0.0004	0.0005	-0.7710	0.4407
rhTACClaveanio5	0.0047	0.0005	9.8440	0.0000
rhTACClaveanio6	0.0130	0.0006	20.8384	0.0000
rhTACClaveanio7	-0.0029	0.0005	-5.4155	0.0000
rhTACClaveanio8	-0.0040	0.0005	-7.8067	0.0000
rhTACClaveanio9	-0.0045	0.0006	-8.1819	0.0000
rhTACClaveanio10	0.0039	0.0004	9.3753	0.0000
tmpTACClaveanio1	0.0207	0.0023	9.1796	0.0000
tmpTACClaveanio2	0.0106	0.0022	4.7309	0.0000
tmpTACClaveanio3	0.0037	0.0021	1.7820	0.0748
tmpTACClaveanio4	0.0066	0.0019	3.3961	0.0007
tmpTACClaveanio5	0.0301	0.0021	14.2574	0.0000
tmpTACClaveanio6	0.0087	0.0026	3.3408	0.0008
tmpTACClaveanio7	-0.0532	0.0025	-21.5691	0.0000
tmpTACClaveanio8	-0.0214	0.0023	-9.4198	0.0000
tmpTACClaveanio9	-0.0002	0.0024	-0.0663	0.9471
tmpTACClaveanio10	0.0044	0.0018	2.4798	0.0132
wsptACClaveanio1	0.0284	0.0066	4.3314	0.0000
wsptACClaveanio2	0.0113	0.0066	1.7282	0.0840
wsptACClaveanio3	0.0493	0.0063	7.8339	0.0000
wsptACClaveanio4	0.0846	0.0069	12.2547	0.0000
wsptACClaveanio5	0.1003	0.0066	15.2092	0.0000
wsptACClaveanio6	-0.0804	0.0077	-10.4014	0.0000
wsptACClaveanio7	-0.1084	0.0065	-16.7057	0.0000
wsptACClaveanio8	-0.0572	0.0063	-9.1398	0.0000
wsptACClaveanio9	-0.0400	0.0070	-5.7147	0.0000
wsptACClaveanio10	0.0096	0.0069	1.3928	0.1637
CLASEwdrTAC1Claveanio1	0.0202	0.0126	1.6023	0.1091
CLASEwdrTAC2Claveanio1	0.0965	0.0133	7.2515	0.0000
CLASEwdrTAC3Claveanio1	-0.0933	0.0140	-6.6485	0.0000
CLASEwdrTAC1Claveanio2	-0.0618	0.0132	-4.6944	0.0000
CLASEwdrTAC2Claveanio2	-0.0360	0.0132	-2.7288	0.0064
CLASEwdrTAC3Claveanio2	0.0446	0.0128	3.4738	0.0005
CLASEwdrTAC1Claveanio3	-0.0539	0.0125	-4.3035	0.0000
CLASEwdrTAC2Claveanio3	-0.0787	0.0121	-6.5191	0.0000
CLASEwdrTAC3Claveanio3	0.1041	0.0130	8.0052	0.0000
CLASEwdrTAC1Claveanio4	-0.0093	0.0137	-0.6804	0.4963
CLASEwdrTAC2Claveanio4	-0.0412	0.0135	-3.0596	0.0022
CLASEwdrTAC3Claveanio4	0.0179	0.0125	1.4383	0.1503
CLASEwdrTAC1Claveanio5	0.0535	0.0138	3.8774	0.0001
CLASEwdrTAC2Claveanio5	-0.0055	0.0143	-0.3839	0.7011
CLASEwdrTAC3Claveanio5	-0.0320	0.0139	-2.3028	0.0213
CLASEwdrTAC1Claveanio6	-0.1027	0.0135	-7.5941	0.0000
CLASEwdrTAC2Claveanio6	-0.0591	0.0159	-3.7175	0.0002
CLASEwdrTAC3Claveanio6	0.1522	0.0133	11.4754	0.0000
CLASEwdrTAC1Claveanio7	0.0201	0.0159	1.2620	0.2070
CLASEwdrTAC2Claveanio7	0.0391	0.0151	2.5897	0.0096
CLASEwdrTAC3Claveanio7	0.0450	0.0124	3.6182	0.0003
CLASEwdrTAC1Claveanio8	0.0505	0.0153	3.2984	0.0010
CLASEwdrTAC2Claveanio8	0.0082	0.0134	0.6109	0.5413
CLASEwdrTAC3Claveanio8	-0.0814	0.0128	-6.3590	0.0000
CLASEwdrTAC1Claveanio9	0.0492	0.0149	3.2998	0.0010
CLASEwdrTAC2Claveanio9	0.0212	0.0137	1.5501	0.1211
CLASEwdrTAC3Claveanio9	-0.1287	0.0142	-9.0612	0.0000
CLASEwdrTAC1Claveanio10	0.0366	0.0128	2.8496	0.0044
CLASEwdrTAC2Claveanio10	0.0756	0.0134	5.6391	0.0000
CLASEwdrTAC3Claveanio10	-0.0115	0.0135	-0.8587	0.3905

Residual standard error: 0.2616 on 47305 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7685

F-statistic: 1784 on 88 and 47305 degrees of freedom, the p-value is 0

Warning messages:

25 rows with zero weights not counted in: summary.lm(ozonoTACvd.m8, cor = F)

Estación Tlanepantla

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.962	-0.1253	0.004531	0.1389	1.082

Coefficients:

	value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.9796	0.0193	-206.1649	0.0000
rhTLA	-0.0091	0.0002	-53.7374	0.0000
tmpTLA	0.0577	0.0008	75.9027	0.0000
wspTLA	-0.0498	0.0021	-23.3374	0.0000
CLASEwdrTLA1	-0.0118	0.0044	-2.6696	0.0076
CLASEwdrTLA2	0.0901	0.0043	21.0376	0.0000
CLASEwdrTLA3	-0.0398	0.0041	-9.8116	0.0000
Claveanio1	-0.5035	0.0509	-9.8877	0.0000
Claveanio2	-0.1247	0.0623	-2.0028	0.0452
Claveanio3	-1.0111	0.0526	-19.2126	0.0000
Claveanio4	-0.3605	0.0481	-7.5007	0.0000
Claveanio5	-0.3799	0.0575	-6.6112	0.0000
Claveanio6	1.1452	0.0743	15.4090	0.0000
Claveanio7	0.4681	0.0513	9.1258	0.0000
Claveanio8	0.2648	0.0474	5.5838	0.0000
Claveanio9	0.3342	0.0520	6.4303	0.0000
Claveanio10	0.0106	0.0492	0.2149	0.8298
Clavehora1	-0.2630	0.0075	-34.9210	0.0000
Clavehora2	0.1865	0.0076	24.5676	0.0000
Clavehora3	0.4426	0.0080	55.6690	0.0000
Clavehora4	0.5279	0.0084	62.7834	0.0000
Clavehora5	0.5077	0.0087	58.1641	0.0000
Clavehora6	0.4418	0.0089	49.6064	0.0000
Clavehora7	0.3614	0.0088	40.8419	0.0000
Clavehora8	0.2444	0.0086	28.4078	0.0000
Clavehora9	0.0362	0.0083	4.3868	0.0000
Clavehora10	-0.3270	0.0078	-41.8254	0.0000
Clavehora11	-0.6207	0.0075	-82.5756	0.0000
Clavehora12	-0.8685	0.0085	-102.2541	0.0000
rhTLAClaveanio1	0.0045	0.0006	8.1060	0.0000
rhTLAClaveanio2	-0.0022	0.0007	-3.4053	0.0007
rhTLAClaveanio3	0.0038	0.0005	8.0467	0.0000
rhTLAClaveanio4	-0.0011	0.0005	-2.3125	0.0208
rhTLAClaveanio5	-0.0049	0.0005	-9.3566	0.0000
rhTLAClaveanio6	0.0030	0.0006	5.2026	0.0000
rhTLAClaveanio7	0.0063	0.0004	15.3732	0.0000
rhTLAClaveanio8	0.0010	0.0004	2.3013	0.0214
rhTLAClaveanio9	-0.0033	0.0005	-7.2285	0.0000
rhTLAClaveanio10	-0.0011	0.0006	-1.9290	0.0537
tmpTLAClaveanio1	0.0108	0.0020	5.4895	0.0000
tmpTLAClaveanio2	-0.0009	0.0022	-0.4186	0.6755
tmpTLAClaveanio3	0.0350	0.0019	18.2278	0.0000
tmpTLAClaveanio4	0.0080	0.0018	4.4265	0.0000
tmpTLAClaveanio5	0.0169	0.0019	8.8367	0.0000
tmpTLAClaveanio6	-0.0325	0.0024	-13.2828	0.0000
tmpTLAClaveanio7	-0.0156	0.0019	-8.2464	0.0000
tmpTLAClaveanio8	-0.0047	0.0019	-2.5542	0.0106
tmpTLAClaveanio9	-0.0045	0.0020	-2.2010	0.0277
tmpTLAClaveanio10	-0.0032	0.0018	-1.7389	0.0821
wspTLAClaveanio1	0.0415	0.0059	7.0814	0.0000
wspTLAClaveanio2	0.0268	0.0065	4.1210	0.0000
wspTLAClaveanio3	0.0380	0.0054	7.0185	0.0000
wspTLAClaveanio4	0.0389	0.0058	6.7345	0.0000
wspTLAClaveanio5	0.0635	0.0055	11.5964	0.0000
wspTLAClaveanio6	-0.0680	0.0062	-10.9906	0.0000
wspTLAClaveanio7	-0.0838	0.0060	-13.8728	0.0000
wspTLAClaveanio8	-0.0237	0.0059	-4.0090	0.0001
wspTLAClaveanio9	-0.0393	0.0058	-6.8279	0.0000
wspTLAClaveanio10	-0.0102	0.0056	-1.8323	0.0669
CLASEwdrTLA1Claveanio1	-0.0224	0.0127	-1.7626	0.0780
CLASEwdrTLA2Claveanio1	-0.0367	0.0125	-2.9235	0.0035
CLASEwdrTLA3Claveanio1	0.0720	0.0133	5.4210	0.0000
CLASEwdrTLA1Claveanio2	0.0081	0.0208	0.3900	0.6965
CLASEwdrTLA2Claveanio2	0.0012	0.0167	0.0725	0.9422

