



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA



**DETERMINACIÓN DE CARBONILOS EN LA ATMÓSFERA DE LA
ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

GABRIELA DOMÍNGUEZ LIMA

MÉXICO, D.F.

2008

Jurado Asignado:

Presidente	Profa. Josefina Elizalde Torres
Vocal	Prof. Rodolfo Torres Barrera
Secretario	Prof. Humberto Bravo Álvarez
1er. Suplente	Prof. Alfonso Duran Moreno
2°. Suplente	Profa. Erika María Ramírez Maya

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA. UNAM.

SECCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Dr. Humberto Bravo Álvarez

Dr. Rodolfo Sosa Echeverría

Gabriela Domínguez Lima

“No es con Ejércitos, ni con la Fuerza sino con mi Espíritu...”
Zacarías 4. 6

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme sus puertas y dejarme pertenecer a una de las mejores universidades del mundo. Por sus aulas, por sus profesores, y por cada uno de los que conforman dicha institución.

Especialmente gracias a cada una de las personas que estuvieron detrás de este trabajo, principalmente a la persona que dedicó tanto esfuerzo y apoyo en la dirección de esta tesis: Gracias Dr. Humberto Bravo A.

De igual manera agradezco al Dr. Rodolfo Sosa E. por su apoyo, asesoría, preocupación y amistad brindada.

Al Biol. Pablo Sánchez por el apoyo otorgado a esta tesis.

Al Dr. Daniel Grosjean de DGA, Inc., Ventura, California., USA; por la colaboración en el Análisis Químico de las muestras de aire.

A la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del Distrito Federal, dirigida por el Q. Armando Hernández Retama, por la colaboración y el servicio prestado en sus estaciones de monitoreo.

A la M. en I. Mónica Jaimes Palomera, por su apoyo en el manejo estadístico.

Al Q. Miguel Marín y al Sr. Roberto Galicia por el apoyo durante el muestreo.

A la Q. Ana Luisa Alarcón Jiménez, por el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

A todos mis amigos de la Sección de Contaminación Ambiental, del Centro de Ciencias de la Atmósfera; por su ayuda y colaboración en el proyecto de Carbonilos. A Jorge DVD., Vicente, Pedro, Anita. Gracias Amigos.

DEDICATORIAS

A mis padres

Por cada uno de los momentos más importantes de la vida, por siempre brindarme su apoyo incondicional en los momentos de desesperación, por su enseñanza, perseverancia y por depositar su confianza en mi.

A mi hermano

Por su confianza y apoyo leal, por alegrarse por cada uno de mis triunfos, por ser siempre mi cómplice y soñar conmigo en un nuevo día.

A mis amigos

Que siempre tuvieron una palabra de aliento, tanto en los buenos momentos como en los no tan buenos, pero siempre apoyándome en todo.

A Lulú, Ángeles, Iván, Ignacio, Vicente, Alfonso, Jorge D., Vero, Martha, Anita, Pedro.

Sin duda al Creador de Todo.

Gracias por ser mi Señor, por acompañarme en cada uno de los instantes de mi vida, por darme la Luz en los momentos de oscuridad, por darme la fuerza para enfrentar cada momento de la vida, por ser mi sendero. A ti Gracias.

ÍNDICE

	PAG
Índice	I
Listado de tablas	V
Listado de figuras	V
Glosario	VII
Resumen	IX
1 Introducción	1
Metas y objetivos	3
2. Antecedentes	4
2.1 Contaminación Atmosférica	4
2.1.1 La Atmósfera	4
2.1.2. Proceso de la Contaminación Atmosférica	6
2.1.2.1. Definición de Contaminante	6
2.2.2.2. Contaminación	6
2.1.3. Principales Contaminantes	7
2.1.3.1. Contaminantes Primarios	7
2.1.3.2. Contaminantes Secundarios	7
2.1.3.3. Contaminantes Criterio	8
2.1.3.4. Fuentes Móviles y Fuentes Estacionarias	8
2.1.4. Transporte y Transformación de Contaminantes	10
2.1.5. Smog Fotoquímico	10
2.1.5.1. Inversión Térmica	10

2.2 La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)	15
2.2.1 Descripción y Ubicación de la ZMCM	15
2.3. Contaminación Atmosférica en la ZMCM	17
2.3.1. Normas de Calidad del Aire de la ZMCM	22
2.4. Crecimiento de Población y Parque Vehicular	24
2.4.1. Crecimiento de la población en la ZMCM	24
2.4.2. Uso de Energía en la ZMCM	27
2.4.3. Parque Vehicular	28
2.4.3.1 Fuentes móviles y Combustibles utilizados	28
2.4.3.2. Emisiones por Fuentes móviles	29
3. Fundamentos Teóricos sobre carbonilos	32
3.1. Definición carbonilos	32
3.2. Carbonilos en la Atmósfera	32
3.3. Estudios previos	35
3.4. Principales fuentes de emisión de carbonilos de tipo Primario	36
3.4.1. Emisión de carbonilos Primarios	36
3.5 Carbonilos Secundarios	37
3.5.1 Fotoquímica de los Aldehídos	38
3.6 Efectos a la Salud	43
3.7 Toxicidad y Reactividad	44
4. Metodología	46
4.1 Método TO-11 USEPA. Determinación de Formaldehido	46
4.1.1. Resumen del Método TO – 11	47
4.1.2 Equipo de Análisis	48

4.2 Método por Cromatografía de Líquidos para Análisis de Carbonilos con 2,4 – dinitrofenil hidrazona con Detección simultanea por Espectroscopia U. V. – Visible (por arreglo de diodos) y por Espectrometría de masas por Ionización Química en Atmósferas a Presión Negativa (APNCI – MS).	49
4.2.1 Método Experimental	51
4.2.2 Equipo de Análisis	51
5. Desarrollo Experimental	53
5.1 Selección de Sitos de Muestreo	53
5.1.1 Descripción de las Estaciones de Monitoreo para el Muestreo de Carbonilos en la ZMCM. Para los Eventos de Muestreo por la mañana (CO) y por la tarde (O ₃)	54
Pedregal	54
Uam iztapalapa	54
Merced	55
xálostoc	55
Tlalnepantla	56
5.2 Equipo de Muestreo	57
5.3 Diseño Experimental del Muestreo	59
5.3.1 Calibración del Tren de Muestreo	58
5.3.2 Periodo de Muestreo	59
5.4. Muestreo de Carbonilos	60
5.4.1 Descripción del Muestreo	60
5.4.2 Método de Muestreo y Análisis	60
5.5 Conclusión del Muestreo	65
5.5.1 Manejo del Cartucho Muestreado	65
5.5.2 Relación de Cartuchos Muestreados	66
6. Resultados y Discusión	67
6.1 Carbonilos encontrados en la Atmosfera de la ZMCM.	67
6.1.1 Concentración Promedio de Carbonilos	69

6.2 Concentración de Carbonilos con Mayor Abundancia En la ZMCM por Sitio de Monitoreo	72
Pedregal	73
Uam iztapalapa	74
Merced	75
Tlalnepantla	76
Xalostoc	77
7. Evaluación de Resultados	78
7.1 Correlación de Carbonilos por Evento	84
Pedregal Evento 1	84
Pedregal Evento 2	85
UAM Iztapalapa Evento 1	86
UAM Iztapalapa Evento 2	87
Merced Evento 1	88
Merced Evento 2	88
Xalostoc Evento 1	89
Xalostoc Evento 2	89
Tlalnepantla Evento 1	90
Tlalnepantla Evento 2	91
7.2 Correlaciones para las cinco Estaciones de Monitoreo	92
1er. Evento. (Muestreo por la mañana)	92
2do. Evento. (Muestreo por la tarde)	92
7.3 Correlaciones Totales	93
7.4 Relación pm/am Promedio	94
7.5 Perfil de Carbonilos presentes en la Atmósfera de la ZMCM	95
7.6 Análisis de Componentes Principales	97
8. Conclusiones y Recomendaciones	100
8.1 Conclusiones	100
8.2 Recomendaciones	104
Bibliografía y Referencias Electrónicas	105
Anexos	

Lista de Tablas	PÁG.
2.1 Composición Gaseosa del Aire Limpio	5
2.2 Ciclo Fitolítico de NO ₂ en Ausencia de Contaminación por Hidrocarburos	13
2.3. Ciclo Fitolítico del NO ₂ , con Interacción de Hidrocarburos Contaminantes.	13
2.4. Reacción de radicales para la Formación del Ozono	14
2.5. Especies presentes en el Smog Fotoquímico	14
2.6. Normas de Calidad del Aire de la ZMCM para los Contaminantes Criterio.	23
3.1 Valores Estimados de MIR. Carter W. P.	45
4.1. Posibles especies determinadas con HPLC – Espectroscopia UV – Visible - APNCI-MS)	49
5.1. Relación de Cartuchos Muestreados	66
6.1 Concentración Promedio de Carbonilos presentes en los cinco sitios de muestro en la ZMCM	69
6.2. Concentración de Carbonilos en Pedregal	73
6.3. Concentración Carbonilos UAM Iztapalapa	74
6.4. Concentración Carbonilos Merced	75
6.5. Concentración Carbonilos Tlalnepantla	76
6.6. Concentración Carbonilos Xalostoc	77
7.1 Análisis de Componentes Principales, incluyendo al CO	97
7.2 Análisis de Componentes Principales, incluyendo al O ₃	98

Lista de Figuras	PÁG.
2.1 Perfil Normal de Temperatura de la Atmósfera	4
2.2 Composición del Aire	5
2.3 Proceso de Contaminación Atmosférica	6
2.4 Clasificación de Contaminantes	9
2.5 Inversión Térmica	11
2.6 Ciudad de México. República Mexicana	15
2.7 Cuenca del Valle de México	16
2.8 Zona Metropolitana de la Ciudad de México	17
2.9. Crecimiento de Población en la ZMCM	25
2.10 Distribución de las Industrias en la ZMCM	27
2.11 Distribución del Parque Vehicular en la ZMCM	28
2.12 Distribución de Combustible en la ZMCM	29
4.1 Cartucho preempacado 2,4-DNPH	48
5.1 Tren de Muestreo	57
5.2. Calibración del Tren de Muestreo	58
5.3. Diagrama de Muestreo	60
5.4 Preparación del Tren de Muestreo	61
5.5 Tren Muestreo Pedregal	61
5.6 Tren Muestreo UAM Iztapalapa	61

5.7	Tren Muestreo Xalostóc. Distribuidora VW	62
5.8	Tren Muestreo Merced	62
5.9	Tren Muestreo Tlalnepantla	62
5.10	Vista Desde Sitio de Monitoreo Pedregal 16 Abril 7:45 hrs.	63
5.11	Vista Desde Sitio de Monitoreo Pedregal 16 Abril 13:04 hrs.	63
5.12	Vista Desde Sitio de Monitoreo Pedregal 20 Mayo 7:48 hrs.	64
5.13	Vista Desde Sitio de Monitoreo Pedregal 20 Mayo 13:54 hrs.	64
5.14	Vista Desde Sitio de Monitoreo UAM Iztap. 23 Mayo 14:05 hrs.	64
5.15	Vista Desde Sitio de Monitoreo Xalostoc 10 Abril 07:14 hrs.	64
5.16	Vista Desde Sitio de Monitoreo Tlalnepantla 30 Mayo 12:43 hrs.	64
5.17	Vista Desde Sitio de Monitoreo Tlalnepantla 13 Abril 08:41 hrs.	65
5.18	Vista Desde Sitio de Monitoreo Tlalnepantla 13 Abril 13:10 hrs.	65
5.19	Envasado y Etiquetado de Cartuchos	65
6.1.	Relación de Carbonilos Presentes por la mañana	68
6.2.	Relación de Carbonilos Presentes por la tarde	68
6.3.	Concentración Promedio de algunos Carbonilos encontrados en la ZMCM	71
6.4	Representación de Modelo de Caja	72
6.5.	Concentración de Carbonilos con mayor abundancia Estación Pedregal	73
6.6.	Concentración de Carbonilos con mayor abundancia UAM Iztapalapa	74
6.7.	Concentración de Carbonilos con mayor abundancia Merced	75
6.8.	Concentración de Carbonilos con mayor abundancia Tlalnepantla	76
6.9.	Concentración de Carbonilos con mayor abundancia Xalostoc	77
7.1	Concentración de Acetona	79
7.2	Concentración de Formaldehído, Acetaldehído, 2-Butanona. Durante los Eventos de Muestreo	80
7.3	Concentración de Propanal y Butanal/Isobutanal	81
7.4	Concentración de Ciclopentanona, Crotonaldehído, Benzaldehído, Metilvinilcetona durante los Eventos de Muestreo	82
7.5	Perfil de Formaldehído, Acetaldehído, Acetona Y Propanal presentes en las cinco zonas de Muestreo	95
7.6	Perfil de 2 – Butanona y Benzaldehído presentes en las cinco zonas de Muestreo.	96

GLOSARIO

APCI:	Ionización Química a Presión Atmosférica
API-ES:	Electro Spray a Presión Atmosférica
APNCI-MS:	“Atmospheric Pressure Negative Chemical Ionization - Mass Spectrometry”. Ionización Química a Presión Atmosférica – Espectrometría de Masas
°C:	Grado Celsius
CE:	Centro
C₁ – C₇:	1 átomo de carbono hasta 7 átomos de carbono
CH₃CN:	Acetonitrilo
CIMS:	Espectrometría de Masas con Ionización Química
CNA:	Comisión Nacional del Agua
CO:	Monóxido de Carbono
CO₂:	Dióxido de Carbono
CONAPO:	Comisión Nacional de Población
COVs:	Compuestos Orgánicos Volátiles
DAD:	Detector en Arreglo de Diodos
DNPH:	Dinitro Fenil Hidrazona
E.U.A.	Estados Unidos de América
GDF:	Gobierno del Distrito Federal
GLP:	Gas Licuado Perfecto
GN:	gas Natural
HC:	Hidrocarburos
HCHO:	Formaldehído
HNO₃:	Ácido nítrico
HPLC:	“High Performance Liquid Chromatography” – Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución.
IMECA:	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire
LC:	Cromatografía de Líquidos
LGEEPA:	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LPM:	Litros por minuto
MEK:	Metil etil cetona
MER:	Merced
MERCO:	Merced al pico de monóxido de carbono
MERO₃:	Merced al pico de ozono
mg/m³:	Miligramos por metro cúbico
min.:	Minuto
MIR:	Máximo Incremento de Reactividad
ml/min:	mililitro por minuto
mm:	Milímetro
MS:	Espectrometría de Masas
msnm:	Metros sobre nivel del mar
MTE:	Metil terbutil éter
NE:	Noreste
nm:	Nanómetros
NO:	Noroeste

NO₂:	Dióxido de Nitrógeno
NOM:	Normas Oficiales Mexicanas
NO_x:	Óxidos de Nitrógeno
O₃:	Ozono
PAN:	Peroxiacetilo de Nitrógeno
Pb:	Plomo
PED:	Pedregal
PEDCO:	Pedregal al pico de monóxido de carbono
PEDO₃:	Pedregal al pico de ozono
PICCA:	Programa Integral para el Control de Contaminación Atmosférico
PM₁₀:	Partículas Menores a 10 micras
PM_{2.5}:	Partículas menores a 2.5 micras
PPM:	Partes por millón
PROAIRE:	Programa para mejorar la calidad del aire
psia:	"Pounds per Square Inch Absolute" - libras por pulgada cuadrada absoluta.
PST:	Partículas Suspendidas Totales
RAMA:	Red Automática de Monitoreo Atmosférico
SE:	Sureste
SO:	Suroeste
SO₂:	Óxidos de Azufre
TLA:	Tlalnepantla
TLACO:	Tlalnepantla al pico de monóxido de carbono
TLAO₃:	Tlalnepantla al pico de ozono
UAMI:	Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa
UAMICO:	UAM Iztapalapa al pico de monóxido de carbono
UAMIO₃:	UAM Iztapalapa al pico de ozono
USEPA:	U.S. Environmental Protection Agency
UV:	Luz ultravioleta
UV-VIS:	Luz Ultravioleta – Luz visible
VW:	Distribuidora Volkswagen
XAL:	Xalostoc
XALCO:	Xalostoc al pico de monóxido de carbono
XALO₃:	Xalostoc al pico de ozono
ZMCM:	Zona Metropolitana de la Ciudad de México
µm:	Micrómetros

RESUMEN

Los carbonilos en la atmósfera urbana son un punto de atención científica y reguladora debido a que son contaminantes tóxicos del aire y juegan un papel importante en la formación del smog fotoquímico. Las emisiones vehiculares son la principal fuente de carbonilos en el aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)

El presente trabajo, contribuye con uno de los primeros estudios completos de especiación de carbonilos, llevado a cabo en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM); identificando y cuantificando 74 especies diferentes de carbonilos entre carbonilos primarios y secundarios; incluyendo especies tóxicas y peligrosas para la salud, como lo son formaldehído, acetaldehído y acetona.

Para la determinación de especies se utilizó cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), con detección simultánea por espectroscopia uv-visible (rearreglo de diodos) y por espectrometría de masas por ionización química en atmósferas a presiones negativas (APNCI-MS “Atmospheric Pressure Negative Chemical Ionization Mass Spectrocometry”).

Entre los carbonilos más abundantes se detectan acetona, formaldehído, acetaldehído, considerados como especies tóxicas y peligrosas para la salud. El promedio de concentración de acetona, formaldehído y acetaldehído es 27.473, 10.122 y 9.583 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, además de Propanal (1.365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y 2 – butanona (4.679 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

INTRODUCCIÓN

La contaminación Atmosférica en los últimos años, ha generado gran preocupación debido a los altos niveles alcanzados, sobre todo en grandes urbes como la Ciudad de México y su área Metropolitana (ZMCM).

La alta emisión y acumulación de contaminantes en el aire provoca la necesidad de conocer, clasificar y determinar su concentración, a fin de determinar su origen, su propagación, el deterioro de materiales, toxicidad y los niveles tolerables a la salud, de tal forma que sea posible controlar sus emisiones, así como las de sus precursores.

El análisis de aldehídos y otros compuestos carbonilos en la atmósfera ha recibido considerable atención en varias partes del mundo, incluyendo México.

El estudio de los compuestos con grupos carbonilos en la troposfera es de gran importancia, puesto que una vez que se encuentran en la atmósfera en cantidades significativas para intervenir en procesos de foto-oxidación, forman con los hidrocarburos y otros compuestos orgánicos, radicales libres que intervienen en una serie de reacciones fotoquímicas complejas, dentro de lo que actualmente se denomina “smog fotoquímico”. El formaldehído es el principal carbonilo abundante en atmósferas contaminadas, incluyendo la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El presente trabajo, contribuye con el primer estudio completo de especiación de carbonilos primarios y secundarios, comprendido en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM); generando hasta 74 especies diferentes de carbonilos; entre las que se encuentran especies tóxicas y peligrosas para la salud, como lo son formaldehído, acetaldehído, y acetona.

El presente proyecto tiene como meta la determinación de compuestos carbonilos de tipo primario y secundario en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la

Ciudad de México (ZMCM), ya que estos compuestos representan una fuente importante de contaminación atmosférica, por sus características tóxicas como irritación de mucosas y membranas de las vías respiratorias, irritación ocular y de la piel, así como por su rol en los procesos fotoquímicos en la contaminación atmosférica como precursores de ozono.

Los carbonilos en áreas urbanas reciben una gran atención científica y normativa por sus propiedades tóxicas, mutagénicas y cancerígenas (Atkinson, WHO, IARC). Las mediciones de carbonilos son importantes por su potencial de formación de ozono, utilizando para su evaluación el coeficiente de reactividad MIR (Maximal Incremental Reactivity) (Carter). Estas propiedades de los carbonilos tienen y tendrán importancia por las actuales y futuras políticas ambientales por el uso de combustibles alternos (etanol y otros combustibles).

Las concentraciones de carbonilos en la atmósfera de la ZMCM, se deben principalmente a las cantidades elevadas de emisiones de fuentes fijas y móviles, las cuales no se encuentran monitoreadas periódicamente y, como consecuencia de esto, no están debidamente reguladas. Las emisiones vehiculares son la principal fuente de carbonilos en el aire urbano de acuerdo al National Research Council, Board on Toxicology and Environmental Health Hazard (NRC, 1981).

De tal forma que, con los resultados obtenidos en este proyecto, es posible conocer información reciente del tipo de carbonilos presentes, y del perfil de concentraciones en cinco sitios representativos de la ZMCM, muestreados con diferentes condiciones de tráfico, actividad industrial y densidad de población.

Lo anterior, con el propósito de proponer estrategias de control adecuadas, enfocadas a controlar los niveles de estos contaminantes en la atmósfera, además de obtener datos recientes de la calidad del aire carbonilos en la ZMCM, como un nuevo parámetro de contaminación, que actualmente no es considerado. Para el diseño de las estrategias de control de la contaminación atmosférica.

META

Realizar la evaluación de carbonilos en la Atmósfera, en sitios estratégicos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y determinar su perfil de concentraciones, para orientar la toma de decisiones en la estrategia del uso de los combustibles alternos.

OBJETIVOS

1. Implementar la técnica de muestreo para carbonilos en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)
2. Determinar la concentración de carbonilos de tipo primario y secundario en la atmósfera, en cinco sitios representativos de la ZMCM, en la hora de mayor concentración de monóxido de carbono y de ozono respectivamente.
3. Análisis de los carbonilos por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), con detección simultánea por espectroscopia uv-visible (arreglo de diodos) y por espectrometría de masas por ionización química en atmósferas a presiones negativas (APNCI-MS “Atmospheric Pressure Negative Chemical Ionization Mass Spectrocometry”), que fueron realizadas por el Dr. Daniel Grosjean en DGA Inc. en Ventura California, USA.
4. Conocer las concentraciones existentes de carbonilos en la atmósfera de la Ciudad de México para su futuro uso en estudios de impacto ambiental, evaluación de estrategias en el uso de combustibles alternos.

ANTECEDENTES

2

2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

2.1.1 ATMÓSFERA

La atmósfera es una capa gaseosa de aproximadamente 10,000 Km de espesor que rodea la litosfera e hidrosfera. Esta compuesta de gases y de partículas sólidas y líquidas en suspensión atraídas por la gravedad terrestre. En ella se producen todos los fenómenos climáticos y meteorológicos que afectan al planeta, regula la entrada y salidas de energía de la tierra.

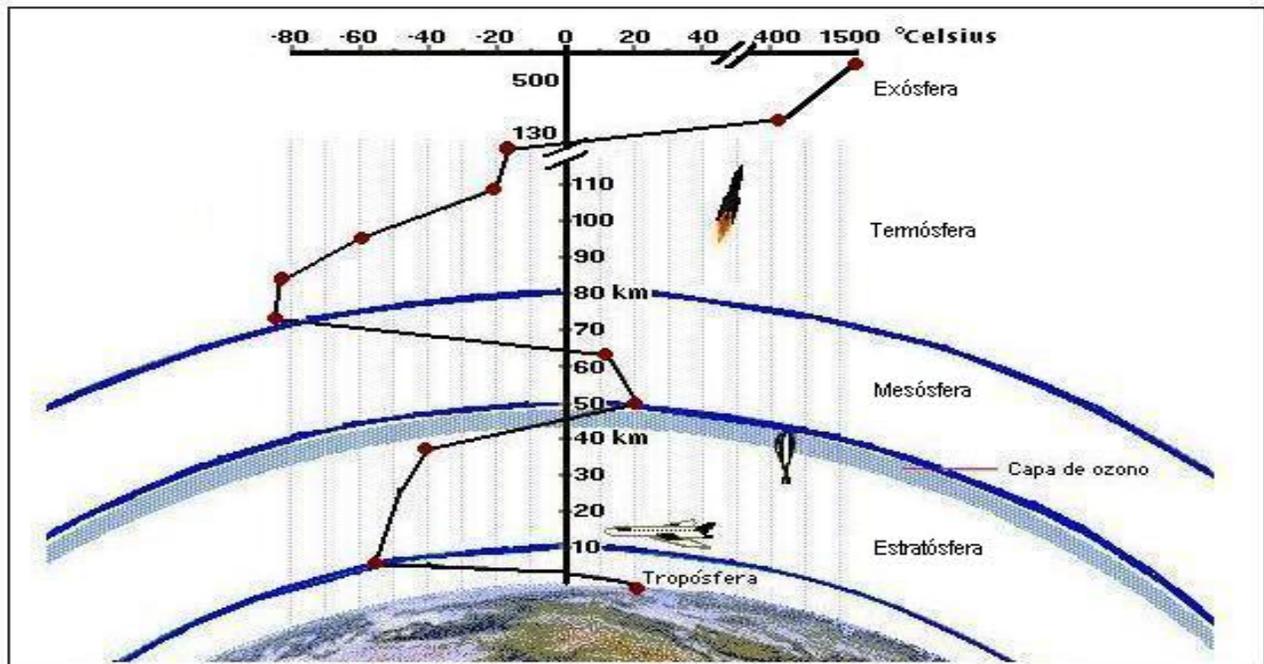


FIG. 2.1 PERFIL NORMAL DE TEMPERATURA DE LA ATMÓSFERA.

El aire puro es una mezcla gaseosa compuesta por 78% nitrógeno, que es el más abundante y oxígeno en un 21%. El 1% restante lo forman el argón (0.9%), en dióxido de carbono (0,03%), distintas proporciones de vapor de agua, trazas de hidrógeno, ozono, metano, monóxido de carbono, helio, neón, kriptón y xenón. (Miller, 1994; Seinfeld y Pandis, 1988). Ver figura 2.2.

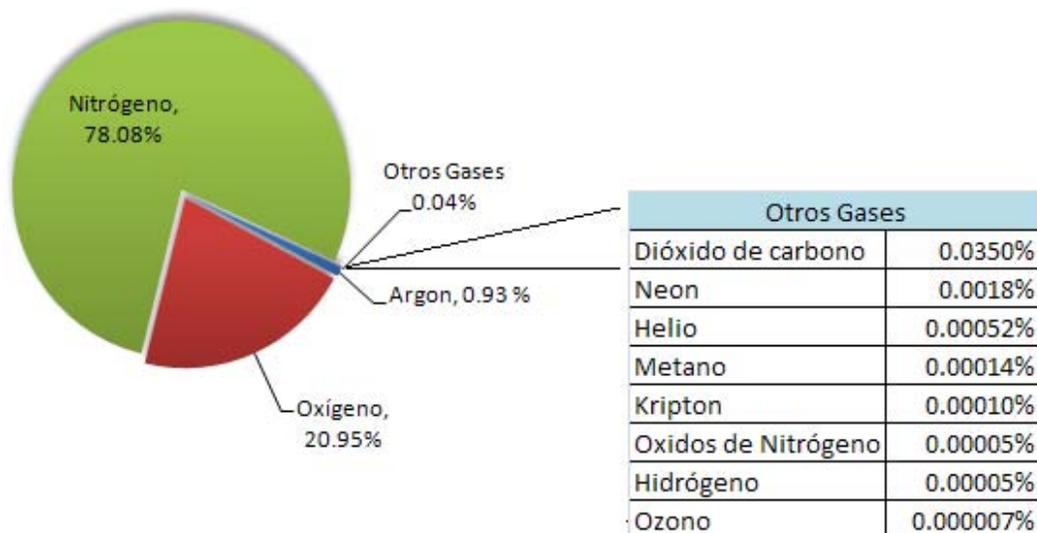


FIG. 2.2 COMPOSICIÓN DEL AIRE SECO

En la Tabla 2.1 se presenta la composición gaseosa del aire seco, limpio en ppm (partes por millón) y el equivalente en mg/m³ (condiciones estándar de P. y T.)

Gas	ppm (vol)	µg/m ³
Nitrógeno	780900	8.95 x 10
Oxígeno	209400	2.74 x 10
Agua	-----	-----
Argón	9300	1.52 x 10
Bióxido de carbono	315	5.67 x 10
Neón	18	1.49 x 10
Helio	5.2	8.5 x 10
Metano	1.0 -1.2	6.56 - 7.87 x 10
Kriptón	1	3.43 x 10
Óxido de nitrógeno	0.5	9.0 x 10
Hidrógeno	0.5	4.13 x 10
Xenón	0.08	4.29 x 10
Vapores orgánicos	0.02	-----

FUENTE : Stern A. C., R. W. Boubel, D.B. Turner, D. L. Fox, Fundamentals of Air Pollution, 1984

TABLA 2.1 COMPOSICIÓN GASEOSA DEL AIRE LIMPIO

2.1.2 PROCESO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

2.1.2.1. DEFINICIÓN DE CONTAMINANTE

Se define como contaminante toda materia o sustancia o sus combinaciones o sus compuestos derivados químicos o biológicos, que al incorporarse al aire, agua o suelo puedan alterar sus características naturales; así como toda forma de energía que al operar sobre aire, agua o suelo altere su estado normal.

2.1.2.2. DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN

Por contaminación se entiende la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos, que perjudiquen o molesten la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna, o degraden la calidad del aire, del agua, del suelo, de los bienes, de los recursos de la nación en general o de los particulares.



FIG. 2.3 PROCESO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Los contaminantes del aire pueden incorporarse al suelo o al agua, así mismo, pueden sufrir procesos de transporte y transformación, estos procesos son función de las características de la fuente y de las condiciones del medio sobre el que se incide.

La contaminación del aire actualmente sigue siendo uno de los problemas ambientales más importantes, y es principalmente el resultado de las actividades del hombre. El mayor índice de contaminación es provocado por las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias.

2.1.3 PRINCIPALES CONTAMINANTES

Las principales emisiones de contaminantes a la atmósfera son generadas por fuentes antropogénicas y por fuentes naturales.

Entendiendo por fuentes antropogénicas, aquellas actividades realizadas por el hombre; de las cuales se dividen en fuentes fijas y fuentes móviles.

Dependiendo del tipo de fuente existirán distintos tipos de contaminantes, los cuales son emitidos en cantidades muy altas y estas sustancias ocasionan severos daños a la salud.

2.1.3.1 CONTAMINANTES PRIMARIOS

Son los contaminantes que se emiten directamente a la atmósfera desde fuentes específicas, entre los que podemos mencionar a los óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), algunos hidrocarburos HC, partículas, monóxido de carbono (CO), entre otros gases de efecto invernadero y CO₂; una vez en la atmósfera están sujetos a dispersión y transporte, y simultáneamente a transformaciones físicas y químicas.

2.1.3.2 CONTAMINANTES SECUNDARIOS

Los contaminantes secundarios, son los que se forman en la atmósfera como resultado de la oxidación, reducción o reacciones fotoquímicas, en los que podemos mencionar al ozono (O₃), nitrato de peroxiacetilo (PAN), partículas, así como algunos carbonilos entre otros.

2.1.3.3 CONTAMINANTE CRITERIO

Los contaminantes criterio se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos, flora, fauna y sus ecosistemas. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en los Estados Unidos (EU), con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población. Actualmente el término “contaminantes criterio” ha sido adoptado en muchos países, y son: Bióxido de azufre (SO₂), Bióxido de nitrógeno (NO₂), Partículas (PST, PM₁₀, PM_{2.5}), Plomo (Pb), Monóxido de carbono (CO), Ozono (O₃).

Para cada contaminante criterio se han desarrollado guías y normas de calidad del aire. Las guías son recomendaciones que establecen los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos, a fin de reducir los riesgos o proteger de los efectos nocivos a la población en general y al medio ambiente. Las normas de calidad del aire establecen las concentraciones máximas de los contaminantes atmosféricos que se permiten durante un período y frecuencia definidos, estos valores límite son diseñados con un margen de protección ante los riesgos y tienen la finalidad de proteger la salud humana y el medioambiente.

2.1.3.4 FUENTES MÓVILES Y FUENTES ESTACIONARIAS

Las *fuentes móviles* incluyen diversas formas de transporte, tales como automóviles, camiones y aviones. La principal fuente móvil de contaminación del aire en zonas urbanas son los vehículos automotores, debido a la masa emitida de emisiones importantes entre ellos el monóxido de carbono (en la ZMCM es aproximadamente un 98% de la masa total de contaminantes).

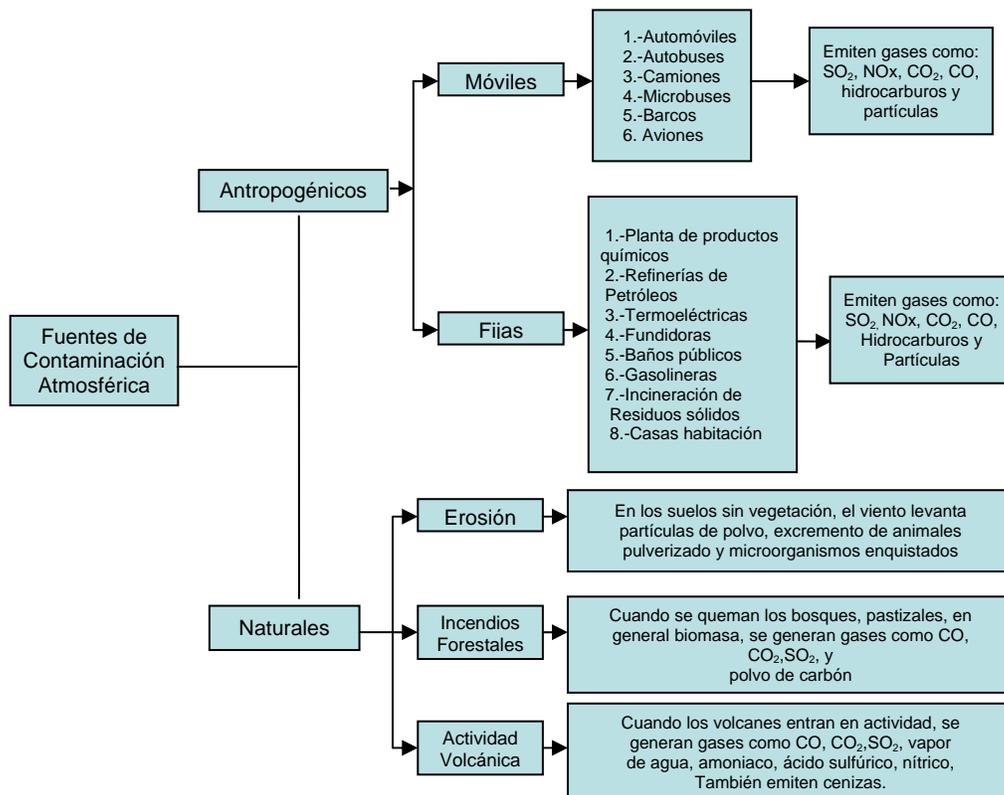
Las *fuentes estacionarias* son las instalaciones fijas. Los contaminantes emitidos por fuentes estacionarias provienen principalmente de la combustión de hidrocarburos fósiles en plantas de generación de energía y de la emisión de

contaminantes en procesos industriales (incluyendo refinerías, industrias químicas, etc.). La industria química en general es la principal responsable de la emisión de muchos contaminantes peligrosos a la atmósfera.

Una *fente puntual* se refiere a una fuente en un punto fijo, tal como una chimenea o un tanque de almacenamiento que emite contaminantes.

Una *fente de área* se refiere a una serie de fuentes pequeñas que en conjunto sus emisiones sumadas pueden afectar la calidad del aire en una región.

Fente de Línea: Se refiere a un foco contaminante situado en una línea recta o curva fija en el espacio y, cuya área es pequeña en relación al tamaño del área de estudio. Un ejemplo típico puede ser el de una carretera, autopista, vía de tren o cualquier otra línea que emita contaminantes a la atmósfera.



Fuente: National Geographic – Noviembre 2000.

FIG. 2.4 CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES.

2.1.4 TRANSPORTE Y TRANSFORMACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Además de la composición natural de la atmósfera, todos los fenómenos meteorológicos pueden jugar un papel importante en el transporte y transformación de los contaminantes presentes en la atmósfera.