CLASEwdrTLA3Claveanio2	0.0209	0.0135	1.5494	0.1213
CLASEwdrTLA1Claveanio3	0.0413	0.0138	2.9854	0.0028
CLASEwdrTLA2Claveanio3	0.0023	0.0120	0.1889	0.8502
CLASEwdrTLA3Claveanio3	-0.0554	0.0111	-4.9876	0.0000
CLASEwdrTLA1Claveanio4	-0.0073	0.0124	-0.5854	0.5583
CLASEwdrTLA2Claveanio4	-0.0016	0.0127	-0.1263	0.8995
CLASEwdrTLA3Claveanio4	-0.0274	0.0122	-2.2440	0.0248
CLASEwdrTLA1Claveanio5	0.0515	0.0126	4.0729	0.0000
CLASEwdrTLA2Claveanio5	0.0174	0.0120	1.4551	0.1456
CLASEwdrTLA3Claveanio5	-0.0554	0.0119	-4.6480	0.0000
CLASEwdrTLA1Claveanio6	-0.0774	0.0129	-5.9854	0.0000
CLASEwdrTLA2Claveanio6	-0.0765	0.0162	-4.7135	0.0000
CLASEwdrTLA3Claveanio6	0.1043	0.0120	8.6678	0.0000
CLASEwdrTLA1Claveanio7	-0.0095	0.0132	-0.7239	0.4691
CLASEwdrTLA2Claveanio7	-0.0383	0.0138	-2.7848	0.0054
CLASEwdrTLA3Claveanio7	0.0621	0.0117	5.3318	0.0000
CLASEwdrTLA1Claveanio8	0.0118	0.0137	0.8608	0.3893
CLASEwdrTLA2Claveanio8	0.0490	0.0125	3.9161	0.0001
CLASEwdrTLA3Claveanio8	-0.0456	0.0126	-3.6218	0.0003
CLASEwdrTLA1Claveanio9	0.0635	0.0132	4.8013	0.0000
CLASEwdrTLA2Claveanio9	0.0280	0.0124	2.2622	0.0237
CLASEwdrTLA3Claveanio9	-0.1172	0.0122	-9.5915	0.0000
CLASEwdrTLA1Claveanio10	0.0005	0.0128	0.0383	0.9695
CLASEwdrTLA2Claveanio10	0.0451	0.0129	3.5018	0.0005
CLASEwdrTLA3Claveanio10	-0.0142	0.0131	-1.0820	0.2792

Residual standard error: 0.2275 on 46758 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7657

F-statistic: 1737 on 88 and 46758 degrees of freedom, the p-value is 0

Warning messages:

15 rows with zero weights not counted in: summary.lm(ozonoTLAvd.m9, cor = F)

Estación Xalostoc

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.804	-0.1346	0.00811	0.1495	1.381

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.6920	0.0185	-199.7851	0.0000
rhXAL	-0.0116	0.0002	-71.1356	0.0000
tmpXAL	0.0469	0.0007	63.5035	0.0000
wspXAL	-0.0947	0.0020	-46.6173	0.0000
CLASEwdrXAL1	-0.1638	0.0045	-36.2269	0.0000
CLASEwdrXAL2	0.0873	0.0045	19.4961	0.0000
CLASEwdrXAL3	0.1774	0.0041	43.3911	0.0000
Claveanio1	-0.2825	0.0544	-5.1909	0.0000
Claveanio2	-0.3957	0.0500	-7.9128	0.0000
Claveanio3	-0.3068	0.0585	-5.2424	0.0000
Claveanio4	-0.6893	0.0506	-13.6308	0.0000
Claveanio5	-0.3863	0.0555	-6.9651	0.0000
Claveanio6	1.0392	0.0708	14.6856	0.0000
Claveanio7	0.2159	0.0488	4.4276	0.0000
Claveanio8	0.6659	0.0460	14.4881	0.0000
Claveanio9	0.5839	0.0523	11.1711	0.0000
Claveanio10	-0.5965	0.0396	-15.0620	0.0000
Clavehora1	-0.1581	0.0075	-21.0640	0.0000
Clavehora2	0.2693	0.0076	35.5045	0.0000
Clavehora3	0.4862	0.0079	61.4540	0.0000
Clavehora4	0.4973	0.0084	59.4976	0.0000
Clavehora5	0.4186	0.0087	47.8811	0.0000
Clavehora6	0.3348	0.0089	37.4619	0.0000
Clavehora7	0.2482	0.0089	27.9061	0.0000
Clavehora8	0.1321	0.0087	15.2128	0.0000
Clavehora9	-0.0516	0.0084	-6.1577	0.0000
Clavehora10	-0.3035	0.0080	-38.0745	0.0000
Clavehora11	-0.5054	0.0076	-66.2983	0.0000
Clavehora12	-0.7844	0.0083	-94.6121	0.0000

rhXALClaveanio1	-0.0005	0.0005	-0.9061	0.3649
rhXALClaveanio2	0.0045	0.0005	9.5581	0.0000
rhXALClaveanio3	-0.0039	0.0006	-7.1496	0.0000
rhXALClaveanio4	-0.0044	0.0005	-8.8668	0.0000
rhXALClaveanio5	-0.0042	0.0005	-7.8024	0.0000
rhXALClaveanio6	0.0080	0.0006	13.6922	0.0000
rhXALClaveanio7	0.0099	0.0004	22.0995	0.0000
rhXALClaveanio8	-0.0068	0.0005	-14.4405	0.0000
rhXALClaveanio9	-0.0044	0.0005	-8.5999	0.0000
rhXALClaveanio10	0.0050	0.0004	12.6976	0.0000
tmpXALClaveanio1	0.0118	0.0020	5.7746	0.0000
tmpXALClaveanio2	0.0073	0.0019	3.8883	0.0001
tmpXALClaveanio3	0.0165	0.0021	8.0406	0.0000
tmpXALClaveanio4	0.0334	0.0018	18.9400	0.0000
tmpXALClaveanio5	0.0225	0.0019	11.8576	0.0000
tmpXALClaveanio6	-0.0428	0.0026	-16.4359	0.0000
tmpXALClaveanio7	-0.0122	0.0018	-6.6740	0.0000
tmpXALClaveanio8	-0.0255	0.0019	-13.5927	0.0000
tmpXALClaveanio9	-0.0185	0.0020	-9.4579	0.0000
tmpXALClaveanio10	0.0156	0.0016	9.9030	0.0000
wspXALClaveanio1	0.0174	0.0051	3.4332	0.0006
wspXALClaveanio2	0.0089	0.0050	1.7606	0.0783
wspXALClaveanio3	0.0208	0.0056	3.7059	0.0002
wspXALClaveanio4	0.0519	0.0057	9.0464	0.0000
wspXALClaveanio5	0.0433	0.0053	8.2118	0.0000
wspXALClaveanio6	-0.0933	0.0061	-15.4170	0.0000
wspXALClaveanio7	-0.0324	0.0055	-5.8764	0.0000
wspXALClaveanio8	-0.0108	0.0057	-1.8990	0.0576
wspXALClaveanio9	-0.0142	0.0052	-2.7253	0.0064
wspXALClaveanio10	0.0230	0.0055	4.1532	0.0000
CLASEwdrXAL1Claveanio1	0.0690	0.0126	5.4961	0.0000
CLASEwdrXAL2Claveanio1	0.0192	0.0120	1.6022	0.1091
CLASEwdrXAL3Claveanio1	-0.0265	0.0139	-1.9122	0.0559
CLASEwdrXAL1Claveanio2	0.1388	0.0135	10.3156	0.0000
CLASEwdrXAL2Claveanio2	0.0134	0.0121	1.1087	0.2676
CLASEwdrXAL3Claveanio2	-0.1624	0.0138	-11.7236	0.0000
CLASEwdrXAL1Claveanio3	0.0703	0.0125	5.6107	0.0000
CLASEwdrXAL2Claveanio3	0.0249	0.0117	2.1233	0.0337
CLASEwdrXAL3Claveanio3	-0.0250	0.0128	-1.9520	0.0509
CLASEwdrXAL1Claveanio4	0.0278	0.0127	2.1950	0.0282
CLASEwdrXAL2Claveanio4	-0.0179	0.0117	-1.5323	0.1255
CLASEwdrXAL3Claveanio4	-0.0037	0.0122	-0.2984	0.7654
CLASEwdrXAL1Claveanio5	0.0895	0.0123	7.2737	0.0000
CLASEwdrXAL2Claveanio5	0.0579	0.0117	4.9498	0.0000
CLASEwdrXAL3Claveanio5	-0.0795	0.0119	-6.6515	0.0000
CLASEwdrXAL1Claveanio6	-0.0279	0.0242	-1.1525	0.2491
CLASEwdrXAL2Claveanio6	-0.1859	0.0258	-7.2175	0.0000
CLASEwdrXAL3Claveanio6	0.0420	0.0154	2.7233	0.0065
CLASEwdrXAL1Claveanio7	-0.1375	0.0130	-10.5600	0.0000
CLASEwdrXAL2Claveanio7	-0.1440	0.0130	-11.0661	0.0000
CLASEwdrXAL3Claveanio7	0.1316	0.0114	11.5790	0.0000
CLASEwdrXAL1Claveanio8	-0.0537	0.0135	-3.9685	0.0001
CLASEwdrXAL2Claveanio8	-0.0822	0.0148	-5.5570	0.0000
CLASEwdrXAL3Claveanio8	0.0357	0.0115	3.1036	0.0019
CLASEwdrXAL1Claveanio9	-0.0454	0.0126	-3.5875	0.0003
CLASEwdrXAL2Claveanio9	0.0849	0.0119	7.1292	0.0000
CLASEwdrXAL3Claveanio9	0.0230	0.0118	1.9601	0.0500
CLASEwdrXAL1Claveanio10	-0.1058	0.0130	-8.1435	0.0000
CLASEwdrXAL2Claveanio10	0.1401	0.0124	11.3244	0.0000
CLASEwdrXAL3Claveanio10	0.0516	0.0129	4.0050	0.0001