Las condiciones meteorológicas que afectan principalmente al transporte y transformación de los contaminantes son:

- Presión atmosférica
- Temperatura
- Inversión Térmica
- Grado de humedad
- Radiación solar (incidente y reflejada por la tierra)
- Condiciones del Viento (velocidad y dirección)

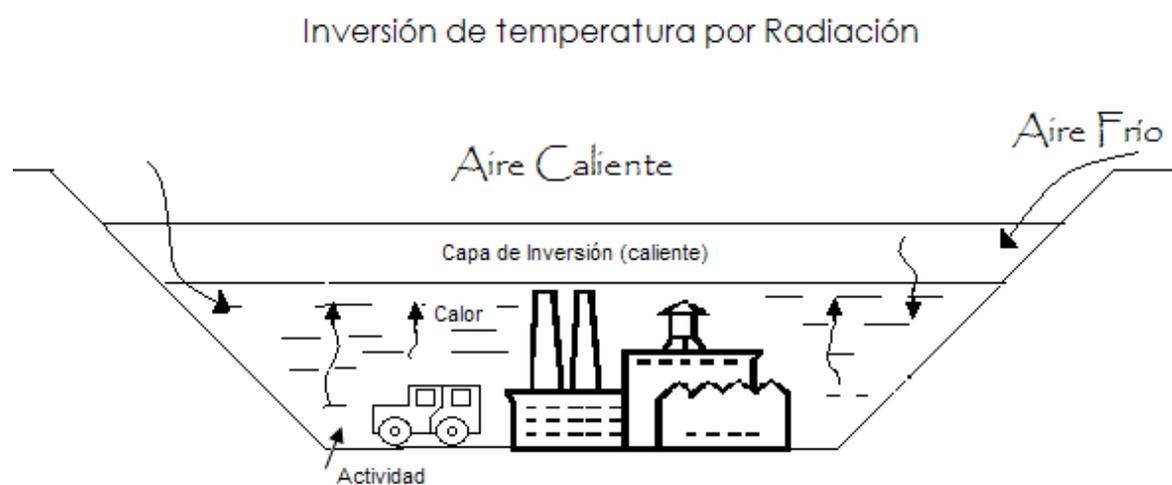
2.1.5 SMOG FOTOQUÍMICO

2.1.5.1 INVERSIÓN TÉRMICA.

Algunos fenómenos meteorológicos de transporte y difusión pueden ser complicados por la topografía del área; por ejemplo, los valles, cuando el flujo general es bajo, se tiende a canalizar este flujo hacia los ejes del valle lo que produce un viento con una presencia de distribución bidireccional. Cuando el flujo general de viento es bajo y el cielo es claro, las diferencias en la velocidad de calentamiento y de enfriamiento de varias proporciones de la superficie y paredes del valle causan pequeñas diferencias de densidad y presión de la atmósfera lo que resulta en pequeños patrones de circulación (campos de viento)

El smog fotoquímico se refiere a una mezcla compleja de productos, que se forman a partir de gases, partículas (precursores fotoquímicos por influencia de la radiación solar y condiciones atmosféricas como humedad Relativa, temperatura, estabilidad del viento, etc.) óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV). También pueden participar otras especies contaminantes presentes en la atmósfera como dióxido de azufre, así como hidrocarburos procedentes de otras fuentes, pero no son esenciales para la producción de los característicos niveles elevados de oxidantes asociados con la formación del smog fotoquímico. (Bravo, A. H., 1987).

En la figura 2.5 se ilustra la formación de una inversión de temperatura por radiación en un valle o cuenca.



Fuente: Bravo A. H. (1986)

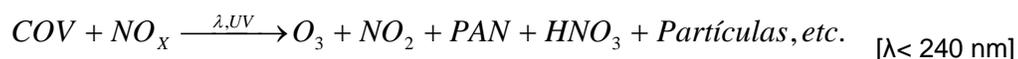
FIG. 2.5 INVERSIÓN TÉRMICA

Durante el día la radiación del calor de la superficie del suelo del valle hacia la atmósfera y, por consecuencia, el calentamiento de la caja del aire en contacto con la superficie causa cambios de densidad en el aire.

Durante la noche, el aire se mueve pendiente abajo hacia la superficie, lo que desplaza el aire que está más caliente que esta en contacto con ella. Así queda en lugar de éste una masa de aire más frío, limitada por los lados por las paredes del valle y en la vertical por la capa de aire más caliente. Los contaminantes emitidos a la atmósfera cuando existe esta inversión de temperaturas tendrán un movimiento vertical limitado por la base de esta inversión. Ver Fig. 2.1. Esquema de una atmósfera estándar.

El smog, también se favorece por condiciones meteorológicas estables; cuando las emisiones urbanas se retienen en un área de aire urbano mediante una inversión y actúan como una cubierta sobre un recipiente de reacción (reactor), se maximizan el contacto y las reacciones, al mismo tiempo impiden la dispersión de contaminantes. Los incidentes o escenarios más frecuentes suceden cuando esta inversión permanece en forma estacionaria durante varios días, pues se presentan nuevas emisiones y reacciones que se adicionan a las de los días previos.

El principal componente del smog es el ozono (O₃), formado por la interacción de óxidos de nitrógeno (producido por fuentes de combustión, automóviles, calentadores, etc.) y por COVs (hidrocarburos reactivos) originados de la evaporación de la gasolina, gases de combustión y solventes utilizados en productos tales como pinturas. (Haagen - Smith 1952). Estos dos contaminantes en presencia de radiación ultravioleta producen niveles de ozono.



El smog fotoquímico es actualmente un problema a nivel mundial y principalmente en áreas donde las emisiones de NO_x y COVs reactivos de fuentes móviles y estacionarias son atrapadas por las inversiones térmicas o transportadas y son irradiadas por la radiación solar (u.v) durante el transporte a regiones viento abajo.

Esto conlleva a la formación de una multitud de contaminantes secundarios, el más prominente es el ozono. Algunos de estos son contaminantes criterio; otros son trazas de contaminantes no criterio tales como PAN, HNO₃ y Formaldehído (HCHO), entre otros. En la tabla 2.2 se mencionan las principales especies que participan en la formación de smog fotoquímico en ausencia de contaminación por hidrocarburos, mientras que en la tabla 2.3 muestra la interacción de hidrocarburos contaminantes. La formación de smog y la integración de oxidante finalmente disminuye debido al agotamiento de radicales libres, como consecuencia del inicio de la pérdida de radiación UV al anochecer y por la dispersión de reactivos y productos. Formación de radicales libres para la formación de ozono. Tabla 2.4.

Las especies originadas en el smog fotoquímico son óxido nítrico (NO), dióxido de Nitrógeno (NO₂), Ozono (O₃), Hidrocarburos (HC), Oxidantes Fotoquímicos. Ver tabla 2.5.

Principales especies participantes en el smog fotoquímico:

$NO_2 + hv \rightarrow O^\bullet + NO$	Disociación fotolítica del NO ₂
$O_2 + O^\bullet + M \rightarrow O_3 + M$	Ozono troposférico formado a partir de oxígeno gaseoso y atómico. M: (O ó N del aire)
$O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$	Reacción de los oxidantes fotoquímicos formados y reinicio del ciclo (destrucción de las especies)

TABLA 2.2 CICLO FOTOLÍTICO DE NO₂ EN AUSENCIA DE CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS.

Inicio de la formación del smog fotoquímico:

$NO^\bullet + hv \rightarrow O^\bullet + NO$	Ruptura fotoquímica
$O^\bullet + O_2 \rightarrow O_3$	Reacción de la 1ª especie monoatómica
$O^\bullet + HC \rightarrow R^\bullet + RCHO$	Los hidrocarburos contaminantes interactúan con el oxígeno disociado.
$RO_2 + NO \rightarrow NO_2 + RO^\bullet$	Formación de NO ₂ con posibilidades para reiniciar el ciclo. Formación de radicales orgánicos oxigenados
$O_3 + HC \rightarrow RCHO + RCO_2$	El ozono reacciona con los hidrocarburos formando oxidantes fotoquímicos.
$NO + O_2 \rightarrow NO_2$	Esta reacción contribuye al ciclo del NO ₂

Tabla 2.3. CICLO FOTOLÍTICO DEL NO₂, CON INTERACCIÓN DE HIDROCARBUROS CONTAMINANTES.

Reacciones efectuadas con diversos radicales libres:

$RO^{\bullet} \rightarrow R^{\bullet} + O^{\bullet}$	Disociación del radical oxigenado
$RO^{\bullet} + NO_2 \rightarrow RONO_2$	Reacción del radical oxigenado con el NO_2
$RCO_2^{\bullet} + NO \rightarrow NO_2 + RCO^{\bullet}$	Formación del NO_2 y de radicales orgánicos oxigenados
$RCO^{\bullet} + NO_2 + O_2 \rightarrow RCO_3NO_3$	El NO_2 reacciona con los radicales oxialquilo para generar un alquilnitrito con lo cual finaliza la formación del smog

TABLA 2.4. REACCIÓN DE RADICALES PARA LA FORMACIÓN DEL OZONO

Especies detectadas en el smog fotoquímico:

ESPECIE	ORIGEN	REACTIVIDAD	TOXICIDAD
Óxido Nítrico (NO)	Combustión	Participa en la reacciones fotoquímicas de la Atmósfera	Tóxico. Produce trastornos en la fotosíntesis.
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	Máquinas de combustión interna, combustión de materia orgánica	Forma parte de la niebla en el smog fotoquímico.	Irritación nasal, de ojos y tracto respiratorio.
Ozono (O_3)	Reacción Fotoquímica	Tiende a acumularse por varias horas. Reacciona con hidrocarburos de diversas clases.	Causa daño en plantas, animales, humanos y en algunos materiales.
Hidrocarburos Reactivos (RHC)	Fuentes naturales, fuentes móviles y fijas.	Muy reactivo con oxígeno atómico. Genera radicales libres y oxidantes fotoquímicos.	Tóxicos. Los hidrocarburos oxigenados como los aldehídos y cetonas son irritantes a las mucosas.
Oxidantes Fotoquímicos	Contaminantes secundarios	Especies muy reactivas que oxidan a otras.	Irritación de membranas.

TABLA 2.5. ESPECIES PRESENTES EN LE SMOG FOTOQUÍMICO

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente; G.D.F.

2.2 LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO (ZMCM)

2.2.1 DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN

La zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y los municipios conurbados, es una de las principales ciudades de la República Mexicana, y una de las áreas metropolitanas más grandes del mundo –además de Tokio en cuanto a población- y la calidad de su aire es uno de los problemas más difíciles a los que se ha enfrentado México.



FIG. 2.6 CIUDAD DE MÉXICO. REPÚBLICA MEXICANA

La zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), se encuentra ubicada a 19° 20' N de Latitud y 99°05' O de Longitud formando parte de una cuenca, la cual tiene una elevación promedio de 2,240 msnm¹, y una superficie de 9,560 km²; presenta valles intermontañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos, en lo que alguna vez fueron lagos, tales como el Lago de Texcoco,

¹ Metros sobre nivel del mar.

Xochimilco y Chalco; esta integrada por una parte del Estado de México, el sur del Estado de Hidalgo, el suroeste de Tlaxcala y casi toda la totalidad del Distrito Federal. (PROAIRE 2002-2010)

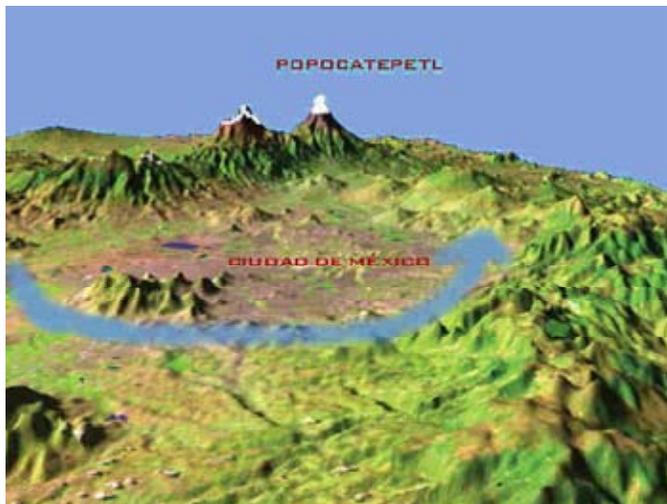


FIG. 2.7 CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO
Atmospheric Chemistry Division
National Center for Atmospheric Research Boulder

Dentro de la Cuenca de México se ubica la ZMCM, y esta integrado por 16 delegaciones y 18 municipios del Estado de México, con una superficie de 3,540 km² (37% de la superficie total de la cuenca del Valle de México). La ZMCM cuenta con prominencias topográficas aisladas como el Cerro de la Estrella, el Peñón y el Cerro de Chapultepec, entre otros; debido a su entorno geográfico y sus emisiones a la atmósfera existe una gran influencia de la topografía y la meteorología sobre la calidad del aire existente en la zona. (PROAIRE 2002-2010).

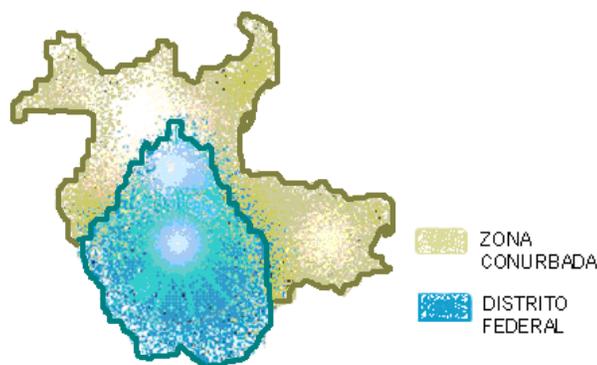


FIG. 2.8 ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO. INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 1998

El área urbana se extiende en una cuenca semicerrada, (en la parte SO de la ZMCM), y constituye una barrera natural que hace complicada la circulación del viento y la dispersión de contaminantes, debido a la elevación de la cuenca, los procesos de combustión son menos eficientes y por lo tanto se genera más contaminantes, además de recibir una radiación solar intensa que favorece la formación de contaminantes fotoquímicos. (PROAIRE 2002-2010)

2.3. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas en las grandes ciudades del país, debido a que se presentan elevadas concentraciones de contaminación atmosférica con frecuencia y duración perjudican la salud de la población.

Los mecanismos de formación de contaminantes fotoquímicos, transporte y distribución de los contaminantes en la atmósfera urbana, dependen de una combinación de los siguientes factores físicos: topografía, meteorología, clima y posición geográfica, asociados con emisiones de precursores (óxidos de nitrógeno e hidrocarburos reactivos).

Con el suministro de combustibles no adecuados para su uso en la ZMCM, se complementan todos los elementos para que existan todas las condiciones necesarias para que los fenómenos físicos naturales locales interactúen con la radiación solar, y se origine la contaminación fotoquímica en la atmósfera en la ZMCM. (Bravo, 1997)

La altitud de la Ciudad de México, afecta el problema de la contaminación del aire de dos maneras: primero, el contenido del aire en la Ciudad de México, contiene aproximadamente el 23% menos de oxígeno que a nivel del mar; como consecuencia, los motores de combustión interna así como, las fuentes fijas y estacionarias; necesitan ser cuidadosamente operados para la apropiada relación oxígeno/ combustible, ya que un ajuste inapropiado conduce a una combustión ineficiente e incrementa las emisiones a la atmósfera (Beaton, 1992). El segundo efecto de la altitud, la salud, específicamente sobre el aparato respiratorio, debido a que se inhala una cantidad mayor de aire para compensar el oxígeno que se pierde por estar la ZMCM a una altitud mayor que a nivel de mar (2240 msnm, y por esta razón, es inhalada una mayor cantidad de contaminantes en el aire; por lo tanto, para cualquier concentración dada de contaminantes en la atmósfera, la población inhalara un mayor volumen de aire y, es mas probable que se tengan efectos en la salud más severos y ésta sea una de las principales causas que conduzcan a enfermedades respiratorias.

Las principales causas de contaminación en las zonas urbanas, se deben al acelerado crecimiento industrial; a la gran concentración de la población; al incremento del parque vehicular; y el alto consumo de combustibles fósiles de calidad inadecuada. La Zona Metropolitana de la Ciudad de México, es un claro ejemplo.

En la ZMCM, las fuentes móviles contribuyen principalmente con los siguientes contaminantes del aire: 84% de óxidos de nitrógeno (NO_x), 99% de monóxido de carbono (CO), 52% de óxidos de azufre (SO₂) y partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}). INVENTARIO DE EMISIONES. Zona Metropolitana de la Ciudad de México. GDF. 1998.

La contaminación del aire ha sido uno de los retos ambientales más serios que han enfrentado los habitantes de la ZMCM, a partir de la segunda mitad del siglo XX. Para tener una idea clara respecto a la cantidad y la concentración de los contaminantes en el aire, a partir de 1960 comienzan las mediciones de partículas suspendidas, SO₂, NO₂, formaldehído y amoníaco. (Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal).

En la década de los setenta se realizaron algunos esfuerzos aislados para medir los niveles de contaminación, creándose las primeras instituciones y la primera Ley Federal ambiental del país. A partir de 1986 se inicia el registro sistemático de los niveles de contaminación, con la instalación de la Red de Monitoreo Atmosférico en la ZMCM que consiste en una red manual y una red automática de monitoreo conocida como “Red Automática de Monitoreo Atmosférico” (RAMA) para monitorear otros contaminantes y así evaluar la calidad del aire; que es reportada diariamente en términos de IMECA (Índice Metropolitano de Calidad del Aire), que sustituyó al IMEXCA (Índice Mexicano de calidad del aire que fue el gran engaño en esa gestión ambiental).

Las 21 Acciones para Reducir la Contaminación del Aire y las 100 Medidas Necesarias puestas en marcha en 1986 y 1987 (PICCA) respectivamente, dieron origen a esfuerzos y logros importantes, entre los que destacaron el inicio de la sustitución de combustóleo con alto contenido de azufre por gas natural en las termoeléctricas y la reducción del contenido de Tetraetilo de plomo en la gasolina. Surgió entonces el Programa “Un Día sin Auto”, una iniciativa voluntaria que más tarde se transformaría en el Programa “Hoy No Circula” de

forma obligatoria, la cual dio como resultado que se incrementaran de inmediato los niveles de O₃ en la ZMCM. PROAIRE 2002 – 20010. Principalmente por la sustitución del Tetraetilo de Plomo (antidetante) de las gasolinas por hidrocarburos reactivos.

En octubre de 1990, se acordó la instrumentación del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en el Valle de México (PICCA). Los esfuerzos del PICCA se dirigieron a la reducción de las emisiones de plomo, bióxido de azufre, monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (lo cual aumentó los niveles de ozono), así como de las partículas generadas por la destrucción de bosques, erosión de zonas deforestadas, tiraderos clandestinos y calles sin pavimentar. Para ello, las estrategias del PICCA se concentraron en el mejoramiento de la calidad de los combustibles a largo plazo, la reducción de emisiones en vehículos automotores, la modernización tecnológica y el control de emisiones en industrias y servicios, y la restauración ecológica de las áreas boscosas que circundan al Valle de México. (PROAIRE 2002 - 2010).