Residual standard error: 0.2356 on 48157 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.7341

F-statistic: 1511 on 88 and 48157 degrees of freedom, the p-value is 0

Warning messages:

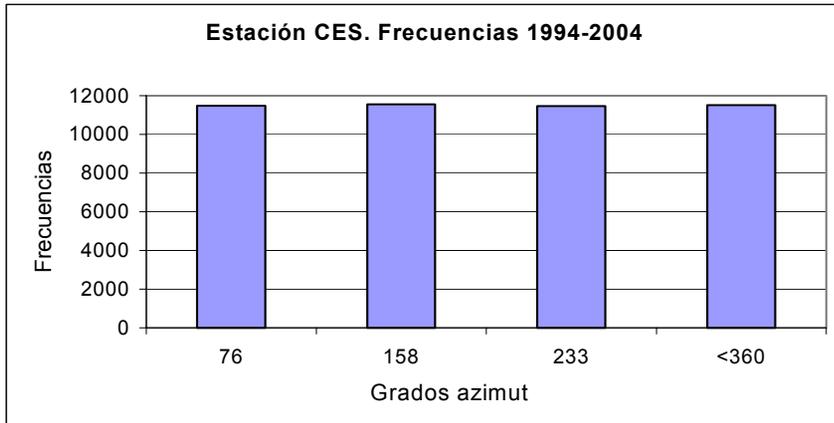
13 rows with zero weights not counted in: summary.lm(ozonoXALvd.m10, cor = F)

ANEXO C

**Histogramas de frecuencia para las
direcciones de viento**

Estación Cerro de la Estrella

FRECUENCIAS TOTAL	Máx	Diferencia máxima, %
76	11482	0.7
158	11556	
233	11474	
<360	11513	
vacías	0	
Total	46025	

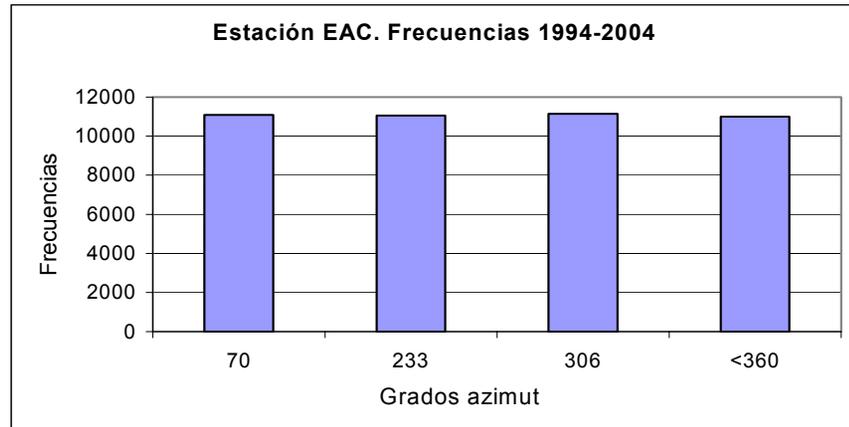


CONTAR SI
 A 11482
 B 11556
 C 11474
 D 11513
 BLANCOS 0

Dirección de viento	76 76°	158 158°	233 233°	<360 <360°
76	76			
158		82		
233			75	
360				127

Estación ENEP Acatlán

FRECUENCIAS TOTAL	Máx	Mín	Diferencia máxima, %
70	11090	11142	1.3
233	11048		
306	11142	10995	
<360	10995		
vacías	0		
Total	44275		

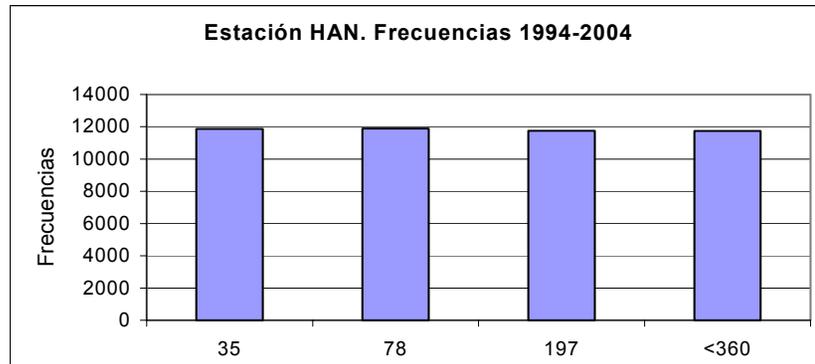


CONTAR SI	
A	11090
B	11048
C	11142
D	10995
BLANCOS	0

Dirección de viento		
70	70°	70
233	233°	163
306	306°	73
360	<360°	54

Estación Hangares

FRECUENCIAS TOTAL	Máx	Diferencia máxima, %
35	11871	11883 1.3
78	11883	Min
197	11761	11736
<360	11736	
vacías	0	
Total	47251	

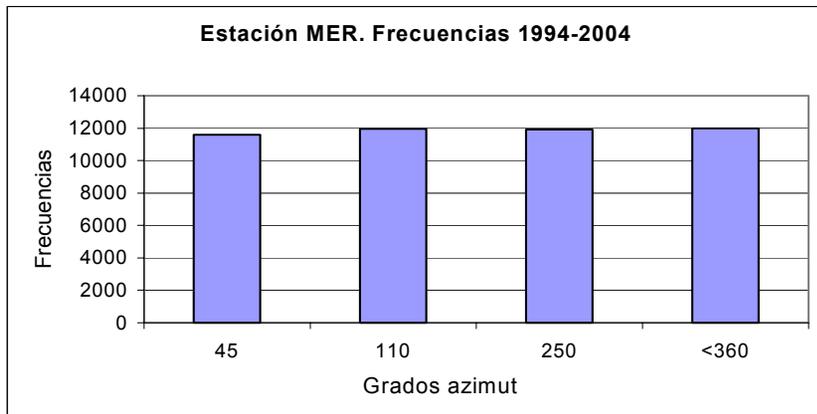


CONTAR SI	
A	11871
B	11883
C	11761
D	11736
BLANCOS	0

Dirección de viento		
35 35°		35
78 78°		43
197 197°		119
360 <360°		163

Estación Merced

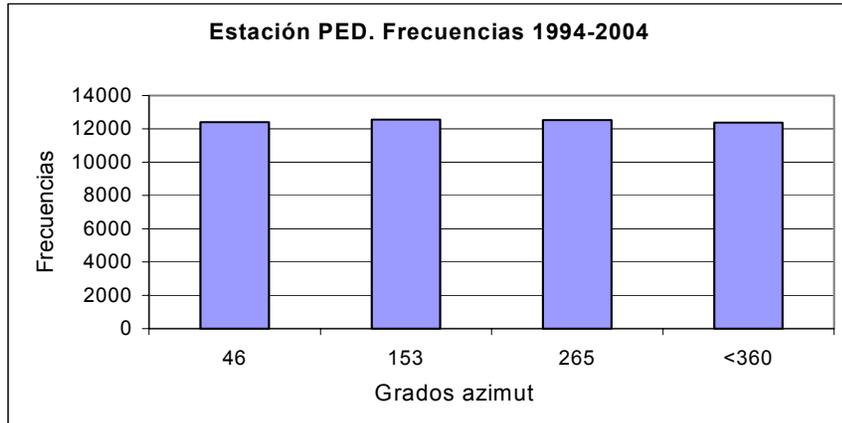
FRECUENCIAS TOTAL	Máx	Diferencia máxima, %
45	11600	12001 3.5
110	11961	Mín
250	11921	11600
<360	12001	
vacías	0	
Total	47483	



		Dirección de viento		
	45	45°		45
	110	110°		65
	250	250°		140
	360	<360°		110
CONTAR SI				
A	11600			
B	11961			
C	11921			
D	12001			
BLANCOS	0			
	0			

Estación Pedregal

FRECUENCIAS TOTAL	Máx	Diferencia máxima, %
46	12399	12559 1.5
153	12559 Min	
265	12519	12376
<360	12376	
vacías	0	
Total	49853	

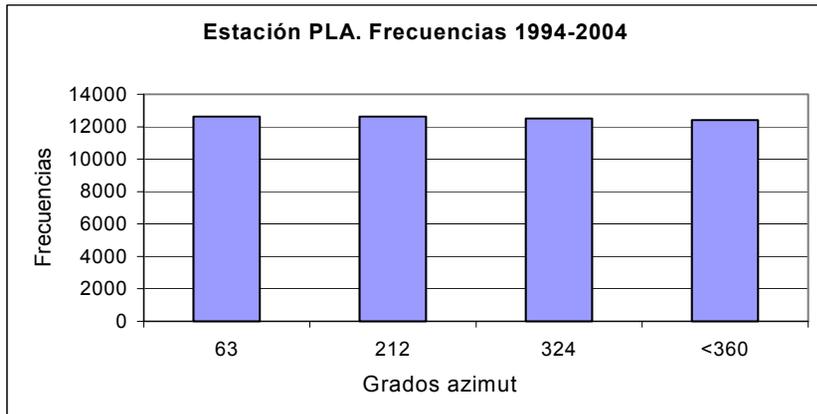


CONTAR SI	
A	12399
B	12559
C	12519
D	12376
BLANCOS	0

Dirección de viento		
46	46°	46
153	153°	107
265	265°	112
360	<360°	95

Estación Plateros

FRECUENCIAS TOTAL	Máx	Diferencia máxima, %
63	12622	12623 1.7
212	12623	Mín
324	12509	12407
<360	12407	
vacías	0	
Total	50161	

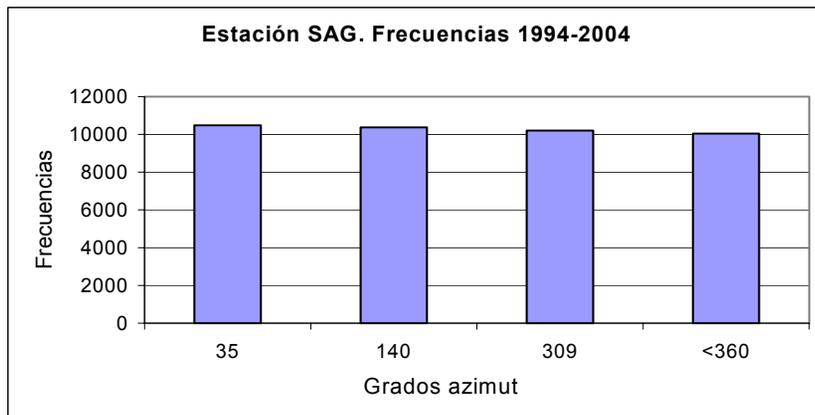


CONTAR SI	
A	12622
B	12623
C	12509
D	12407
BLANCOS	0
	0

Dirección de viento		
63	63°	63
212	212°	149
324	324°	112
360	<360°	36

Estación San Agustín

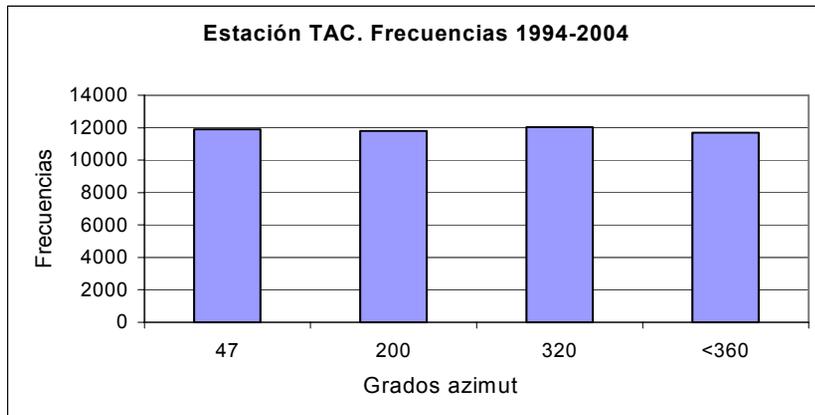
FRECUENCIAS TOTAL	Máx	Diferencia máxima, %
35	10480	4.4
140	10363	
309	10199	
<360	10035	
vacías	0	
Total	41077	



CONTAR SI	Dirección de viento	Frecuencia
A	35 35°	35
B	140 140°	105
C	309 309°	169
D	360 <360°	51
BLANCOS		0

Estación Tacuba

FRECUENCIAS TOTAL	Máx	Diferencia máxima, %
47	11898	3.0
200	11801	
320	12042	
<360	11692	
vacías	0	
Total	47433	

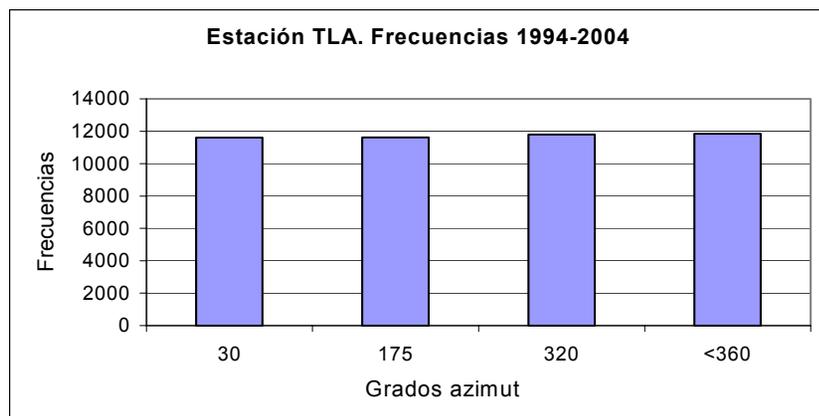


CONTAR SI	
A	11898
B	11801
C	12042
D	11692
BLANCOS	0

Dirección de viento	
47 47°	47
200 200°	153
320 320°	120
360 <360°	40

Estación Tlanepantla

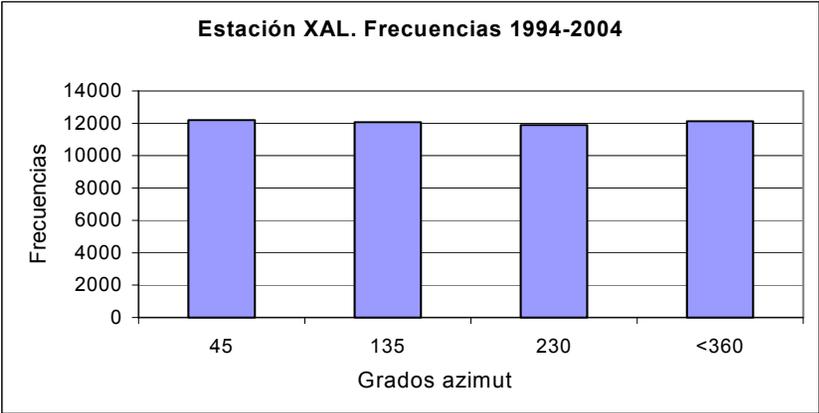
FRECUENCIAS TOTAL	Máx	Diferencia máxima, %
30	11617	11841 1.9
175	11621	Mín
320	11800	11617
<360	11841	
vacías	0	
Total	46879	



CONTAR SI	Dirección de viento	
A	30 30°	30
B	175 175°	145
C	320 320°	145
D	360 <360°	40
BLANCOS		0

Estación Xalostoc

FRECUENCIAS TOTAL	Máx	Diferencia máxima, %
45	12195	2.5
135	12073	Mín
230	11895	
<360	12120	
vacías	0	
Total	48283	