Algunos de los logros más relevantes fueron la introducción de convertidores catalíticos de dos vías en los vehículos nuevos a partir del modelo 1991, a la par se introdujo el suministro de gasolina sin plomo, que por otro lado, se logró que la ZMCM fuese la más contaminada por ozono en el mundo (medalla de oro). También se restringió el contenido de compuestos reactivos y tóxicos en la gasolina, se inició la comercialización, en 1993, de un diesel de bajo azufre (0.05 % en peso de azufre) y se establecieron normas vehiculares que propiciaron la introducción de convertidores catalíticos de tres vías en los nuevos vehículos a gasolina. Por otro lado, se completó la sustitución de combustóleo por gas natural en las termoeléctricas y principales industrias del Valle de México en 1992 y se instrumentaron medidas para controlar las emisiones evaporativas en las terminales de distribución de las gasolinas. Una de las medidas políticas de mayor resonancia fue el cierre definitivo de la Refinería 18 de Marzo en Azcapotzalco (PROAIRE ZMVM 2002-2010)

Con las medidas del PICCA se lograron mejoras sustanciales en la calidad del aire (no para ozono), principalmente respecto al plomo y al bióxido de azufre. Desde 1992 se logró que la concentración de estos contaminantes se mantuviera por debajo de la norma y que el monóxido de carbono solo rebasa la norma en un porcentaje reducido de días. Sin embargo a partir de 1990 se registraron los mayores niveles de O₃ a nivel mundial en la ZMCM. La calidad de aire en la ZMCM ha tenido una mejoría con respecto a décadas pasadas. **Por lo que respecta al ozono, las concentraciones rebasan las normas en promedio 200 días al año, lo cual comparado con la norma de 0.11 ppm, en una hora no debe rebasarse más de una vez al día, una vez al año al termino de 3 años, nos indica que las concentraciones medidas en la ZMCM de este contaminante, aún representa un riesgo para la salud de los habitantes de esta región.** (NOM-020-SSA1-1993)

Por ejemplo, a principios de los años noventas, los seis contaminantes que se miden manualmente en la red automática de monitoreo rebasaban con frecuencia a los normas de calidad del aire correspondientes. (PROAIRE ZMVM 2002-2010)

Debido al mejoramiento paulatino de los combustibles (eliminación de plomo y reducción significativa del contenido de azufre en el diesel industrial y vehicular), además de la adopción de tecnologías vehiculares modernas (inyección electrónica de combustible sumado a la incorporación de los convertidores catalíticos de tres vías), hoy en día las concentraciones de bióxido de azufre, y de plomo se mantienen permanentemente dentro de la norma, y de las de monóxido de carbono solo rebasan la norma de manera muy esporádica. A pesar de estos avances, existen aun problemas serios de contaminación por ozono y por PM₁₀; aunque la concentración de ozono tiene actualmente una tendencia en la disminución en el número de días en el que se alcanzan valores extremos y también del promedio anual de los máximos diarios.

Hoy en día la Red de Monitoreo Atmosférico, es una herramienta muy importante para la evaluación y el control del nivel de emisiones (si se utiliza adecuadamente esta información); se monitorean continuamente niveles de concentración de ozono (O₃), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), PM₁₀, y PM_{2.5} en 37 estaciones de monitoreo en toda la zona metropolitana, las cuales tiene por objetivo a) vigilar el comportamiento de los contaminantes atmosféricos cada hora del día, los 365 días del año, b) evaluar las tendencias de la calidad del aire y el impacto de las estrategias de control aplicadas; y c) informar a la población sobre los niveles de contaminación del aire.

2.3.1. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

La calidad del aire se determina en función del tipo y concentración de diferentes contaminantes gaseosos, aerosoles y partículas presentes en la atmósfera. La normatividad ambiental mexicana vigente incluye normas relativas a los niveles máximos permisibles de concentración de contaminantes atmosféricos así como normas para emisiones de fuentes fijas industriales y de fuentes móviles.

En México, los instrumentos regulatorios para la calidad del aire incluyen la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), el Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para el control de los niveles de emisiones de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas.

El título IV de Protección al Ambiente de la LGEEPA incluye diez artículos (capítulos I y II) referentes a la prevención y control de la contaminación de la atmósfera. En este título se indican los instrumentos de política, mecanismos y procedimientos necesarios para controlar, reducir o evitar la contaminación de la atmósfera, incluida la competencia de la Federación. La LGEEPA también define

los sectores industriales que son de jurisdicción federal y designa a las autoridades locales como las responsables de establecer y operar los sistemas de monitoreo de la calidad del aire y programas de verificación vehicular.

En México existen normas de calidad del aire para los siguientes contaminantes atmosféricos: bióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), partículas suspendidas totales (PST) y partículas menores a 10 y a 2.5 micrómetros de diámetro (PM₁₀ y PM_{2.5}) y plomo (Pb).

Estas normas son emitidas por la Secretaría de Salud. Para cada uno de estos compuestos se cuenta con un estándar o norma de calidad del aire que establece los niveles máximos permisibles de concentración de contaminantes que protejan la salud de la población en general, incorporando un margen de seguridad. La tabla 2.6 se enlistan los contaminantes normados incluyendo las normas que establecen las emisiones permisibles por fuentes fijas en México.

<i>CONTAMINANTE</i>	<i>EXPOSICIÓN AGUDA</i>		<i>EXPOSICIÓN CRÓNICA</i>	<i>NORMA DE CALIDAD DEL AIRE</i>
	<i>CONCENTRACIÓN Y TIEMPO PROMEDIO</i>	<i>FRECUENCIA MÁXIMA ACPTABLE</i>	<i>PARA LA PROTECCIÓN A LA SALUD DE LA POBLACIÓN SUCEPTIBLE</i>	
<i>Ozono (O₃)</i>	0.11 ppm (1 hora/24 horas)	1 vez cada 3 años	-	NOM-020-SSA1-1993
<i>Bióxido de Azufre (SO₂)</i>	0.13 ppm (24 horas)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)	NOM-022-SSA1-1993
<i>Bióxido de Nitrógeno (NO₂)</i>	0.21 ppm (1 hora)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-1993
<i>Monóxido de Carbono (CO)</i>	11 ppm (8 horas)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1-1993
<i>Partículas Suspendidas Totales (PST)</i>	210 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	75 µg/m ³ (media anual)	NOM-025-SSA1-1993
<i>Partículas Fracción respirable (PM₁₀)</i>	120µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	50 µg/m ³ (media anual)	NOM-025-SSA1-1993
<i>Partículas Fracción respirable (PM_{2.5})</i>	65 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	15 µg/m ³ (media anual)	NOM-025-SSA1-1993
<i>Plomo (Pb)</i>	-	-	1.5 µg/m ³ (media a. en 3 meses)	NOM-026-SSA1-1993

TABLA 2.6. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE, ZMCM, PARA LOS CONTAMINANTES CRITERIO. Valores publicados por la Secretaría de Salud, 16 de Octubre de 2002.

2.4 CRECIMIENTO DE POBLACIÓN Y PARQUE VEHICULAR

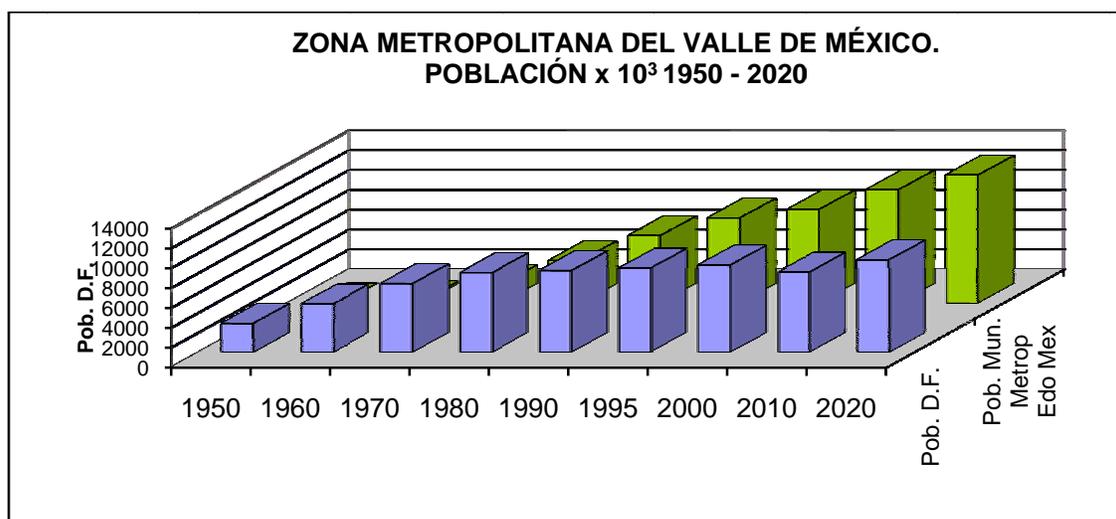
2.4.1 CRECIMIENTO DE POBLACIÓN

A partir de la década de los años sesenta, la República Mexicana dejó de tener población preponderantemente rural. Como fenómeno urbanístico, esa transformación se reflejó principalmente en el rápido crecimiento de la Ciudad de México. En la década de los años treinta, la ciudad alcanzó su primer millón de habitantes y actualmente cuenta con alrededor de 19.2 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento de 0.8% anual (2000 – 2005).

En los últimos veinte años, el ritmo de crecimiento de la población ha disminuido significativamente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM); sin embargo, de continuar las tendencias actuales, la población de la ZMVM crecerá 20.5 millones de habitantes aproximadamente en el año 2010 y 22.5 millones en el año 2020. Esta cifra es significativamente inferior a los 25 millones que se proyectaban hace tres lustros, cuando en las previsiones aún no se consideraban los cambios en la migración que se hicieron evidentes a partir de 1980. CONAPO, 2000. Estimaciones y proyecciones de población.

La década de los noventa marcó un cambio importante en las tendencias de crecimiento urbano de la ZMCM; a partir de entonces, el crecimiento metropolitano se produjo en mayor medida en el territorio del Estado de México. De hecho, la migración hacia éste proviene también del Distrito Federal. Asimismo, en esa década, el crecimiento metropolitano empieza a presionar las áreas de conservación ecológica, principalmente en las delegaciones de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco, Tlalpan, Magdalena Contreras y Milpa Alta.

Para el periodo 2000-2020 se proyecta que casi la totalidad de la expansión urbana se producirá en el territorio del Estado de México. En la gráfica 2.9 se puede observar el crecimiento de la población de la ZMCM.



Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. INEGI

FIG. 2.9. CRECIMIENTO DE POBLACIÓN ZMCM

Aproximadamente del total de la población de la ZMCM, el 51% está localizado en el Distrito Federal y el 49% en el Estado de México.

La creciente población establecida en la zona metropolitana demandará mayor consumo energético, con la consecuente generación de emisiones de contaminantes en las plantas de generación de energía.

Este crecimiento poblacional podría tener efectos negativos porque desplazaría la frontera agrícola, afectaría el sistema agropecuario del Valle e influiría en las áreas de protección ecológica, ambiental y de recarga acuífera, generando efectos en la contaminación del aire, agua y suelo.

La distribución de densidades de población, que explica entre otros aspectos la demanda de transporte y la generación de viajes, las distancias recorridas en los vehículos automotores y, por lo tanto, juega un papel fundamental en la generación de contaminantes atmosféricos.

El crecimiento económico de la zona urbana, conlleva a la congestión vial y a la contaminación del aire, debido a que influye, como se mencionó anteriormente a la generación de viajes y al crecimiento urbano. Existen evidencias de una fuerte correlación entre los niveles de ingreso económico y la posesión de vehículos (los grupos de mayores ingreso aprecian la conveniencia que ofrecen los automóviles, sin mencionar el estatus que conlleva su posesión). Por otra parte, la generación de viajes también se incrementa con el ingreso, a medida que los individuos añaden a su rutina diaria viajes de compras, recreación y sociales. Finalmente, un mayor ingreso se asocia a menudo con fuertes tendencias de expansión tales como la dispersión de sitios de áreas residenciales, comerciales e industriales de las zonas urbanas.

De acuerdo con la encuesta origen destino de 1994 en la ZMVM se realizan 20.57 millones de viajes y el Distrito Federal fue responsables del 66.5% del total de viajes; mientras que los viajes de los municipios conurbados del Estado de México representan sólo el 33.5%, situación que manifiesta la menor producción de viajes, a pesar de encontrarse la población de los municipios conurbados del Estado de México en una proporción semejante a la del Distrito Federal.

Estas cifras representan un índice de 1.6 viajes por persona al día en el Distrito Federal y de 0.83 en los municipios conurbados del Estado de México, resultando en un promedio general de 1.23 viajes por persona al día en toda la zona. El principal medio de transporte en dichos viajes, es el automóvil particular, seguido por microbuses y combis.

Además del problema de densidad de población, el número de industrias que se tienen registradas en la ZMCM, es aproximadamente mayor a 6,233; de estas el 59.0% se encuentran ubicadas en el Distrito Federal y el 40.99% en los municipios conurbados del Estado de México.

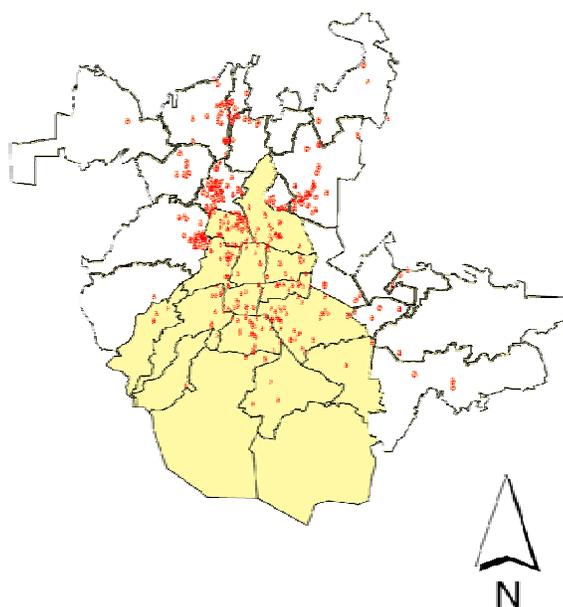


FIG. 2.10. DISTRIBUCIÓN DE LAS INDUSTRIAS EN LA ZMCM

FUENTE: INVENTARIO DE EMISIONES 2002

2.4.2. USO DE ENERGÍA

El uso de energía puede asociarse de la actividad urbana y de la generación de contaminantes atmosféricos. En particular, el uso de combustibles fósiles no adecuados en el transporte, la industria, los servicios y en el sector doméstico, constituye una de las causas más significativas de emisiones a la atmósfera.

La magnitud de la actividad comercial, industrial y agrícola de la ZMCM puede expresarse entre otras formas, a través de la manera como se distribuye la demanda de energía. Existen diversos estudios que consignan una correlación significativa entre el producto interno y la demanda de energía. La forma en que esta demanda impacta la calidad del aire depende en gran medida del balance energético, del tipo y calidad de los combustibles, así como del nivel tecnológico de la planta industrial y del parque vehicular.

Actualmente las principales fuentes de energía en la ZMCM son las gasolinas, el gas natural, el gas LP y el diesel vehicular.

2.4.3. PARQUE VEHICULAR

2.4.3.1 FUENTES MOVILES Y COMBUSTIBLES UTILIZADOS

De acuerdo con las estadísticas en el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México del 2002 (SEMARNAT) en relación a las emisiones contaminantes por fuentes móviles, se estimó la flota vehicular en 10 categorías, esta clasificación se tiene tanto para las 16 delegaciones del Distrito Federal como para los 18 municipios conurbados del Estado de México, en la que se estima un total de 5,000,000 vehículos en la zona Metropolitana², entre autos particulares, taxis, microbuses, autobuses, vehículos de carga, motocicletas, etc.

En la figura 2.11, se muestra la distribución total del transporte en la zona metropolitana.

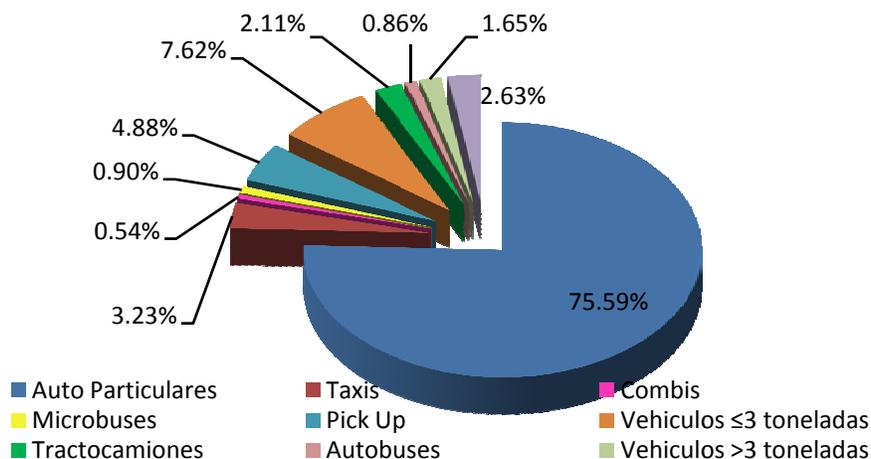


FIG. 2.11. DISTRIBUCIÓN DEL PARQUE VEHICULAR EN LA ZMCM
FUENTE: INVENTARIO DE EMISIONES 2002 (SEMARNAT)

² COFEMER.