CONTAR SI	Frecuencia
A	12195
B	12073
C	11895
D	12120
BLANCOS	0

Dirección de viento	Frecuencia
45 45°	45
135 135°	90
230 230°	95
360 <360°	130

ANEXO D

Promedios horarios de viento

Época seca

Datos de 1994 a 2004

Hora	TAC		EAC		SAG		TLA		XAL		MER	
	vel	dir										
24	0.9355	310.6560134	0.6538	278.5126956	0.8616	358.9745715	1.3087	330.6099632	0.5641	358.1681032	0.8308	326.2345114
23	0.9815	315.8823683	0.7318	287.4552056	0.8423	6.395396717	1.3316	334.7971034	0.6816	4.126358924	0.7668	331.763168
22	0.9705	319.0116911	0.8055	297.443421	0.7681	22.15059964	1.3221	339.9941059	0.7513	16.04982656	0.6035	347.5742108
21	0.8957	318.0280996	0.8980	301.4109505	0.7006	47.20520018	1.2371	345.0052661	0.7838	24.72449222	0.4205	10.85988135
20	0.8543	314.9542896	0.9809	304.6858632	0.6941	70.70625624	1.2670	347.5132097	0.6490	31.75561221	0.3035	50.93027157
19	0.7811	319.7027445	0.9996	307.3018253	0.6288	80.42660902	1.2476	340.4587621	0.4465	32.06767128	0.1981	64.43573791
18	0.6909	315.8353694	0.9453	308.6117699	0.4912	74.49753418	1.1220	333.7497458	0.3575	27.52094825	0.0941	48.57269501
17	0.5938	308.5548948	0.8723	309.8591003	0.2780	46.69355667	0.8930	327.5964854	0.2628	11.38493056	0.1344	342.070732
16	0.4973	313.6848169	0.7954	313.9766113	0.2867	341.0435965	0.7546	330.5725394	0.2560	341.1201447	0.2069	337.8765778
15	0.4631	326.4306254	0.7859	323.8257411	0.4169	325.1019916	0.6446	335.4137429	0.2131	334.2637704	0.2545	356.5870013
14	0.4693	338.4447206	0.7395	333.1983574	0.4619	331.9975497	0.6180	349.4043284	0.1203	355.4144738	0.3200	12.46920564
13	0.4666	354.2241386	0.6935	344.4819879	0.4350	345.0381192	0.4903	1.838234018	0.1326	124.4668864	0.3972	27.32574113
12	0.4502	14.50616466	0.6622	358.2822895	0.2543	354.8388634	0.3240	16.61221172	0.3305	141.9467256	0.4150	44.46887428
11	0.4165	22.49412392	0.5719	10.27844393	0.2484	32.87032351	0.2098	34.25383031	0.4877	138.7580068	0.4248	63.91234675
10	0.4359	14.67085909	0.4386	357.9552047	0.5533	39.54148089	0.2543	5.156133475	0.5510	134.0559912	0.4576	73.59965431
9	0.4381	335.0181941	0.3134	302.9835307	0.7420	38.52162034	0.6341	325.1960455	0.4052	118.3887865	0.4275	74.69994589
8	0.4382	297.3025532	0.4587	263.1439043	0.7508	35.46413819	0.9251	312.7161781	0.2780	64.07350377	0.3571	68.42220542
7	0.4430	290.8344004	0.5754	258.0965633	0.7248	33.87207778	0.9409	310.9631494	0.2936	38.68917131	0.3238	59.28157109
6	0.4794	287.8694336	0.5647	257.5317621	0.6912	32.8002135	0.9364	310.5397242	0.3646	26.55196346	0.2916	52.32218147
5	0.4986	289.0251786	0.5411	258.6248192	0.6670	32.1592537	0.9218	312.0320077	0.3522	20.00009545	0.2770	41.62753075
4	0.5486	290.8297854	0.5185	260.0347698	0.6333	31.68258178	0.9391	313.5893869	0.2968	14.45393994	0.2872	22.96860755
3	0.6278	293.9883881	0.5389	261.9629866	0.6387	25.93612153	0.9931	317.5304754	0.2579	4.463881185	0.3797	355.3837918
2	0.7174	299.2916675	0.5654	265.8227364	0.6785	16.85408359	1.0778	322.7023156	0.2968	358.7061437	0.5490	337.2480585
1	0.8328	304.4344669	0.6031	270.9524239	0.7521	6.253124594	1.2020	326.4118091	0.3976	356.7223698	0.7307	327.5108863
Promedios Totales												
	0.5730	316.5795836	0.5799	301.2435492	0.5255	26.14748653	0.8669	331.3736704	0.2756	30.39141057	0.3055	13.82801692

Fuente: Subdirección de Meteorología. SMA del GDF

Época seca (cont.)

Promedios horarios		Datos de 1994 a 2004				Epoca Seca		
Hora	PED vel	dir	CES vel	dir	PLA vel	dir	HAN vel	dir
24	0.6009	266.8419792	0.2747	206.7088728	0.7370	288.003905	0.4201	313.2854672
23	0.6035	279.1133119	0.2564	210.8197078	0.7914	296.4805333	0.3637	341.0423013
22	0.5708	295.0645107	0.2382	208.3363113	0.8311	305.206125	0.3867	28.1679482
21	0.5083	303.6671806	0.2540	194.4712115	0.8275	310.5796166	0.4863	67.71459058
20	0.4455	290.3878729	0.3644	184.7003801	0.7491	310.2215511	0.6375	101.9035608
19	0.4345	279.664355	0.5361	183.6506197	0.6453	303.3669004	0.6662	118.621268
18	0.3913	288.6941573	0.5421	182.1563739	0.5768	296.5450021	0.5344	114.9613012
17	0.3188	294.0388158	0.4462	183.574596	0.4621	297.2677943	0.2886	99.78635112
16	0.2329	335.5366782	0.3022	186.1088717	0.3923	316.072554	0.2298	35.04513647
15	0.3563	16.43934989	0.1674	183.3217583	0.4024	337.2820387	0.4410	14.09136832
14	0.5677	28.62537256	0.0320	123.3052923	0.4857	352.0337134	0.6236	16.52680689
13	0.6712	33.0316408	0.1073	51.0674573	0.5574	3.713832432	0.6803	24.08424736
12	0.7446	39.10241303	0.1725	60.49114743	0.5842	12.64718942	0.5830	40.06991177
11	0.6556	44.61686254	0.2310	89.36070797	0.4988	18.4567716	0.6033	53.00997746
10	0.4620	47.71220427	0.2229	119.2870477	0.3779	17.73857837	0.8149	54.70852238
9	0.1474	36.27134957	0.2412	167.5192483	0.2221	330.2355646	0.8205	54.06657928
8	0.3252	243.8298361	0.2508	179.8400989	0.3430	273.3594525	0.6483	51.4386758
7	0.4473	245.5477881	0.2360	180.180887	0.3973	263.5217023	0.5238	47.9015323
6	0.4524	243.857452	0.2482	181.9817914	0.4029	264.3232646	0.4273	46.69471033
5	0.4534	244.3387196	0.2668	180.8785471	0.4120	264.9520937	0.3448	45.85421244
4	0.4586	245.7530309	0.2748	184.0497508	0.4362	267.7092903	0.2805	34.51361147
3	0.4822	247.6282391	0.2854	183.0165298	0.4747	271.6452415	0.2225	9.11755227
2	0.5192	250.7459809	0.2868	187.2173122	0.5496	276.6269963	0.2212	325.8051867
1	0.5690	256.3672478	0.2806	195.7407892	0.6442	281.9213335	0.3722	302.4661697
Promedios Totales								
	0.2402	298.5671204	0.2332	180.0702829	0.4424	306.2947084	0.3661	45.58314705

Fuente: Subdirección de Meteorología. SMA del GDF

Época Lluvias

Datos de 1994 a 2004

Promedios horarios

Hora	TAC		EAC		SAG		TLA		XAL		MER	
	vel	dir										
1	1.3311	342.5322234	0.6897	302.4627194	1.3675	1.170087273	1.8749	345.0485231	0.9792	8.106330861	1.1020	339.730209
2	1.1865	340.8577684	0.6010	296.7186217	1.2510	3.830602944	1.6776	343.816979	0.8356	8.030243329	1.0422	339.9798664
3	1.0821	340.7064399	0.5632	295.4711062	1.1798	5.537094615	1.5677	343.5310452	0.7339	7.72925984	0.9547	343.1872859
4	0.9978	340.3475514	0.5381	293.3275272	1.1427	7.396582174	1.4806	343.3555214	0.6658	8.085526457	0.8577	348.2697192
5	0.9150	337.7489215	0.4944	291.5929659	1.1181	9.296021984	1.3967	342.6695977	0.6087	11.39644863	0.7730	354.0894514
6	0.8528	337.9146077	0.4707	289.1135342	1.1243	9.715539169	1.3612	341.6478767	0.5617	15.98409241	0.6959	359.3735365
7	0.7837	336.6011279	0.4561	292.7267525	1.0931	13.44978712	1.2901	340.0871097	0.5081	21.20171245	0.6194	2.696384914
8	0.8417	338.9206257	0.4669	311.0711389	1.1355	15.3923725	1.3203	341.6899016	0.4919	33.98350051	0.5797	8.708418978
9	1.0390	343.5563595	0.5842	334.1521543	1.1523	15.58879366	1.2999	346.5950335	0.4020	47.07568575	0.5512	11.12229718
10	1.0969	351.0154282	0.6747	339.0510368	1.0844	15.02983523	1.1843	352.5278597	0.3805	54.04521855	0.5311	13.90947192
11	1.0477	356.0736194	0.7178	341.3799175	0.9906	12.48994169	1.1014	355.3537788	0.4341	39.44598705	0.5333	10.00401308
12	1.0208	356.2356533	0.8150	346.8559439	1.0344	7.658422654	1.1583	0.029561971	0.6285	22.87305944	0.5996	14.09788912
13	1.0874	356.248565	0.9405	350.0623589	1.1376	4.801618398	1.2995	5.440131246	0.9181	12.00575903	0.6445	22.27523705
14	1.1454	359.5185443	0.9867	347.6332983	1.2691	4.757315641	1.4875	10.38264188	1.1249	12.46647973	0.7384	26.62693935
15	1.1417	1.003091092	1.0215	345.6188563	1.2865	6.226806945	1.6564	10.59689658	1.2596	13.56228758	0.7298	29.9097534
16	1.1135	2.454497808	1.0531	340.5975471	1.3827	11.63978665	1.7680	7.232082846	1.4076	11.98744308	0.6735	35.07468996
17	1.3063	1.496341553	1.1530	342.6722672	1.5616	15.20658099	2.0528	7.154136467	1.6748	12.92996824	0.7823	33.90984619
18	1.4976	0.653059428	1.2305	338.4644672	1.7592	19.13956133	2.2570	2.943477835	1.8951	14.64496677	0.9992	22.9783717
19	1.5320	357.179932	1.1130	339.0262054	1.9146	23.01603782	2.2508	3.37962957	1.9958	16.71119755	1.1463	19.31226899
20	1.4470	354.9761889	1.0415	334.2041802	1.8452	22.80466226	2.0689	2.487487291	1.9164	19.8889737	1.1551	14.0444012
21	1.3871	353.9879241	0.9873	328.5250891	1.7060	18.08418726	1.9964	0.540131503	1.7835	19.55221239	1.1179	11.11784815
22	1.3691	350.9393716	0.9953	325.0780195	1.5897	11.09781726	2.0147	354.6351157	1.6146	17.87851796	1.0373	4.630924045
23	1.4330	347.3290269	0.9289	314.3293903	1.5120	3.845692707	2.0277	349.5159993	1.3706	12.40898206	1.0744	351.8379429
24	1.4371	344.7426706	0.8182	306.6464097	1.4564	0.472352928	1.9967	345.9514486	1.1646	8.666179609	1.1336	343.2909273

Promedios Totales

1.1580	350.5059	0.7604	327.7500418	1.3280	11.32593292	1.6238	354.7391333	1.0452	16.1259	0.7990	5.824788602
--------	----------	--------	-------------	--------	-------------	--------	-------------	--------	---------	--------	-------------

Fuente: Subdirección de Meteorología. SMA del GDF

Época llluvias (cont.)

Datos de 1994 a 2004

Promedios horarios

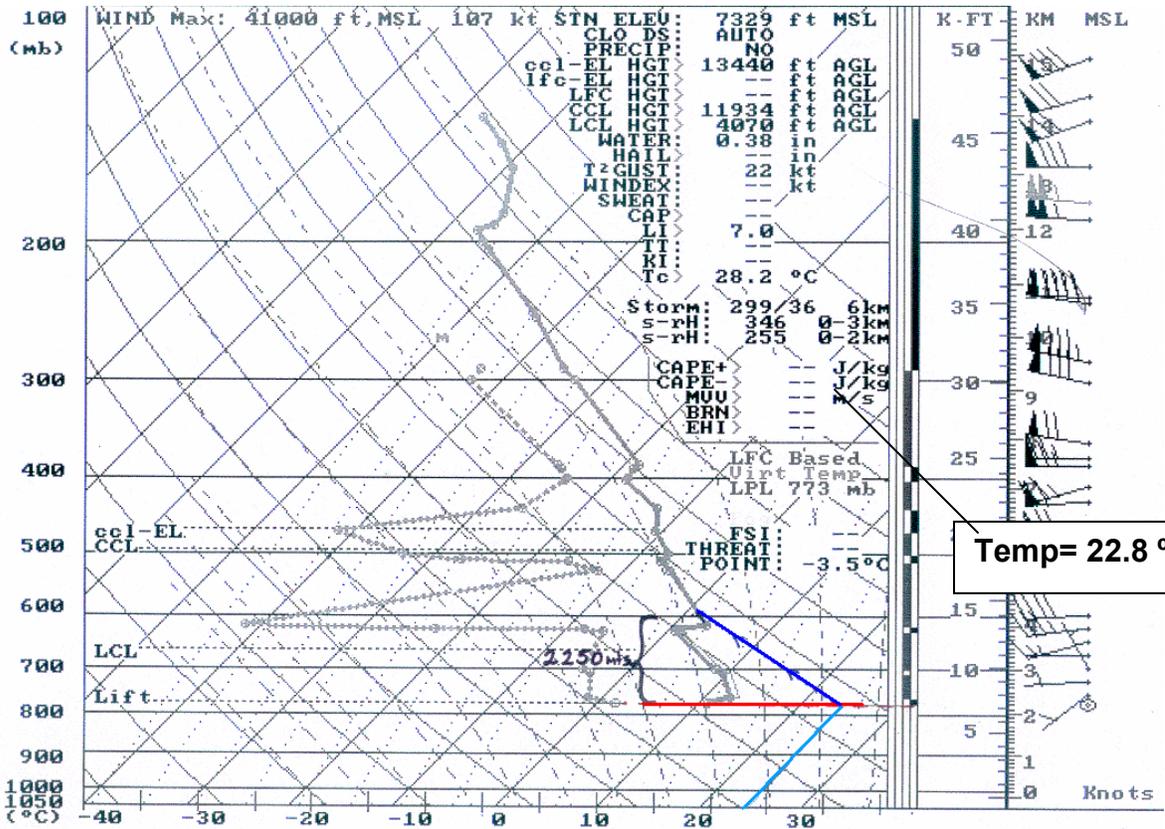
Hora	PED		CES		PLA		HAN	
	vel	dir	vel	dir	vel	dir	vel	dir
1	0.5769	300.2798817	0.1138	241.8091899	0.8748	318.3412941	0.7456	342.3284468
2	0.5020	299.2223167	0.1117	241.5589599	0.7850	316.3992271	0.6561	341.0216378
3	0.4543	295.4225433	0.0861	238.0005851	0.7134	315.8732453	0.6004	344.557953
4	0.4108	292.4114717	0.0698	217.2283379	0.6428	316.8567699	0.5502	353.8094349
5	0.3779	289.1082714	0.0542	190.0440239	0.5793	316.1494097	0.5140	3.84948192
6	0.3624	286.3248884	0.0465	161.2783368	0.5353	315.2432259	0.5224	16.40260327
7	0.3547	286.3460745	0.0688	139.2586596	0.5243	314.2822767	0.5584	26.13269853
8	0.2864	305.4729916	0.0858	128.7866585	0.5284	319.8104634	0.7179	35.17032705
9	0.3461	358.6717787	0.1122	85.66130139	0.5957	337.4765079	0.8760	36.80017345
10	0.4630	17.4419014	0.1593	56.89179794	0.7062	350.0110901	0.9103	33.43964654
11	0.5671	24.64966004	0.1688	32.48161452	0.7306	354.4228999	0.9565	24.58526198
12	0.6117	29.04250121	0.2226	21.47776247	0.7461	357.2865601	1.0886	21.64953302
13	0.6480	28.84704253	0.2934	24.70914342	0.7856	0.147340425	1.3125	23.34840506
14	0.6055	26.83523429	0.3337	34.45767689	0.7734	1.12011384	1.4679	27.33599307
15	0.5486	21.61854495	0.2863	56.81193979	0.7489	355.8921994	1.4125	31.04547753
16	0.4814	11.18279496	0.2725	76.48839396	0.6825	348.1664504	1.4079	35.1997002
17	0.5039	0.043308731	0.2957	73.22960976	0.7437	346.3033035	1.5471	36.27037362
18	0.6095	351.9652817	0.3334	56.0672166	0.9537	343.658169	1.8706	31.77323586
19	0.6665	343.5034034	0.3328	40.35524681	1.0669	339.5364685	1.9605	30.82760457
20	0.6347	332.8300268	0.2239	28.17202413	1.0940	334.1832957	1.7272	27.53312053
21	0.6320	323.1966168	0.1226	10.26307783	1.0225	330.229056	1.4736	22.77958825
22	0.6339	318.7580086	0.0512	327.776569	0.9812	326.2639188	1.2245	16.3494355
23	0.6575	310.0657512	0.0965	269.746854	0.9763	323.6347542	0.9922	2.061195353
24	0.6409	303.3055018	0.1253	249.0964897	0.9532	319.6053722	0.8550	349.830367

Promedios Totales

0.4225	337.6329022	0.0983	46.06084601	0.7517	334.6280	1.0402	21.73738412
--------	-------------	--------	-------------	--------	----------	--------	-------------

ANEXO E

Ejemplo del cálculo de la capa de mezcla



A partir del termodiagrama obtenido por las mediciones de la radiosonda lanzada en Tacubaya, y suponiendo una temperatura superficial de 22.8 ° C en la estación Plateros, se ubica este parámetro(línea azul cielo) y se intercepta con el nivel de superficie (línea roja).

Teniendo este punto, se asciende por la línea del gradiente adiabático hasta interceptar la curva de temperatura del sondeo. Este punto es la altura de la capa de mezcla, que para esta temperatura y este termodiagrama, es de 2250 m, medida en la escala que aparece en la derecha.