El principal medio de transporte que circula en la ZMCM se compone del 76% de los vehículos, los cuales son autos particulares, lo que corresponde a un mayor consumo de gasolina en la zona metropolitana, esto es equivalente a un 95.33% del consumo de combustible utilizado; seguido por autobuses y taxis (los cuales forman parte del transporte público), vehículos ≥ 3 toneladas, camionetas tipo pick up; utilizando diesel, GLP y GN. (Fig. 2.12)

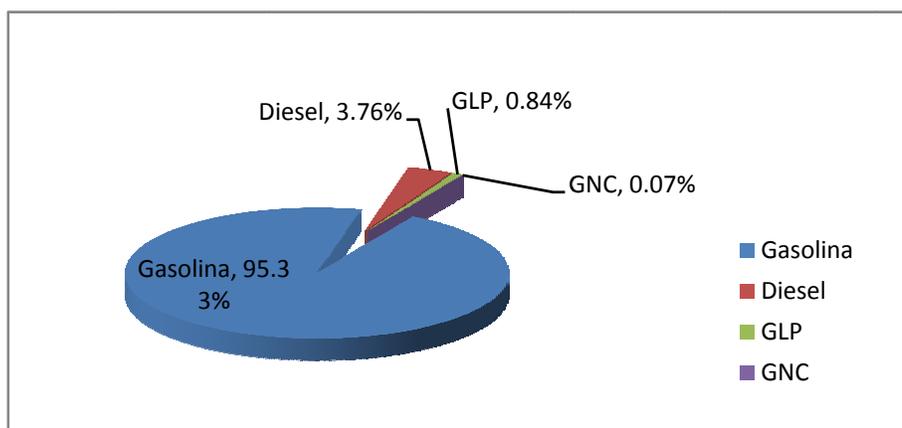


FIG. 2.12. DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE EN LA ZMCM
FUENTE: INVENTARIO DE EMISIONES 2002 (SEMARNAT)

2.4.3.2. EMISIONES POR FUENTES MÓVILES

En la ZMCM, la principal fuente generadora de PM_{10} es el suelo contribuyendo con un 40% y las fuentes móviles con el 36%. Con respecto al dióxido de azufre, las fuentes puntuales son el principal emisor (55% de las emisiones) seguido por las fuentes de área con el 24% y por fuentes móviles en un 21%.

Por lo que se refiere al monóxido de carbono, las fuentes móviles generan el 98% de las emisiones de este contaminante. En el caso de los óxidos de nitrógeno las fuentes móviles generan el 80% de las emisiones y 13% las fuentes puntuales. Por último, los hidrocarburos totales son generados en un 52% por las fuentes de área y en un 40% por las fuentes móviles.

Hoy día, las fuentes móviles se constituyen como el principal sector generador de contaminación atmosférica en la ZMCM, dada una serie de factores, de diversa índole, que al interactuar entre sí, motivan un sustancial incremento en los niveles de emisión por unidad vehicular y en la generación de contaminantes de la flota vehicular total. En términos generales, es posible distinguir tres elementos principales, que engloban los factores que determinan el nivel de contaminación vehicular: el volumen de combustible consumido, las características de dicho combustible y la tecnología en que éste se consume.

La demanda energética de los vehículos en circulación, la expansión de la mancha urbana, la cual implica un incremento de kilometraje recorrido, la saturación de la red vial que propicia un incremento en el tiempo de operación de los motores en condiciones y por lo tanto bajas velocidades de circulación, problemas de vialidades causadas por manifestaciones populares no controladas.

Esta combinación de los elementos mencionados, se ve reflejada en un alto consumo de energía para uso vehicular (se consumen aproximadamente cerca de 4.5 millones de litros de diesel, 18 millones de litros de gasolina y 700 mil litros de gas licuado de petróleo por día).

Durante la década pasada dió inicio el uso de gas licuado de petróleo y gas natural vehicular, combustibles que comparados con la gasolina, disminuyen la generación de contaminantes vehiculares en un 60% y 90% respectivamente.

Del parque vehicular que utiliza gasolina, el 52% de los vehículos tienen condiciones tecnológicas que los ubica como unidades altamente emisoras, además de la falta de combustibles adecuados, toda vez que por su edad carecen de motores energéticamente eficientes y sistemas avanzados de control de la contaminación (unidades 1990 y anteriores); este tipo de unidades aportan cerca del 68% de las emisiones totales que se liberan a la atmósfera de la ZMCM.

Por lo que respecta a las fuentes fijas, el sector industrial emite cerca de 76,000 toneladas de contaminantes al año, de las cuales el 36% en peso son emisiones de NO_x, el 32% de HC, 16% de SO₂, 12% de CO y el restante 4% son emisiones de PM₁₀. Por su parte, la industria química y la de productos de impresión son las que contribuyen en mayor cantidad con la emisión de hidrocarburos. En lo que se refiere a emisiones de bióxido de azufre, los principales generadores son la industria termoeléctrica, la industria química, de madera y derivados, y del vestido. Las emisiones de monóxido de carbono se deben principalmente a la industria química, productos metálicos y a la mineral metálica. Finalmente, el principal aporte de PM₁₀ se concentra en la industria de productos de consumo alimenticio, industria química y mineral no - metálica.

Sin olvidar los lugares o establecimientos donde se desarrolla el sector de pintura automotriz, debido a que este tipo de actividad genera una importante emisión de compuestos orgánicos volátiles, como lo es la acetona, ya que muchos de estos establecimientos no está autorizada su operación y por lo tanto no existe un control de emisiones a la atmósfera.

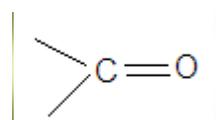
Se conoce también que los establecimientos de comida ambulante, contribuye en una pequeña porción a la emisión de compuestos orgánicos.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

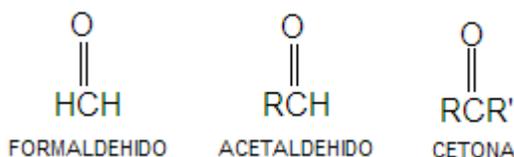
3

3.1 CARBONILOS

El grupo orgánico carbonilo, consiste en su estructura con un doble enlace $C=O$



Un grupo carbonilo puede ser aldehído o cetona, en el caso de los aldehídos, al menos un átomo de hidrogeno es enlazado al átomo de carbono. En el caso de las cetonas, el átomo de carbono en el grupo carbonilo, está enlazado a dos grupos de hidrocarbano con las siguientes estructuras:



3.2 CARBONILOS EN LA ATMÓSFERA

La importancia que tienen los carbonilos en la calidad del aire urbano y en la química atmosférica ha sido considerada, debido a que los carbonilos son emitidos por fuentes vehiculares o móviles y por fuentes fijas, incluyendo fuentes en espacios interiores. También son formados como producto de la oxidación atmosférica de hidrocarburos y otros compuestos orgánicos volátiles.

Los carbonilos en la atmósfera son un punto de atención científica y regulatoria como contaminantes tóxicos del aire, así como por sus propiedades, mutagénicas y carcinogénicas y por su papel como precursores fotoquímicos de

radicales libres, ozono y nitrato de peroxiacetilo (PAN). Las emisiones vehiculares son la principal fuente de carbonilos en el aire urbano. La información de la magnitud y naturaleza de emisiones vehiculares de la especiación de carbonilos se puede obtener a partir de estudios con dinamómetro y por mediciones hechas en túneles de carreteras.

Las concentraciones ambientales de formaldehído y acetaldehído en el aire urbano han sido medidas muchas veces. Sin embargo los niveles ambientales de otros carbonilos han recibido mucho menos atención. Particularmente, no existe o es muy escasa la información disponible respecto a la especiación de carbonilos en la gran extensión urbana. (Grosjean, D., et al., 2002)

Los carbonilos son también una fuente importante de radicales en la generación química del ozono atmosférico. Estos son emitidos directamente por fuentes antropogénicas y naturales, y también son formados *in situ* como productos de oxidación fotoquímica de otros gases orgánicos emitidos directamente. Por lo tanto, los programas de control deben de considerar tanto fuentes de carbonilos de tipo primarios, (los que se emiten directamente a la atmósfera urbana por emisiones de tipo vehicular y por fuentes fijas); como carbonilos de tipo secundarios (formados por reacciones fotoquímicas en la atmósfera). Los estudios del modelo fotoquímico, muestran que durante los meses de verano, la producción fotoquímica de formaldehído y acetaldehído puede ser la contribución dominante del total de las concentraciones carbonilos en la atmósfera. (Andrew J. Kean, et al; 2001)

Los carbonilos son tanto reactivos como productos en una variedad de procesos fotoquímicos. La fotólisis del formaldehído puede ser una fuente importante de radicales HO• (Veyret, B. 1989). Estos radicales controlan la proporción de la

oxidación de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs) y NO para la conversión de NO₂ en la atmósfera, los cuales afectan directamente a la producción de ozono. La reacción de acetaldehído con el radical hidroxilo y la fotólisis de acetona forman el radical peroxiacetilo, el cual reacciona con NO₂ para formar Nitrato de Peroxiacetil (PAN). Este último y sus análogos son tóxicos para las plantas y provocan irritación de ojos.

Se cree que la acetona juega un papel importante en la química de la parte superior de la troposfera, sin embargo, hasta el momento no se ha caracterizado exactamente el origen de ésta (Wohlfrom, K., et al, 1999).

Los carbonilos son formados como productos de la oxidación de otros VOCs en la atmósfera, debido a la presencia de estos, en una atmósfera contaminada puede incrementar la presencia de ozono. Debido a que la presencia de COVs en una atmósfera que contiene óxidos de Nitrógeno puede incrementar la presencia de ozono.

La combustión de gasolina es una fuente directa de emisiones de carbonilos en la atmósfera. Los carbonilos son especies intermediarias creadas durante la oxidación de combustible y serán emitidos hacia la atmósfera, si la combustión no es total.

El formaldehído es típicamente el carbonilo más abundante por emisiones de combustión (Aclaren, R., et al; 1996), aunque el acetaldehído, benzaldehído, la suma de isómeros de tolualdehído y acetona pueden cada uno ser de similar magnitud. Además los compuestos oxigenados tales como metil-ter-butil-eter (MTBE) y etanol usados en la gasolina reformulada, es de especial interés debido a que los cambios de combustible, incrementan las emisiones de formaldehído y acetaldehído, respectivamente. Los hidrocarburos aromáticos presentes en la gasolina, especialmente tolueno y xileno, son precursores de emisiones de benzaldehídos y tolualdehídos. (Reuter, R. M. 1992).

3.3 ESTUDIOS PREVIOS

En la Ciudad de México, se han realizado varios estudios para medir la cantidad de carbonilos en el ambiente (Baéz et al. 1995); estos estudios han mostrado importantes concentraciones de formaldehído, acetaldehído y acetona. El ozono es un contaminante importante que participa en muchas reacciones donde interactúan con hidrocarburos y NO₂ que forman compuestos carbonilos en cantidades significativas en atmósferas contaminadas.

Durante los años de 1996 a 1998 se realizaron mediciones de carbonilos en cuatro sitios aledaños al Valle de México. La metodología para coleccionar las muestras consistió en la utilización de depuradores (despojadores anulares) de ozono y filtros impregnados con 2,4-dinitrofenilhidrazina, por HPLC con detector UV/Visible y se cuantificaron hasta cinco carbonilos diferentes (Formaldehído, Acetaldehído, Acetona, Propionaldehído, Butiraldehído)¹

En Brasil y en estados Unidos^{2,3}, se han realizado mediciones de carbonilos en la atmósfera con cartuchos preempacados de 2,4-dinitrofenilhidrazina, por medio de la técnica de análisis por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), con detección simultánea por espectroscopia UV-visible (arreglo de diodos) y por espectrometría de masas por ionización química en atmósferas a presiones negativas APNCI-MS ("Atmospheric Pressure Negative Chemical Ionization Mass Spectrometry"), con la cual es posible determinar más de cien carbonilos en la atmósfera; resultando el formaldehído, acetaldehído y acetona como los principales carbonilos en la Atmósfera.

¹ G. Montero M., G. L. Andraca A. CCA, UNAM.

² Grosjean D; Grosjean E; Speciated Ambient Carbonyls in rio de Janeiro, Brazil, Environ. Sci. Technol. 2002 36, 1389 - 1395

³ Grosjean D; et.al, On - Road Measurement of Carbonyls in California Light-Duty Vehicle Emissions; Environ. Sci. Technol. 2001, 35, 4198-4204

3.4 PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN

En la atmósfera urbana, las emisiones de tipo vehicular son generalmente la fuente dominante en la aportación de carbonilos e hidrocarburos contaminantes de tipo primario en la atmósfera, estas emisiones vehiculares consisten en hidrocarburos no quemados eficientemente.

3.4.1 EMISIÓN DE CARBONILOS PRIMARIOS

Los compuestos de tipo primario son emitidos directamente por emisiones de tipo vehicular y por fuentes estacionarias. Una principal fuente de compuestos carbonilos en la atmósfera puede atribuirse a las emisiones de vehículos motorizados. En particular, el formaldehído es el principal carbonilo presente en el escape de los automóviles, en un orden de 50% – 70% de carbonilos totales que se descargan en la atmósfera. Además, los motores vehiculares emiten hidrocarburos reactivos, que bajo reacciones fotoquímicas producen formaldehído y otros carbonilos en la atmósfera.

Como ya se ha mencionado el formaldehído, así como, el acetaldehído, benzaldehído, la suma de los isómeros de tolualdehído y acetona, son producto de las emisiones por automotores; además, es importante mencionar que estudios realizados en gasolinas, han determinado el contenido de formaldehído, acetaldehído, propanal, butanal, benzaldehído, acetona, MEK, 2-pentanona, siendo carbonilos de tipo primario. (Grosjean, D; Andrew J. Kean; 2001)

3.5. CARBONILOS SECUNDARIOS

Los carbonilos de tipo secundarios como se explicó anteriormente son productos de reacciones en la atmósfera formados por mecanismos muy complejos de foto – oxidación, involucrando VOCs con óxido de nitrógeno. Los hidrocarburos antropogénicos y biogénicos (Ej. Isopreno) conducen a una formación *in situ* de carbonilos, especialmente compuestos de formaldehído. Los aldehídos actúan también como contaminantes secundarios productos de la fotoquímica atmosférica.

Cuando los VOCs y óxidos de nitrógeno (NOx) están en la atmósfera y se irradian con luz solar, cambia su equilibrio en el estado fotoestacionario.

El estado fotoestacionario, se define como el equilibrio entre el dióxido de nitrógeno (NO₂), óxido nitroso (NO) y ozono (O₃). Este equilibrio se mantiene teóricamente hasta que interactúan los VOCs, donde ocurren varias reacciones para producir radicales OH. Los VOCs reaccionan con los radicales OH para producir radicales RO₂, que oxidan al NO para dar NO₂, destruyendo el estado fotoestacionario. Los carbonilos reaccionan con OH para producir radicales RO₂. Así como los carbonilos, particularmente el formaldehído en presencia de la luz solar, es fuentes de radicales HO•. En la siguiente sección se describe las ecuaciones fotoquímicas correspondientes.

El resultado de estos procesos conduce a lo siguiente:

- Acumulación de Ozono
- Oxidación de Hidrocarburos (HC) a aldehídos y cetonas, los cuales dirigen a la producción continua de radicales HO₂• y OH• que son la fuerza real que conduce al smog fotoquímico.

Consecuentemente, la determinación de formaldehído y otros compuestos carbonilos en la atmósfera es de interés, debido a su importancia como precursores en la producción del smog fotoquímico, tanto como productos de la reacción fotoquímica y como principal fuente de radicales libres en la atmósfera.

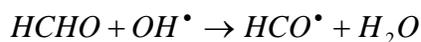
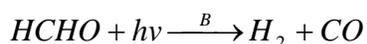
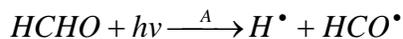
La mayoría de carbonilos presentes en la atmósfera, se comportan tanto como carbonilos primarios como secundarios, por ejemplo, el formaldehído, (su fotólisis es una fuente importante de radicales HOx), metacroleína, metiletilcetona son productos de la oxidación del isopreno; benzaldehído y tolualdehído son originados por tolueno y xileno, hidrocarburos aromáticos presentes en la gasolina; son algunos carbonilos que se comportan como secundarios.

3.5.1 FOTOQUÍMICA DE LOS ALDEHÍDOS

Los aldehídos aromáticos y alifáticos, actúan como carbonilos primarios y secundarios, además de ser precursores de radicales libres en la atmósfera.

El formaldehído es un producto de oxidación de los hidrocarburos, es el principal producto intermedio en la oxidación fotoquímica de los ciclos del metano y de otros hidrocarburos. También se considera un subproducto de la combustión de motores de gasolina y diesel.

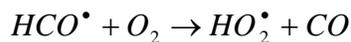
El formaldehído una vez emitido a la atmósfera como contaminante primario, en presencia de luz solar, interactúa de la siguiente manera:



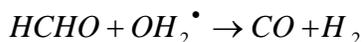
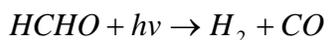
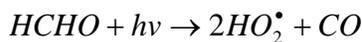
$h < 240 \text{ nm}$

El átomo de *H* interactúa rápidamente con O_2 para generar HO_2^\bullet

El radical formilo reacciona muy rápidamente con O_2

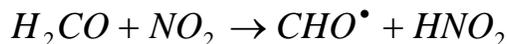
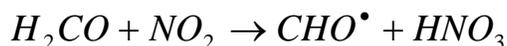
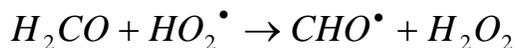
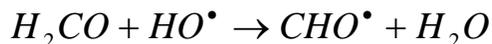
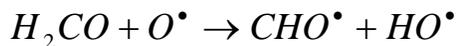


Las reacciones anteriores se pueden abreviar debido a la rapidez con que se lleva a cabo, quedando de la siguiente forma:



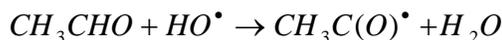
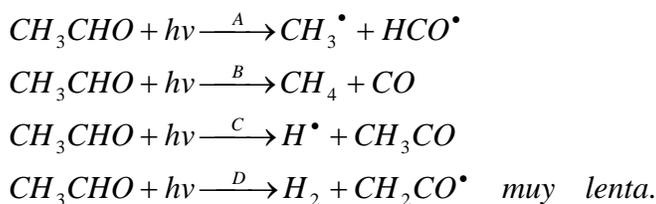
El radical HO^\bullet , es uno de los principales radicales que intervienen en la descomposición del formaldehído, debido a que está siempre presente para participar constantemente en las reacciones fotoquímicas.

Reacciones de fotólisis del formaldehído:

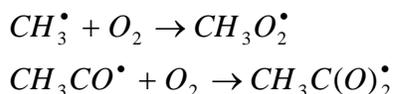


Como se ha mencionado anteriormente, el formaldehído juega un papel importante en la química atmosférica porque tiene un promedio de vida fotolítica de 5 a 10 horas, tiempo de residencia suficiente para hacerlo responsable de los efectos nocivos a la salud.