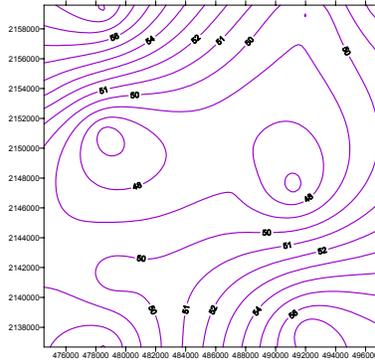
Fuente: Gabriel Hernández, SMA, Subdirección de Meteorología, GDF, 2005

ANEXO F

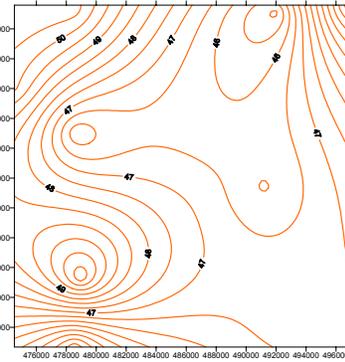
**Comportamiento anual de los parámetros
meteorológicos en estudio**

Humedad relativa promedio anual 1994-2004

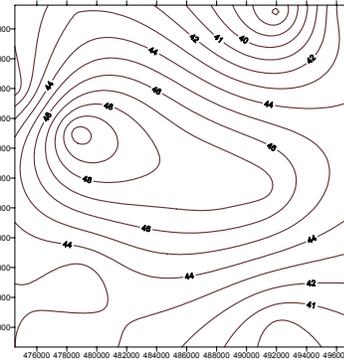
Año 1994



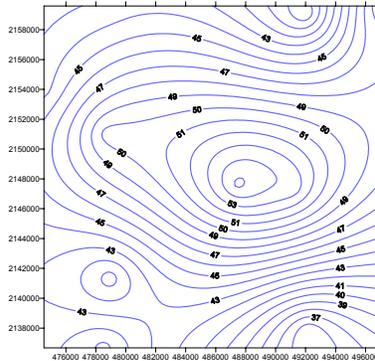
Año 1995



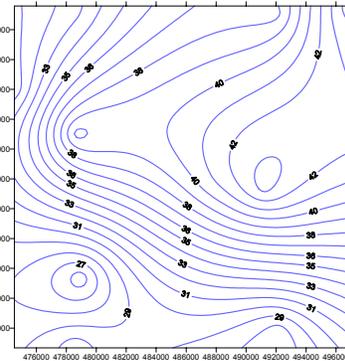
Año 1996



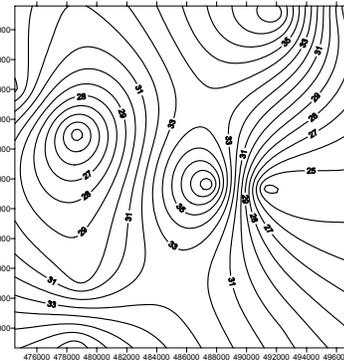
Año 1997



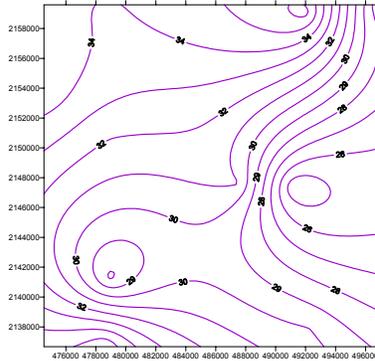
Año 1998



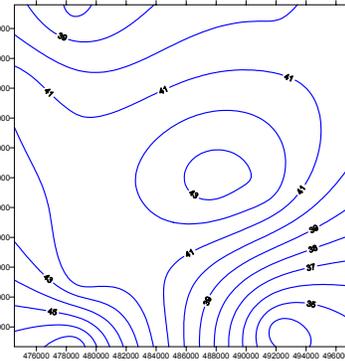
Año 1999



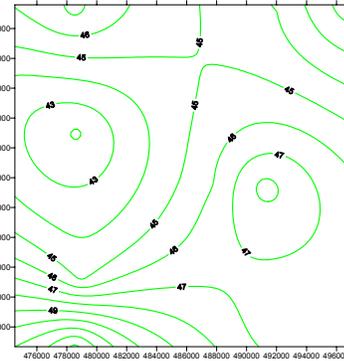
Año 2000



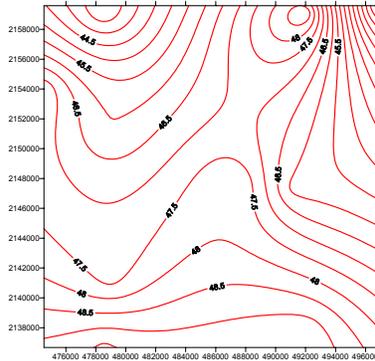
Año 2001



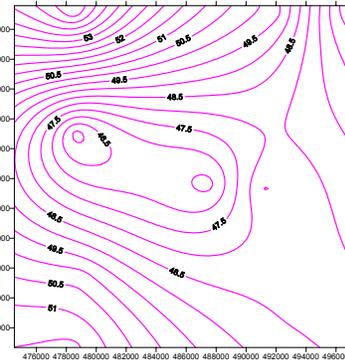
Año 2002



Año 2003

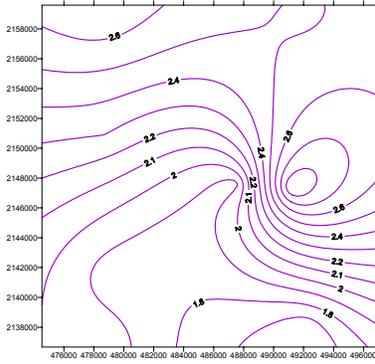


Año 2004

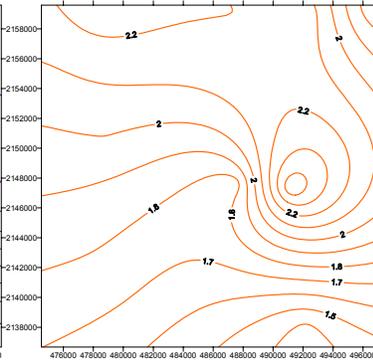


Velocidad promedio anual 1994-2004

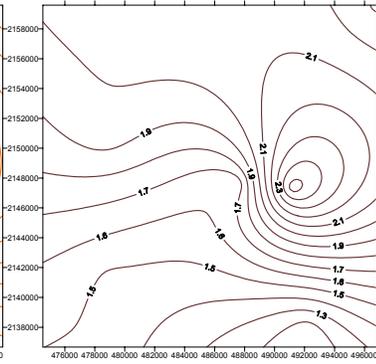
Año 1994



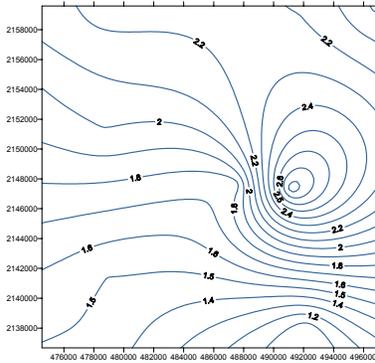
Año 1995



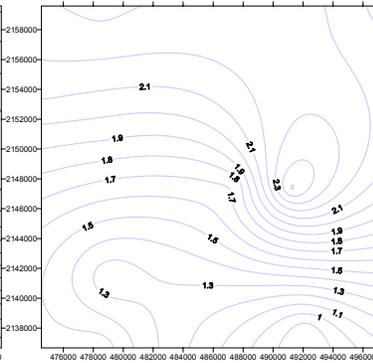
Año 1996



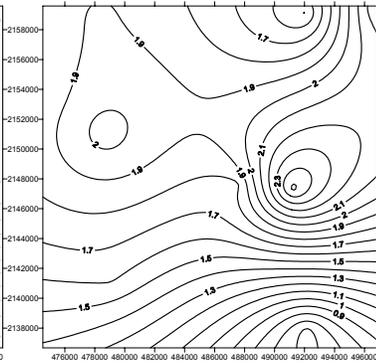
Año 1997



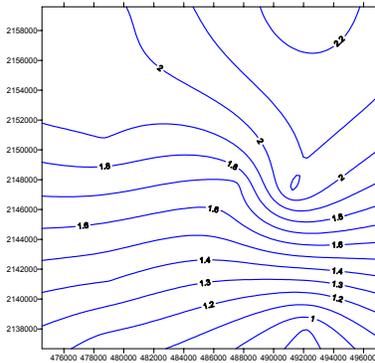
Año 1998



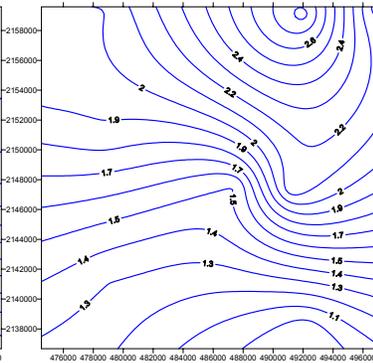
Año 1999



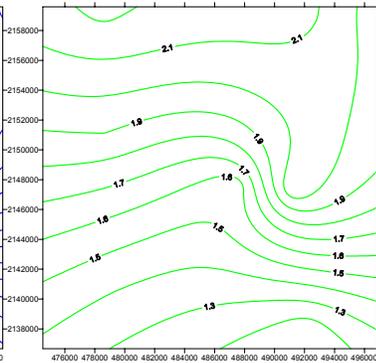
Año 2000



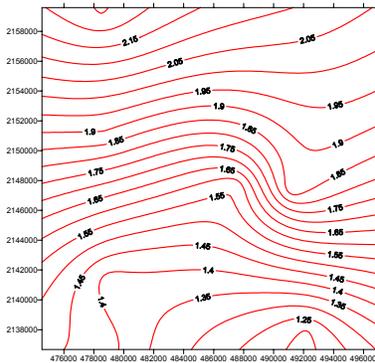
Año 2001



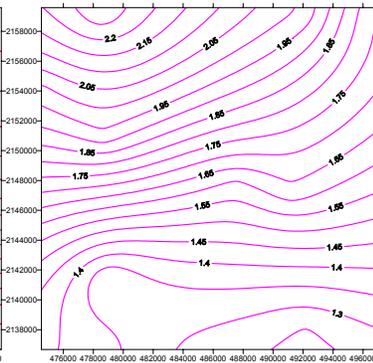
Año 2002



Año 2003



Año 2004



Referencias

Bornstein R., Lin Q, 2002. "Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: Three case studies". *Atmos. Environ.* 34, 507-516.

Bossert J.E. 1997. "An investigation of flow regimes affecting the México City region", *J. Appl. Met.* 36:119-140

Bravo A.H., Báez P. A.,1960. "Estudio del depósito de polvo por gravedad en la Ciudad de México", *Ingeniería Química*, junio.