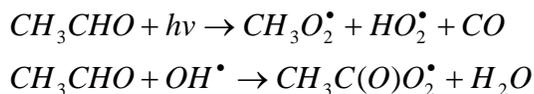
Por otra parte, el acetaldehído es también de importancia para la formación del smog; es de origen antropogénico y reacciona por medio de fotólisis y con el radical HO• (Calvert y Pitts, 1966):



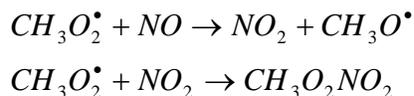
Los radicales metilo y acetilo reaccionan rápidamente para formar:



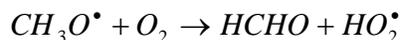
Las reacciones del acetaldehído son escritas comúnmente como:



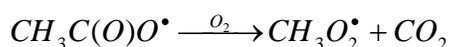
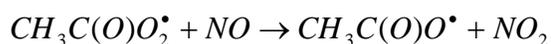
En la química del acetaldehído se introduce el radical metilperoxilo y el radical acetilperoxilo. El metilperoxilo reacciona con óxido nítrico para proporcionar el dióxido de nitrógeno, y con dióxido de nitrógeno para formar metilperoxinitrato.



El radical metoxilo reacciona rápidamente con oxígeno y produce formaldehído más HO_2^\bullet



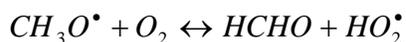
Cuando está presente el radical acetilperoxilo, reacciona con óxido nítrico y dióxido de nitrógeno para proporcionar lo siguiente:



Esta última reacción genera el peroxiacetilnitrato (PAN), uno de los compuestos de formación del smog fotoquímico.

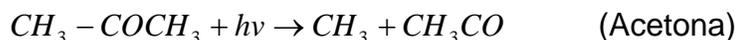
En la formación del smog, las concentraciones iniciales del equilibrio de óxido nítrico y dióxido de nitrógeno están controladas por el ciclo fotolítico del NO_2 , y cuando aumenta la concentración de hidrocarburos en la atmósfera, debido a la actividad de los vehículos de motor, las industrias, etc., se perturba el ciclo fotolítico del NO_2 , y donde el óxido nítrico se oxida a óxido de nitrógeno por la reacción en cadena en que intervienen los radicales de los hidrocarburos. En consecuencia aumenta la concentración de ozono presente en el ciclo fotolítico del NO_2 , hasta entonces constante, ya que el ozono no se consume en la oxidación del óxido nítrico a dióxido de nitrógeno. Paralelo a esto, disminuye la concentración de hidrocarburos, por su participación en el proceso de oxidación, y aumenta la concentración de aldehídos, por ser productos de la cadena del proceso de oxidación del óxido nítrico. Como consecuencia de estas reacciones, decrece la concentración de óxido nítrico y aumenta la concentración de dióxido de nitrógeno.

En el smog fotoquímico, los aldehídos se forman por la acción del oxígeno molecular sobre los radicales que contienen oxígeno:



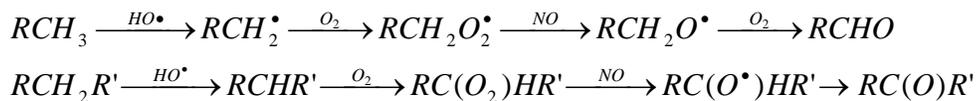
O bien, debido a reacciones entre el ozono y los hidrocarburos no saturados. Similar a la formación de aldehídos, las cetonas se producen de una forma análoga; el compuesto más conocido en la atmósfera es la acetona o propanona.

Reacción de la fotodescomposición de las cetonas:

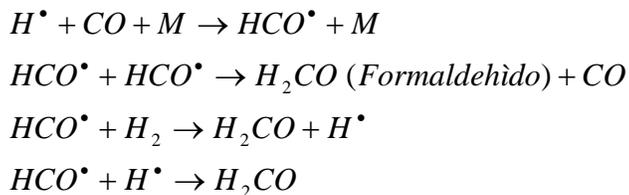


La reacción de la acetona en la troposfera se presenta por ataque del radical OH sobre ciertos alcanos y alquenos y, por la reacción de O₃ con alquenos relacionados estructuralmente.

Reacciones generales para la producción fotoquímica de carbonilos:



Uno de los principales precursores del formaldehído es el monóxido de carbono, el cual interviene de la siguiente manera:



El formaldehído en la atmósfera dependen en gran parte de la cantidad de precursores como el CO e hidrocarburos y de la intensidad de la radiación solar, depende de la cinética de la fotólisis ya que la radiación solar produce una disociación primaria que puede producir radicales de hidrogeno y formilo como se ilustró anteriormente. (Calvert y Pitts, 1966).

3.6 EFECTOS A LA SALUD

El formaldehído es el principal compuesto en la formación del ozono fotoquímico. La exposición al formaldehído y a otros aldehídos específicos (acetaldehído, acroleína, crotonaldehído) en un periodo corto, se sabe que causa irritación de ojos, piel, membranas mucosas en el sistema respiratorio. Estudios en animales indicaron que altas concentraciones pueden dañar los pulmones y otros órganos del cuerpo. En atmósferas contaminadas, el formaldehído puede contribuir a la irritación de los ojos y a olores desagradables que son una molestia común.

En los últimos años, los compuestos carbonilos incluyendo los de bajos peso molecular como aldehído y cetonas, ha recibido una atención especial en la comunidad científica reguladora. Esto es debido en parte a sus efectos sobre los humanos y animales como irritación de tipo primaria de las membranas mucosas de los ojos, del sistema respiratorio y de la piel. Estudios en animales indicaron que altas concentraciones de compuestos carbonilos, especialmente formaldehído, pueden dañar los pulmones, pueden contribuir a la irritación de los ojos otros efectos en los órganos del cuerpo. Los aldehídos, directa o indirectamente, pueden también dañar a las plantas. Las fuentes de los compuestos carbonilos oscilan desde los sucesos naturales a la formación de compuestos secundarios a través de reacciones fotoquímicas en la atmósfera.

3.7 TOXICIDAD Y REACTIVIDAD

Como se mencionó anteriormente, los compuestos carbonilos son de gran importancia debido a sus efectos sobre la salud. A continuación, se presenta los carbonilos que son considerados como sustancias tóxicas o peligrosas, de acuerdo a U.S. Clean Air Act Amendments⁴ :

Carbonilos tóxicos o Peligrosos

- ✓ *Acetaldehído*
- ✓ *Acetofenona*
- ✓ *Acroleína*
- ✓ *Formaldehído*
- ✓ *Metil etil cetona*

La reactividad de los carbonilos como se ya se ha mencionado, es de gran importancia, ya que una vez emitidos a la atmósfera sufren una reacción fotoquímica que lleva a la formación de radicales libres, de otros carbonilos, de nitrato de peroxiacetil y de ozono. En base a su concentración, es posible calcular su relativa importancia con respecto a la formación de ozono y el coeficiente máximo incremento de reactividad (MIR), que es una escala para calcular los efectos de la reactividad de COVs para la formación de Ozono.

La concentración de carbonilos, puede variar de un día a otro, de un sitio a otro y, como resultado, la relativa importancia de carbonilos con respecto a la formación de ozono también variará. Sin embargo, será de utilidad para poder determinar la formación de ozono a partir de carbonilos utilizando el promedio de la concentración, y los coeficientes de MIR de Carter⁵.

⁴ U.S. 1990 Clean Air Act Amendments, Title III, Hazardous Air Pollutants

⁵ Carter, W.L.P. Additions and corrections to the SAPRC-99 Maximal Incremental Reactivity (MIR) scale.

A continuación se presentan un listado de algunos carbonilos citados por William P. L. Carter, indicando un estimado en el Máximo incremento de reactividad (MIR)

Carbonilo	MIR
Acetaldehído	6.84
Acetona	0.43
Formaldehído	8.97
Benzaldehído	- 0.61
2-butanona (MEK)	1.49
Propionaldehído	7.89

Tabla. 3.1. Valores estimados de MIR. Carter W. P.

METODOLOGÍA

4

Durante los últimos años, numerosos métodos han sido desarrollados para el muestreo y análisis de carbonilos. En virtud del papel que juega el formaldehído en los procesos fotoquímicos, la mayoría de las veces los métodos más recientes han sido desarrollados para cuantificar específicamente el formaldehído sobre otros carbonilos.

4.1 MÉTODO TO-11 USEPA

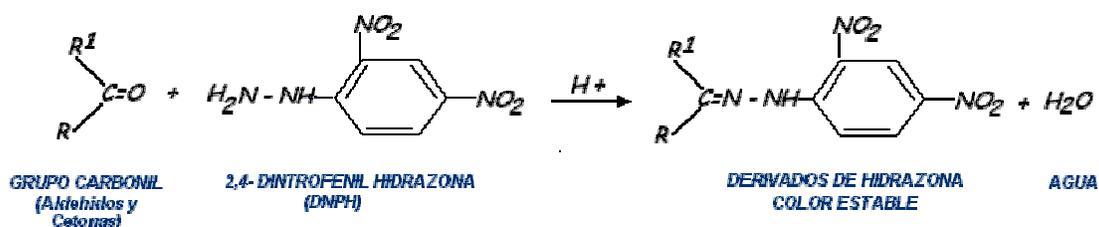
DETERMINACIÓN DE FORMALDEHÍDO EN EL AIRE AMBIENTAL, UTILIZANDO CARTUCHOS ADSORBENTES, SEGUIDO DE CROMATOGRAFÍA DE LÍQUIDOS DE ALTA RESOLUCIÓN.

Este método se utiliza para la determinación de formaldehído y otros compuestos carbonilos (aldehídos y cetonas) en el aire, utilizando una matriz sólida adsorbente, seguido de la técnica HPLC. El formaldehído ha sido encontrado como el principal promotor en la formación fotoquímica de ozono. En particular, la exposición en periodos cortos de formaldehído y de otros compuestos carbonilos, se conoce que causa irritación en los ojos, piel, mucosas y membranas del tracto respiratorio.

Las condiciones cromatográficas pueden ser optimizadas para separar acetaldehído, acetona, propionaldehído, algunos carbonilos de alto peso molecular, así como: Formaldehído, Butiraldehído, Benzaldehído, Crotonaldehído, 2,5-Dimetilbenzaldehído, Isovaleraldehído, Hexanaldehído, Metil etil cetona, o-tolualdehído, m-Tolualdehído, p-Toluladehído, Valeraldehído.

4.1.1 RESUMEN DEL MÉTODO TO - 11

El Compendio del Método TO – 11 se basa en una reacción específica de compuestos carbonilos orgánicos (aldehídos y cetonas) con un cartucho de silica gel cubierto con DNPH en presencia de un ácido fuerte, como catalizador, para formar un derivado de hidrazona de color estable de acuerdo con la siguiente reacción:



Donde R y R¹ son grupos orgánicos alquil o aromáticos (cetonas) o cualquiera sustituido por un hidrogeno (aldehídos).

La reacción procede por adición nucleofílica para el grupo carbonilo seguida por eliminación 1, 2 de agua para formar el derivado 2,4 – difenil hidrazona. La determinación de formaldehído a partir del derivado de DNPH – formaldehído es similar al Método TO–5 incorporando HPLC como la metodología Analítica.

Para la determinación de formaldehído, el derivado de DNPH – formaldehído, puede ser determinado utilizando HPLC fase isocrática inversa (Presión constante, fase estacionaria no polar) con un detector de absorción (UV) operado a 360 nm. Para determinar formaldehído y otros 14 carbonilos, el sistema HPLC es operado en un programa en modo de gradiente lineal. Para la evaluación cuantitativa de formaldehído y otros compuestos carbonilos, un cartucho en blanco se eluye de manera similar y se analiza.

El formaldehído y otros compuestos carbonilos en la muestra son identificados y cuantificados por comparación en sus tiempos de retención y la altura o área de los picos con los de soluciones estándar. Típicamente, los compuestos carbonilos de C1 – C7, incluyendo benzaldehído, son cuantificados efectivamente en concentraciones menores de 0.5 ppbv.

4.1.2 EQUIPO UTILIZADO TO - 11

Para el muestreo se utiliza un cartucho de muestreo, el cual consiste en un cartucho preempacado de silica gel, pre-revestidos con 2,4 - dinitro fenil hidrazona (DNPH).

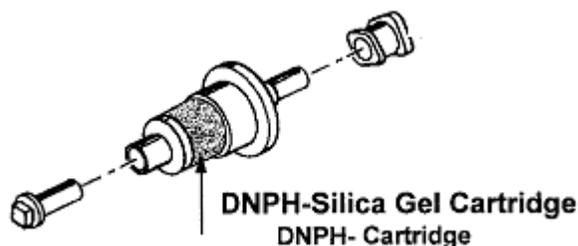


FIG. 4.1 CARTUCHO PREEMPACADO 2,4-DNPH (Waters)

El equipo utilizado en el análisis, es un sistema de HPLC Isocrático. El sistema consiste de un depósito de una fase móvil bombeado a una presión alta; una válvula de inyección (muestreo automático con un lazo inyector opcional de 25 μ L); una columna (RP) Zorbax ODS (Instrumentos DuPont, Wilmington, DE) fase

inversa o equivalente (25 cm x 4.6 mm ID); un detector UV de longitud de onda variable operando a 360 nm; y un sistema de datos.

4.2 ANÁLISIS DE CARBONILOS POR HPLC CON DETECCIÓN SIMULTÁNEA POR ESPECTROSCOPIA UV-VISIBLE (ARREGLO DE DIODOS) Y POR ESPECTROMETRÍA DE MASAS POR IONIZACIÓN QUÍMICA EN ATMÓSFERAS A PRESIONES NEGATIVAS (APNCI-MS).

El 2,4-dinitrofenilhidrazona de carbonilos es separado por cromatografía de líquidos y detectado por espectroscopia UV (detector arreglo de diodos) y por espectrometría de masas por ionización química en atmósferas presión atmosférica negativa.

Con el presente método se han analizado más de 100 carbonilos incluyendo aldehídos alifáticos saturados y cetonas, carbonilos alifáticos insaturados, carbonilos alifáticos y carbonilos aromáticos. A continuación se mencionan algunos de los carbonilos que son identificados por el presente método.

Formaldehído	Trimetilbenzaldehído	o-tolualdehído
Acetaldehído	2,4,6-Trimetilbenzaldehído/ISM #2	p-tolualdehído
Propanal	2,4-Dimetilbenzaldehído/ISM	
Butanal	2-oxobutanal	Acetofenona
Pentanal	Glutaraldehído	2,4,6-Trimetilbenzaldehído/ISM #1
		2,5-Dimetilbenzaldehído
Isopentanal	Metil Etil Cetona	Metil Glioxal
Hexanal	Acetona	Glioxal
Heptanal	2-Pentanona	2,3-hexanodiona/ISM
Octanal	C5 Carbonil Alifático	3,4-Hexanodiona/ISM
Nonanal	C6 Carbonil Alifático #2	Biacetil
Decanal	2-Butanona (MEK)	2,3-pentanodiona
Undecanal	4-Methyl-2-Pentanona (MIBK)	Pinonaldehído (TENT)
Acroleína	C6 Carbonil Alifático #1	2-Furaldehído
Metacroleína	2-Heptanona	
Crotonaldehído	Benzaldehído	
C6 Isomeros	o/m/p-Anisaldehído	
Metil Etil Cetona	m-tolualdehído	

TABLA 4.1. POSIBLES ESPECIES DETERMINADAS CON HPLC – ESPECTROSCOPIA UV – VISIBLE - APNCI-MS)

Existen diferentes métodos directos para la detección de carbonilos simples como formaldehído, en niveles de ppb en el aire, las mediciones de otros carbonilos están basadas en métodos tradicionales, el más utilizado es el que comprende el análisis de carbonilos por cromatografía de líquidos con 2,4-dinitrofenilhidrazona, con detección ultravioleta. Este es el primer método aplicado en la medición de carbonilos en el aire desde hace 20 años, un método actualmente recomendado por la Comité Internacional, Muestreo y Análisis del Aire (Intersociety Committee)¹ y prescrito por la Agencia de Control de Contaminación del Aire, incluyendo la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA)².

Este método ha sido empleado para determinar carbonilos en el aire en interiores y en estudios de laboratorio de los mecanismos de oxidación atmosférica, utilizando un detector en arreglo de diodos (DAD) para mejorar la selectividad analítica³ y el uso de un espectrómetro de masas (off-line) por ionización química (CIMS) para la identificación y la confirmación estructural de carbonilos y los derivados de dinitrofenilhidrazona (DNPH).

Se ha desarrollado un nuevo método por Cromatografía de Líquidos con detección ultravioleta y por espectroscopia de masas (LC/UV – MS) para el análisis en partes por billón de carbonilos y sus derivados de DNPH. Este método comprende la separación por cromatografía líquida (LC) y sus derivados de DNPH, y simultáneamente la detección independiente por espectroscopia (DAD) y por espectrometría de masas a presión atmosférica negativa (CIMS).

Los resultados obtenidos utilizando este método, han sido de más de 100 carbonilos importantes registrados en la atmósfera, incluyendo aldehídos alifáticos y cetonas (saturadas e insaturadas), carbonilos aromáticos, y dicarbonilos polifuncionales, los cuales llevan una variedad de sustituyentes que contienen oxígeno.

¹ Intersociety Committee. Methods of Air Sampling and Analysis, Lodge J. P. et al.

² Zweidinger, R. Sampling and analysis for carbonyls. U.S. Environmental Protection Agency

³ Grosjean, D, et al, Int. J. Environ. Anal. Chem. 1990, 1995

4.2.1 MÉTODO EXPERIMENTAL

El muestreo y el transporte de las muestras (cartuchos preempacados de 2,4-DNPH) se realizan de manera similar como se menciona en el Método TO-11.

En el análisis de laboratorio, los estándares de carbonil – DNPH son sintetizados en el laboratorio, con reactivos y solventes de alta pureza. Los carbonilos se suministran comercialmente por Aldrich Chemical Corp., Lancaster's Synthesis, Wiley Organics, Fluka Chemical Corp. O fueron preparados reacción de ozono con alquenos y con compuestos oxigenados no saturados.⁴ Así, el dicarbonil pinonaldehído fue preparado a partir de α -pinona, el dicarbonil 2-oxobutanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{CHO}$) fue preparado a partir de 1-penten-3-ona, 2-etilacroleína, y a partir de 4-hexen-3-ona, el carbonil ester metil glioxalato ($\text{HC}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{OCH}_3$) preparado a partir de metil acrilato y de metil trans-3-metoxiacrilato (MTMA). Se emplearon mezclas comercialmente disponibles de (ERA-030, ERA-037 Y ERA-037K, Radian Corp.) que contienen derivados de DNPH de 13 a 15 muestras de carbonilos simples a concentraciones certificadas de 0.01, 0.02, 0.05, 0.10, 0.50, 1.0 y 3.0 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (como carbonil) en CH_3CN .