Bravo A.H., Magaña Z. R., Lowe S. A., Ayanegui J.S., Sigler A. E. 1978 "Preliminary study of the photochemical process in the air pollution of Mexico City". Proceedings of the International Clean Air Conference, 182-101. The Clean Society of Australia and New Zealand. Brisbane, Australia. Mayo.

Bravo A. H., Torres J.R., 1986 "Relationship of hydrocarbons to oxidants in the Mexico City Atmosphere during 1985". Technical report. Proyecto CONACYT-UNAM: PCECBNA-001067. CCA. UNAM. México.

Bravo A.H., 1987. "La contaminación del aire en México".Editorial Universo Veintiuno.

Bravo H., Sosa R, Torres R.,1992. "Los criterios y metodologías para medir la calidad del aire". Tomado del libro "La contaminación atmosférica en México: sus causas y efectos en la salud".CNDH, México

Bravo J.L., M.T. Díaz, C. Gay, J. Fajardo.1992 "A short term prediction model for surface ozone at southwest part of the Mexico Valley". *Atmósfera* 9: 33-45

Bravo H., Sosa R., Sánchez P., Jaimes M., Lefohn S.,1992. "The "piston effect observed in ozone concentrations in Mexico City". *Environmental Manager: Air & Waste Management Association*. Aug. 2003.

Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México. México, CMPCCA, 1992. "Ozono. Bases para la elaboración de una estrategia de control".

Collins, C.O., Scott, S.L.,1993. "Air pollution in the valley of Mexico", *Geogr. Rev.*, 2:119-133.

Colls J., 2002. "Air Pollution". Spon Press. London and New York,2nd. Edition .

Consejo Nacional de Población. CONAPO, 2005. Consultado en la página <http://www.conapo.gob.mx>

- Cuevas M., M. M., 1997. "Estudio estadístico de la variación temporal de la partículas sólidas en la atmósfera de la ZMCM". Tesis UNAM, ENEP Acatlán México.
- Doran, J.C., Abbott, S., Archuleta, J., Bian, X., Chow, J. 1998. "The IMADA-AVER boundary layer experiment in the Mexico City area". *Bull. Am. Met. Soc.* 79(11): 2497-2508.
- Edgerton, Chow J.C., Coutler R.L., Doran J.C., Doskey, P.V. 1999. "Particulate air pollution in Mexico City : a collaborative research project". *J. Air Waste Manag. Assoc.* 49: 1221-1229.
- Fast, J.D., Zhong S., Doran, J.C. 1997: "Boundary layer processes within the Mexico City basin and their impact on spatial ozone patterns, 1, Meteorological analyses and simulations, *Twelfth Symposium on Boundary Layers and Turbulence*, Vancouver, BC, *American Meteor. Soc.*, 500-501.
- Fast J.D., Zhong S., 1998. "Meteorological factors associated with inhomogeneous ozone concentrations within the Mexico City basin". *J. Geophys. Res.* 103(D15): 18927-18946.
- Gobierno del Distrito Federal, 2003: "Programa general de desarrollo urbano del Distrito Federal". Consultado en <http://www.metropoli.org.mx/modules/Downloads/Perspectivad.doc>
- Hernández-Ávila, M., 1995 Valuación económica de los beneficios de reducir la contaminación del aire en la Ciudad de México, Instituto Nacional de Salud Pública, México.
- Instituto Mexicano del Petróleo .IMP, 1998. "Investigación sobre materia particulada y deterioro atmosférico". Subdirección de Protección Ambiental 1994-1998.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. "XII Censo General de Población y Vivienda. INEGI, 2000. Resultados Preliminares". México 2000.
- Inohue T., Hoshi, M., Taguri, M., 1986a "Regression analysis of Nitrogen Oxide concentration". *Atmos. Environ.* 20: 71- 85.
- Inohue T., Hoshi, M., Taguri, 1986b. "Prediction of Nitrogen Oxide concentration by a regression model". *Atmos. Environ.* 20: 2325- 2337.
- Jacobson M.Z., 1999 "Effects of soil moisture on temperatures, winds and pollutant concentrations in Los Angeles". *J. Appl. Meteorol.* 38: 607-616.
- Jáuregui O.E., 1971. "Mesoclima de la Ciudad de México", Instituto de Geografía, UNAM, México.

Jáuregui, E., 1984 "The urban climate of México City", Urban Climatology and its applications with Special Regards in Tropical Areas. Proceedings of the Technical Conference. W.M.O., México, D. F. Noviembre.

Jáuregui, E., 1988. "Local wind and air pollution interaction in the México basin". *Atmósfera*, 1:131-140.

Jáuregui E., Luyando E., 1999. "Global radiation attenuation by air pollution and its effects on the thermal climate in Mexico City", *Int. J. Climatol.*, 19: 683-694.

Khare M., Sharma P., 2002. "Modelling Urban Vehicle Emissions". WIT Press. Southampton, Boston.

Klaus D., Jáuregui E., 2001 "Ozone distributions in Mexico City using principal component analysis and its relation to meteorological parameters". *Atmósfera*. 14: 171-188

LANL/IMP. Los Álamos National Laboratory, Instituto Mexicano del Petróleo. 1994 "Mexico City Air Quality Research Initiative. Los Álamos New México".

Milford, J.B., A.G. Rusell, G. J. Rørae, 1989, NRC, 1991. "A new approach to photochemical pollution control: implications of spatial patterns in pollutant responses to reductions in nitrogen oxides and reactive organic gas emissions". *Environ. Sci. Technol.* 23(10): 1290-1301.

Molina M. J, Molina L. T., 2002, "Air Quality in the México MegaCity. An Integrated Assessment". MIT Cambridge MA, USA. Kluwer Academic Publishers Dordrecht/Boston/London.

National research Council, NRC. 1991. "Rethinking the ozone problem in urban and regional air pollution". National Academy Press. Washington, D.C.

Nickerson, E. C., G. Sosa, H. Hochstein, P. McCoslin, W. Kuke, A. Schanot, 1992. "Project Aguila. In situ measurements of Mexico City air pollution by a research aircraft". *Atmos. Environ.* 26B: 445-451.

Oke, T.R. 1993. "Global change and urban climates". *Proceedings of the 13th International Congress of Biometeorology* 12-18 September, Calgary, pp. 123-134

Ott, W., 1994. *Environmental statistics and Data Analysis*. Boca Raton. Lewis.

Perez-Vidal, H., G. B. Raga., 1998. "On the vertical distribution of pollutants in Mexico City". *Atmósfera*. 11:95-108.

Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, SMA. 1995. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Cuenca de México. Proaire. México

- Raga G.B., L. LeMoyné. 1996. "On the nature of air pollution dynamics in Mexico City-1. Nonlinear analysis". *Atmos. Environ.* 30(23): 3987-3993.
- Riveros, H.G., J.L. Arriaga, J. Tejeda, A. Julián-Sánchez, H. Riveros-Rosas, 1998. "Ozone and its precursors in the atmosphere of Mexico City". *J. Waste Manag. Assoc.* 48(9): 866-871.
- Ruiz, M.E., Arriaga, J.L., García, I., 1996. "Determinación de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera de la Ciudad de México mediante el uso de sistemas ópticos y métodos convencionales. *Atmósfera.* 9:119-135
- Santillán M. E., 1997. "Análisis por series de tiempo de la contaminación atmosférica por ozono". Tesis UNAM, ENEP Acatlán México.
- Scheaffer, Richard L., McClave, James T., 1995 "Probabilidad y estadística para Ingeniería". Grupo editorial Iberoamérica. México .
- Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. SMA, 2003. "Informe Climatológico Ambiental del Valle de México 2003".
- Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. SMA, 2004. "Compendio estadístico de la Calidad del aire 1986-1999".
- Secretaría del Medio Ambiente, SMA, 2004. "Informe Climatológico Ambiental de la Cuenca del Valle de México". <http://www.sma.df.gob.mx>.
- Servicio Meteorológico Nacional, SMN, 1994. Programa Sonda 1.1.
- Streit, G.E., Guzmán, F., 1996 "Mexico City Air Quality: Progress of an International collaborative Project to Define Air Quality Management Options. *Atmos. Environ.* 30(5): 723-733
- Torres J.R., 1992. "Construcción y aplicación de trayectorias de retroceso de parcelas de aire al estudio de la contaminación atmosférica por ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México" Tesis de maestría. DEPMI, UNAM. México.
- Whiteman, C.D., S. Zhong, X. Bian, J.D. Doran, 2000. Boundary layer evolution and regional-scale diurnal circulations over the Mexico Basin and Mexican plateau. *J. Geophys. Res.* 105 (D8): 10081-10102.
- Williams, M. D., Brown M. J., Cruz X., Sosa G., Streit G., 1995. "Development and testing of meteorology and air dispersion models for Mexico City". *Atmos. Environ.* 29(21):2929-2960
- Zannetti P., 1989. "Simulating short-term, short-range air quality dispersion phenomena". In Encyclopedia of Environmental Control Technology, Vol.2, Air

Pollution Control, ed. P.N. Cheremisinoff, Gulf Publishing Company: Houston, Texas. USA. pp.159-195.

Zannetti P., 1990 "Air Pollution Modelling, Theories, Computational Methods and available software". Van Nostrand Reinhold: New York, 1990.

Zannetti P., 1993. "Environmental modeling: computer methods and software for simulating environmental pollution and its adverse effects". Elsevier Applied Science.