4.2.2 EQUIPO DE ANÁLISIS

El instrumento utilizado para el análisis del derivado de carbonil-DNPH es un cromatógrafo de líquidos Hewlett-Packard modelo 1100 autodetección / detector de masa selectiva, el cual permite la adquisición independiente de datos de espectros ultravioleta (detector con arreglo de diodos, 200 – 600 nm) y para datos espectrales de masa (detector de masa selectiva) para analitos presentes en una corrida de la columna de cromatografía.

⁴ Grosjean, E.; Grosjean, D. J. Atmos. Chem. 1997, 27, 271 – 289.

El instrumento completo consiste de los siguientes componentes HP 1100:

- Bomba binaria
- Degasificador con Diafragma para disolventes
- Automuestreador
- Detector con arreglo de diodos UV –VIS (DAD)
- LC/MSD (Cromatógrafo de Líquidos con Detector de masa selectiva)

El LC/MSD es conectado directamente a baja corriente del DAD con una pequeña sección de 0.25 mm dentro del diámetro de la tubería. La columna LC es de 5 μ m, 150 x 4.6 mm C₁₈ Axxiom ODS (Cole Scientific, Inc.) con una precolumna C₁₈ (Brownlee Applied Biosystems).

El eluente es CH₃CN – H₂O, comenzando con una elución isocrática por 26 min. (49% vol CH₃CN), continuando con un gradiente de elución para incrementar el contenido de CH₃CN de 49% en t = 26 min hasta 100% en t = 40 min, y finalizando con una elución isobárica con 100% CH₃CN. El flujo del eluente fue de 1.4 mL/min, la temperatura de la columna fue de 38°C, y el volumen de la muestra inyectada es de 2 – 20 μ L.

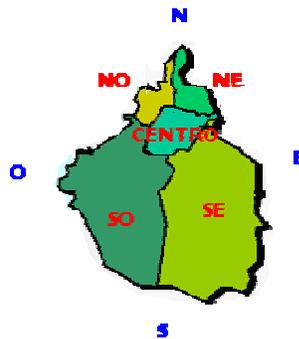
El equipo HP 1100 LC/MSD incluye dos cámaras de separación de rocío para proveer diferentes modos de ionización, una cámara de rocío para ionización por electro – spray a presión atmosférica (API–ES) y otra cámara para ionización química a presión atmosférica (APCI).

DESARROLLO EXPERIMENTAL

5

5.1 SELECCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO

El muestreo de carbonilos se realizó en cinco sitios representativos de la ZMCM, abarcando las siguientes áreas: Noroeste (NO), Noreste (NE), Centro (C), Suroeste (SO) y Sureste (SE).



Con el apoyo de las estaciones de monitoreo de la Red Automática del Gobierno del Distrito federal, se eligieron las estaciones que cuentan con información de concentración de CO, O₃, meteorología, etc., para poder determinar el horario de muestreo en cada estación. Las estaciones elegidas fueron: Pedregal (SO), UAM Iztapalapa (SE), Merced (C), Tlalnepantla (NO) y Xalostoc (NE).



5.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE MUESTREO PARA CARBONILOS

PEDREGAL (PED)

Zona: SO; Latitud: 19° 19' 29.045"; Longitud: 99° 12' 13.377"

La estación de monitoreo, se encuentra ubicada dentro de la Escuela Primaria "John F. Kennedy" en la Calle de Cañada No. 370 esquina con Avenida Cráter, Colonia Pedregal de San Ángel, Delegación Álvaro Obregón.

La toma de muestra se llevó a cabo en la azotea de un edificio escolar de dos niveles, libre de árboles, con tipo de suelo urbano, el flujo vehicular alrededor de la estación es moderado, con autos particulares principalmente, y con pocos vehículos de transporte público y escolar (microbuses, combis y autobuses).

UAM IZTAPALAPA (UIZ)

Zona: SE; Latitud: 19° 21' 44.597"; Longitud: 99° 04' 16.219"

La estación de monitoreo está ubicada dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Iztapalapa. Con dirección "Sur 10" No. 230 esquina Calle "Sur 21", Colonia La Vicentina, Delegación Iztapalapa, D.F. La toma de muestra se realizó en la azotea del tercer nivel del edificio del área de Ciencias.

La UAM - Iztapalapa, se encuentra dentro de una zona urbana, principalmente habitacional y comercial. Ésta zona presenta flujo vehicular alto de microbuses y taxis, y flujo moderado de autos particulares y camiones de carga.

MERCED (MER)

Zona: CE; Latitud: 19° 25' 27.792"; Longitud: 99° 07' 09.397"

La Estación de Monitoreo se localiza en la azotea del Centro de Salud "Luis E. Ruiz" en Avenida Congreso de la Unión No. 148, Colonia Merced Balbuena, Delegación Venustiano Carranza.

El Centro de Salud se encuentra en un área urbana, principalmente habitacional y con gran actividad comercial; con escuelas de educación básica y parques con vegetación de temporal. Se ubica sobre la Avenida Congreso de la Unión que presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto de autos particulares, microbuses, autobuses, camionetas tipo pick-up, camiones de carga, trailer y motocicletas.

XALOSTOC (XAL)

Zona: NE; Latitud: 19° 31' 39.893"; Longitud: 99° 04' 35.201"

Ubicada dentro de la Distribuidora Volkswagen (VW) "Santa Clara", Km 13.5 de la Antigua Carretera a Pachuca (Vía Morelos) y Calle del Hierro, Colonia Xalostoc, Municipio Ecatepec de Morelos, Estado de México.

El muestreo se realizó en la azotea de la estación de monitoreo, dentro de las instalaciones de la distribuidora VW, cabe mencionar que cerca de la estación se encuentra las instalaciones del servicio de lavado y servicio de pintura de automóviles.

El tipo de suelo en esta área es principalmente de tipo industrial – urbano (habitacional). Cerca de la estación se encuentra la Antigua Carretera México – Pachuca (Vía Morelos), la cual presenta circulación en ambos sentidos, con flujo vehicular alto de autos particulares, camiones de carga, autobuses a diesel,

microbuses y taxis. Cerca de las instalaciones de la Distribuidora VW, se encuentra la zona industrial (industria química, del vestido, alimentos, productos metálicos y de madera, etc.)

TLALNEPANTLA (TLA)

Zona: NO; Latitud: 19° 31' 42.229; Longitud: 99° 12' 15.233"

La estación de monitoreo se localiza dentro de las instalaciones de la Comisión Nacional del Agua (CNA); en Avenida Toluca s/n, Glorieta Atlacumulco, Colonia Tlalnemex, Municipio de Tlalnepantla, Estado de México

El muestreo se realizó en la parte superior del tanque de almacenamiento de agua potable.

La Glorieta de Atlacomulco presenta tipo de suelo industrial - urbano, principalmente habitacional con algunos comercios y servicios. Se ubica sobre la Avenida Toluca que presenta flujo vehicular moderado de autos particulares, taxis, colectivos (combi), microbuses, camiones de carga y pick-up.

5.2 EQUIPO DE MUESTREO

El tren de muestreo para carbonilos está formado de los siguientes elementos:

- Cartuchos de 2-4-DNPH preempacados, Waters-Millipore, para muestreo y blancos
- Scrubber, (KI) purificador de ozono
- Bomba de Vacío Millipore 4.24 A 115V 60Hz
- Mangueras y conexiones de teflón
- Rotámetro 11.5 psia @ 25°C



FIG. 5.1 TREN DE MUESTREO

5.3 DISEÑO DE MUESTREO

5.3.1 CALIBRACIÓN DEL TREN DE MUESTREO.

La calibración del tren de muestreo es de suma importancia, ya que de esta forma es posible conocer exactamente el volumen de aire muestreado. El tren de muestreo es un dispositivo diseñado para conocer exactamente el flujo de aire que pasa a través del cartucho de muestreo y conociendo el tiempo del proceso, se obtiene el volumen de aire total muestreado.

Para asegurar que el flujo observado en el rotámetro sea un valor real (en este caso el flujo de muestreo es de 1 L/min., y el tiempo de muestreo es de 60 min.) es necesario calibrar el dispositivo en conjunto. Para realizar la calibración se utilizan dispositivos de calibración primarios y secundarios, como la botella de desplazamiento y el wet-test meter respectivamente. Estos dispositivos se utilizan de manera secuencial, para calibrar el tren de muestreo (rotámetro y bomba de vacío). Como resultado del proceso de calibración se obtiene la siguiente gráfica de flujo real (L/min.) vs. Lectura del rotámetro.

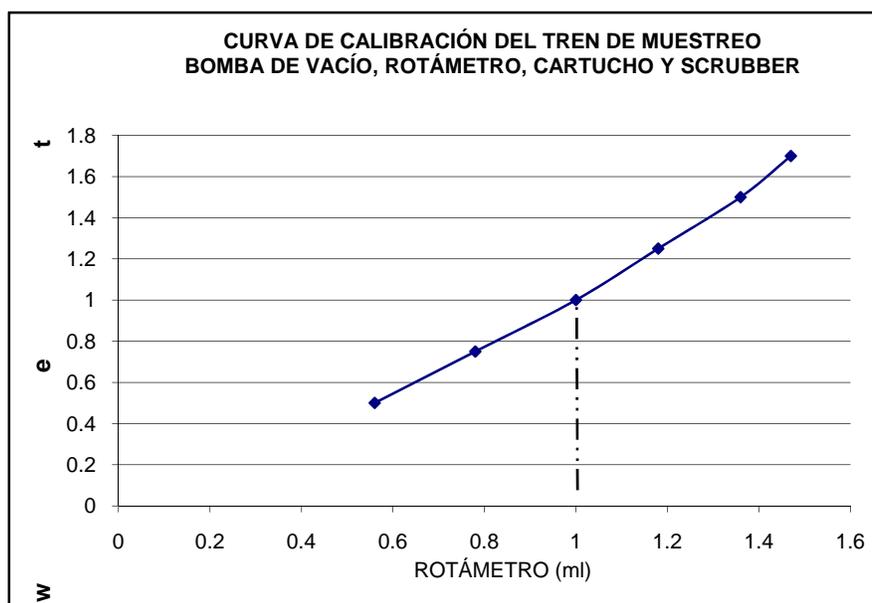


FIG. 5.2. CALIBRACIÓN DEL TREN DE MUESTREO

5.3.2 PERIODO DE MUESTREO.

El muestreo se realizó del 16 de mayo al 17 de junio del 2005, llevándose a cabo una semana para cada estación de monitoreo; teniendo así ocho muestras de aire por semana, las cuales se recolectaron una en la mañana al pico de monóxido de carbono y, la segunda por la tarde al pico de ozono por día.

La siguiente tabla representa, los días en que se llevó a cabo el muestreo, en los cinco sitios elegidos en la ZMCM, durante los meses de mayo y junio del 2005.

MAYO, JUNIO 2005

<i>DOMINGO</i>	<i>LUNES</i>	<i>MARTES</i>	<i>MIÉRCOLES</i>	<i>JUEVES</i>	<i>VIERNES</i>	<i>SÁBADO</i>
ABRIL 15	16. PED	17. PED	18. PED	19	20. PED	21
22	23. UIZ	24. UIZ	25. UIZ	26	27. UIZ	28
29	30. MER	31	→ JUNIO 1. MER	2. MER	3. MER	4
5	6. XAL	7. XAL	8. XAL	9	10. XAL	11
12	13. TLA	14. TLA	15. TLA	16	17. TLA	18

PED: PEDREGAL; UIZ: UAM IZTAPALAPA; MER: MERCED; XAL: XALOSOTOC; TLA: TLALNEPANTLA.

El periodo de muestreo fue seleccionado a partir de la información registrada por la RAMA del GDF, obtenidos en cada uno de los sitios de monitoreo, para los contaminantes por emisión vehicular y precursores de ozono, incluyendo parámetros medidos en cada una de las estaciones de monitoreo incluyendo temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, CO, NO, NO_x, O₃, SO₂.

De esta manera, se obtuvo una hora aproximada para el muestreo por la mañana en la hora de la máxima concentración de CO y para el muestreo por la tarde a la máxima concentración de O₃. Ver anexo A.

5.4 MUESTREO

5.4.1 DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO.

Las mediciones fueron hechas en la parte superior (azotea) de la estación de monitoreo de la RAMA, de tal modo que el tren de monitoreo estuviera libre de cualquier obstáculo que evitara la circulación del aire. La posición de la entrada del cartucho en el tren de monitoreo, en dirección del viento, de modo que se pueda captar la mayor concentración de carbonilos en el aire.

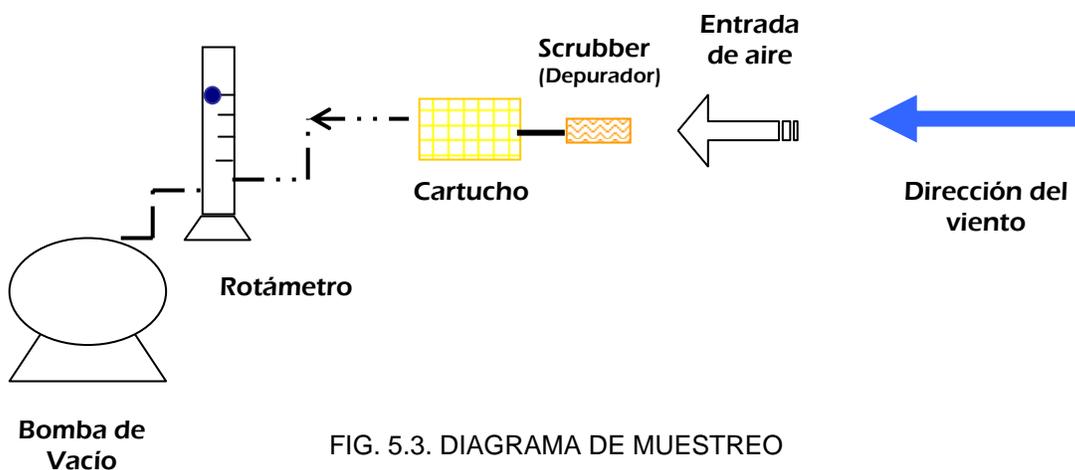


FIG. 5.3. DIAGRAMA DE MUESTREO

5.4.2. MÉTODO DE MUESTREO Y ANÁLISIS

Los cartuchos preempacados de 2,4-DNPH y el scrubber fueron transportados en una hielera con bloques pequeños de hielo, de modo que se mantuvieran a una temperatura muy baja; previamente sellados con capas de polipropileno y cubiertos con una hoja de papel aluminio; de esta forma se evita la posible contaminación de estos.

Una vez instalados en el sitio de monitoreo se procede a colocar el tren de muestreo en dirección opuesta a la dirección del viento y, el cartucho preempacado se coloca en serie con el scrubber (eliminador de compuestos oxidantes), se verifica el flujo de 1LPM y con la ayuda de un cronómetro se realiza el muestreo durante una hora.



FIG. 5.4 PREPARACIÓN DEL TREN DE MUESTREO

Un volumen conocido de aire es arrastrado a través de un cartucho preempacado impregnado con DNPH acidificada a una velocidad de muestreo de 1 LPM para un periodo de tiempo de 60 min. La velocidad de muestreo y el tiempo son dependientes de la concentración de carbonilos en la atmósfera en que se efectuará la prueba.



FIG. 5.5 TREN MUESTREO PEDREGAL (PED)



FIG. 5.6 TREN MUESTREO UAM (UIZ)



FIG.5.7 TREN MUESTREO XALOSTÓC. (DISTRIBUIDORA VW (XAL))



FIG. 5.8 TREN MUESTREO MERCED (MER)



FIG. 5.9 TREN MUESTREO TLALNEPANTLA (TLA)

Cabe mencionar que debido a que no se contaba con cartuchos suficientes para tener blancos de campo en cada muestreo, solo se emplearon tres, uno en UAM Iztapalapa, otro en Xalostóc y el último en Tlalnepantla.

Cada muestreo lleva un registro o una bitácora indicando la fecha de muestreo, hora inicial y final, temperatura inicial y final, tiempo, flujo, dirección del viento, condiciones meteorológicas como lluvia, cobertura del cielo, desde cielo totalmente abierto (0/8) hasta totalmente cerrado (8/8), así como las observaciones hechas a lo largo del muestreo.

Bitácora de Muestreo

MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	PERIODO (HORA)	FLUJO DEL MUESTREO (L/min)	TEMPERATURA PROMEDIO(°C)	OBSERVACIONES

En la bitácora se registran todas las observaciones, la cuales incluyen las características físicas del lugar, así como, las condiciones aparentes del mismo.

A continuación se presentan las condiciones aparentes de los lugares de muestreo.



FIG. 5.10 VISTA DESDE SITIO DE MONITOREO PED 16 ABRIL 7:45 AM



FIG. 5.11 VISTA DESDE SITIO DE MONITOREO PED 16 ABRIL 13:04 PM



FIG. 5.12. VISTA DESDE SITIO DE MONITOREO PED 20 MAYO 7:48 AM



FIG. 5.13. VISTA DESDE SITIO DE MONITOREO PED 20 MAYO 13:54 PM



FIG. 5.14. VISTA DESDE SITIO DE MONITOREO UIZ 23 MAYO 14:05 PM



FIG. 5.15. VISTA DESDE SITIO DE MONITOREO XAL 10 ABRIL 07:14 AM



FIG. 5.16. VISTA DESDE SITIO DE MONITOREO TLA 30 MAYO 12:43 PM



FIG. 5.17. VISTA DESDE SITIO DE MONITOREO TLA 13 ABRIL 08:41 AM



FIG. 5.18. VISTA DESDE SITIO DE MONITOREO TLA 13 ABRIL 13:10 PM

5.5. CONCLUSIÓN DEL MUESTREO

5.5.1 MANEJO DEL CARTUCHO CON MUESTRA.

Cuando el muestreo ha concluido, se retira el cartucho con la muestra de aire y los blancos de campo, (si los hay) se tapan individualmente y se colocan en tubos con capas de polipropileno y papel aluminio, posteriormente se regresan a su envase de plástico, el cual, se sella también con capas de polipropileno. Se identifica el muestreo con una clave para su fácil identificación.

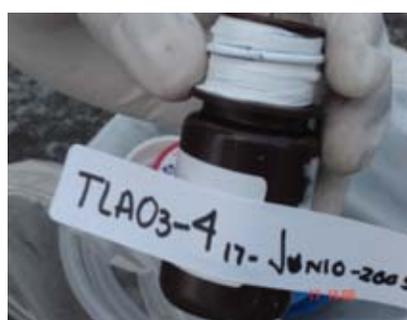


FIG. 5.19 ENVASADO Y ETIQUETADO DE CARTUCHOS

Los envases que contienen la muestra, son colocados en un recipiente el cual permanecerá frío a una temperatura aproximadamente de 4°C, durante el

transporte, para ser almacenados en el refrigerador hasta su análisis, el cual fué en Ventura California, E.U.

5.5.2. RELACIÓN DE CARTUCHOS MUESTREADOS

El muestreo consistió de 40 cartuchos, con 3 blancos de campo en las cinco estaciones de monitoreo, haciendo un total de 43 cartuchos utilizados.

No. Cartuchos muestreados	Blancos de Campo	Estación de Monitoreo
8	-	PED
8	1	UAMI
8	-	MER
8	1	XAL
8	1	TLA

TABLA 5.1. RELACIÓN DE CATRUCHOS MUESTREADOS

El Scrubber utilizado puede ser el mismo durante todo el estudio, ya que tiene un tiempo de trabajo de 56 horas, pero para evitar que haya una saturación de partículas o agua condensada, se cambió de scrubber en la mitad del muestreo total.

RESULTADOS

6

6.1 CARBONILOS ENCONTRADOS EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

De un total de 40 cartuchos muestreados en cinco sitios de monitoreo (Pedregal, UAM Iztapalapa, Merced, Tlalnepantla y Xalostoc) arrojó la identificación de un máximo de 73 carbonilos diferentes en cada uno de los sitios muestreados en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El máximo de 73 carbonilos se identificó en la estación Pedregal (PEDCO - 3, entre 08:35 – 09:35 hrs); y el mínimo de 69 carbonilos en las muestras de Xalostoc, (XALCO-2, 07:45 – 08:45 hrs; XALO₃-2, 13:30 – 14:30 hrs), Tlalnepantla (TLAO₃-2, 14:05 – 15:05 hrs; TLACO-3, 08:30 – 09:30 hrs; TLACO-4, 08:50 - 09:50 hrs; TLAO₃-4, 14:05 - 15:05 hrs. En los eventos restantes se registran de 70 a 72 carbonilos en cada uno de las muestras obtenidas. La figura 6.1 representa la cantidad de carbonilos presentes en cada uno de los cartuchos muestreados durante la mañana en presencia de la mayor concentración de monóxido de carbono.

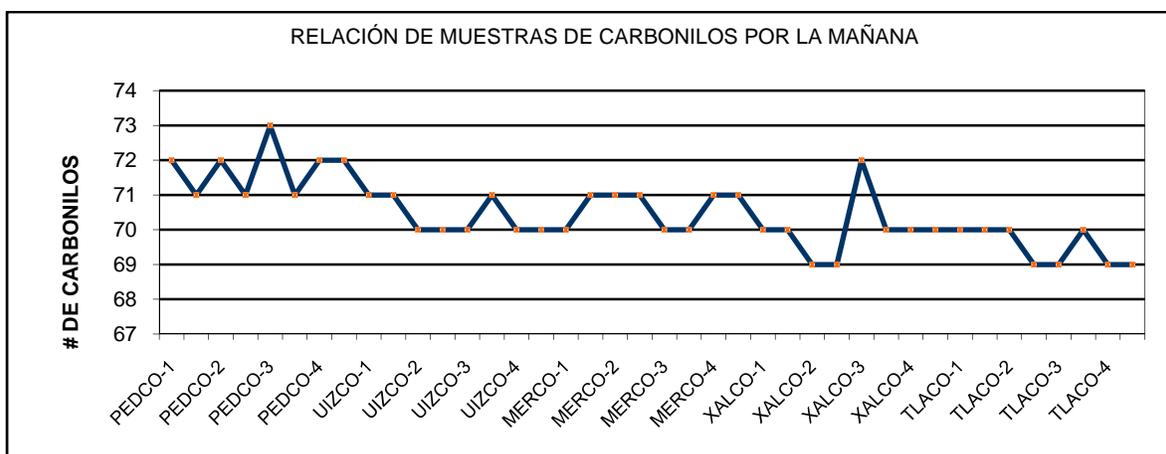


FIG. 6.1. RELACIÓN DE CARBONILOS PRESENTES POR LA MAÑANA DURANTE LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO

Por la tarde existe un máximo de 72 carbonilos presentes en el cartucho PED (O₃-4) en el sitio de Pedregal, en horario de 13:45 – 14:45 hrs. Únicamente tres muestras presentaron un mínimo de 69 carbonilos, en Xalostoc [XAL(O₃-2), 13:30 - 14.30 hrs]; Tlalnepantla [TLA(O₃-2), TLA(O₃-3), TLA(O₃-4)] con horario de 14:05 – 15:05 hrs. Figura 6.2.

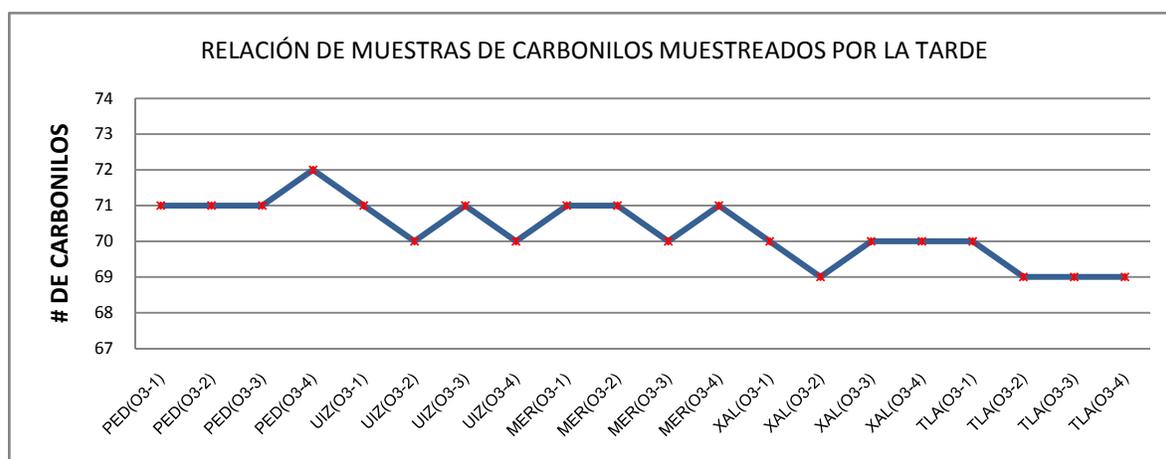


FIG. 6.2 RELACIÓN DE CARTUCHOS MUESTREADOS POR LA TARDE DURANTE LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN DE OZONO

6.1.1 CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE CARBONILOS ENCONTRADOS EN CINCO ÁREAS DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO. (ABRIL – MAYO 2005).

A continuación se presentan las concentraciones promedio en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (25°C y 585 mmHg) de las especies encontradas en la ZMCM, en los cinco sitios de muestreo; indicando su desviación estándar, desviación estándar relativa, concentración mínima, concentración máxima además de la relación entre máxima/mínima. (Tabla 6.1).

CARBONYL [25°C, 585 mHg]	AVE [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	STDEV	RSD,%	MIN	MAX	MAX/MIN
Formaldehido	10.122	4.249	41.972	4.024	19.984	4.966
Acetaldehido	9.583	4.595	47.945	3.207	23.250	7.250
1,4-Benzoquinona	0.485	0.232	47.936	0.207	0.971	4.700
Acetona	27.473	15.700	57.147	9.042	65.014	7.190
Propanal	1.368	1.052	76.847	0.124	4.581	36.944
Acroleína	0.413	0.236	57.017	0.118	0.882	7.485
Crotonaldehido	0.125	0.079	63.080	0.034	0.378	11.083
Metacroleína	0.263	0.150	57.235	0.033	0.595	18.100
2-Butanona	4.679	3.572	76.352	1.043	20.357	19.518
Ciclopentanona	0.107	0.059	55.810	0.015	0.238	16.302
Butanal/Isobutanal	0.703	0.558	79.326	0.073	2.361	32.375
Metil Vinil Cetona	0.198	0.093	46.908	0.065	0.431	6.667
Benzaldehido	0.663	0.331	49.976	0.051	1.269	24.700
2-Pentanal/ ISM	0.075	0.041	54.488	0.009	0.115	12.351
C5 ALP ISM #1	0.089	0.087	96.853	0.016	0.417	25.303
2-Pentanona	0.842	0.320	38.080	0.388	1.674	4.319
Isopentanal	0.380	0.139	36.435	0.122	0.765	6.280
Glioxal	0.753	0.397	52.694	0.090	1.722	19.048
Pentanal	0.236	0.284	120.304	0.016	0.886	56.000
Acetofenona	0.058	0.040	68.317	0.008	0.138	16.531
o-Tolualdehido	0.073	0.044	60.577	0.005	0.174	35.088
m-Tolualdehido	0.237	0.127	53.806	0.019	0.538	27.907
p-Tolualdehido	0.171	0.098	56.948	0.016	0.449	27.346
Indanona	0.040	0.026	65.640	0.005	0.087	16.961
4-Metil-2-Pentanona	1.447	3.319	229.389	0.065	20.910	319.662
C6 ALIP ISOMERO #2	0.025	0.028	113.796	0.003	0.135	53.224
C6 ALIP ISOMERO #3	0.061	0.054	89.137	0.008	0.266	34.688
C6 ALIP ISOMERO #5	0.111	0.111	99.956	0.015	0.468	32.065
Metil Glioxal	1.678	0.846	50.456	0.364	3.897	10.719
C6 ALIFATIC ISOMERO #4 (2-Hexanona)	0.104	0.038	36.236	0.023	0.180	7.959

TABLA 6.1. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE CARBONILOS PRESENTES EN CINCO ÁREAS DE LA ZMCM. PEDREGAL, UAM IZ., MERCED, XALOSTOC Y TLALNEPANTLA

Determinación de Carbonilos en la Atmósfera de la ZMCM

CARBONYL [25°C, 585 mHg]	AVE [ug/m³]	STDEV	RSD,%	MIN	MAX	MAX/MIN
Hexanal	0.403	0.381	94.433	0.030	1.410	47.500
DMBZ ISM #1	0.020	0.010	49.064	0.002	0.041	26.292
C7 ALP ISM #1	0.099	0.142	143.532	0.007	0.511	76.326
2,5-Dimethylbenzaldehyde	0.082	0.042	51.351	0.008	0.171	22.142
C7 ALP ISM #2	0.078	0.098	126.046	0.005	0.365	73.002
2,4-Dimethylbenzaldehyde/ISM	0.076	0.045	59.060	0.008	0.170	21.432
DMBZ ISM #2	0.062	0.031	50.664	0.006	0.130	22.373
DMBZ ISM #3	0.038	0.020	51.409	0.005	0.091	19.955
C7 ALP ISM #5	0.046	0.029	64.088	0.008	0.124	16.123
2-Oxobutanal	0.318	0.166	52.201	0.050	0.708	14.244
C7 ALP ISM #6	0.029	0.012	40.314	0.018	0.045	2.462
C7 ALP ISM #7	0.061	0.051	84.849	0.006	0.211	37.668
Biacetyl	0.875	0.443	50.643	0.211	1.879	8.906
2-Heptanone	0.227	1.041	459.155	0.005	6.631	1440.0
C7 ALP ISM #8	0.067	0.078	116.009	0.003	0.288	96.176
Trimethylbenzaldehyde/ISM #2	0.015	0.008	52.773	0.001	0.034	24.072
2,4,6-Trimethylbenzaldehyde/ISM	0.082	0.041	49.529	0.007	0.165	22.009
Heptanal	0.235	0.181	77.124	0.013	0.660	49.000
Trimethylbenzaldehyde ISM#2	0.038	0.022	57.770	0.003	0.090	26.334
C8 ALP ISM #1	0.023	0.012	51.817	0.007	0.045	6.761
2-Oxopentanal	0.157	0.077	48.957	0.039	0.309	7.829
C8 ALP ISM #3	0.035	0.019	53.912	0.005	0.078	15.390
2,3-Pentanedione	0.074	0.043	57.385	0.014	0.167	11.850
2-Oxohexanal	0.136	0.142	104.192	0.007	0.562	79.852
Oxohexanal ISM#1	0.107	0.065	60.907	0.019	0.194	10.435
Hexanodione ISM#1	0.089	0.073	81.819	0.004	0.309	68.966
2,3-Hexanedione/ISM	0.110	0.063	57.389	0.036	0.301	8.358
Hexanodione ISM#2	0.109	0.066	60.400	0.017	0.264	15.345
C8 ALP ISM #7	0.064	0.052	81.106	0.011	0.246	22.375
C8 ALP ISM #9	0.076	0.058	76.509	0.006	0.225	38.896
C8 ALP ISM #10	0.042	0.024	57.770	0.004	0.097	21.600
3,4-Hexanedione/ISM	0.043	0.030	70.037	0.008	0.150	18.199
Octanal	0.367	0.211	57.655	0.030	0.742	24.333
Pinonaldehyde (TENT)	0.217	0.199	91.970	0.011	0.692	62.311
2-Oxoheptanal/ISM	0.017	0.011	67.000	0.004	0.051	12.804
C9 ALP ISM #2	0.030	0.013	44.172	0.011	0.056	5.109
C9 ALP ISM #3	0.057	0.017	29.804	0.017	0.088	5.274
C9 ALP ISM #4	0.119	0.070	58.461	0.014	0.335	24.119
Nonanal	1.323	0.757	57.243	0.125	2.870	22.901
C10 ALP ISM #1	0.022	0.010	44.075	0.005	0.048	10.354
C10 ALP ISM #2	0.018	0.008	46.582	0.004	0.031	7.093
C10 ALP ISM #3	0.047	0.018	37.730	0.009	0.084	9.000
Decanal	0.248	0.129	51.937	0.043	0.466	10.870
Undecanal	0.096	0.047	49.272	0.028	0.198	7.113

CONTINUACIÓN TABLA 6.1. CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS PRESENTES EN CINCO ÁREAS DE LA ZMCM.

En la gráfica siguiente (Fig. 6.3) se presenta la concentración promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (25°C y 585 mmHg) de las especies con mayor abundancia en la atmósfera de la ZMCM, donde se observa que la acetona es la que se encuentra con mayor concentración, siguiendo de formaldehído, acetaldehído, 2 – butanal y propanal; los carbonilos restantes se encuentran en concentraciones mucho menores.

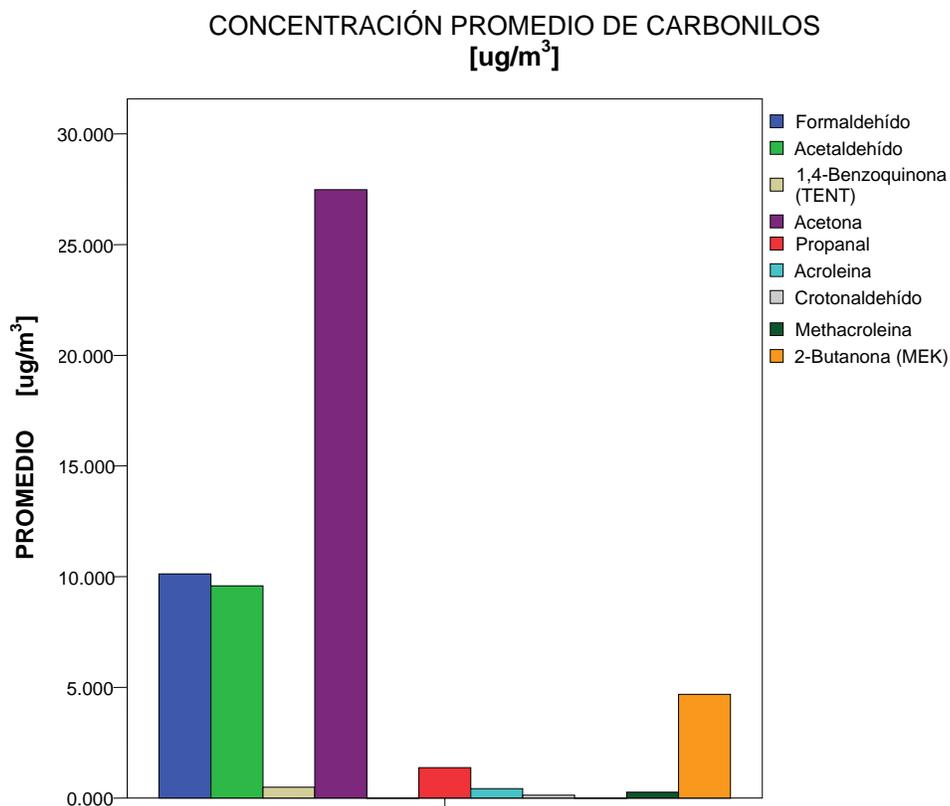


FIG. 6.3. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE ALGUNOS CARBONILOS ENCONTRADOS EN LA ZMCM

6.2 CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS CON MAYOR ABUNDANCIA EN LA ZMCM, POR SITIO DE MONITOREO.

A continuación se presenta la concentración de los carbonilos con mayor abundancia en cada sitio de monitoreo, por la mañana cuando se alcanza la máxima concentración de monóxido de carbono (entre 7:30 y 10:30 hrs) y por la tarde cuando se alcanza la mayor concentración de ozono (13:00 y 15:00 hrs); el horario depende cada una de las estaciones de monitoreo.

Por medio del modelo de caja, se representa las concentraciones dadas en cada evento, indicando los máximos y mínimos de concentración.

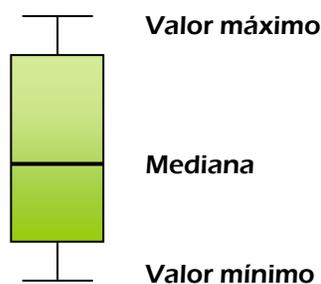


FIG. 6.4. REPRESENTACIÓN DE MODELO DE CAJA

Los resultados de concentración de carbonilos especificados en las siguientes tablas, se presentan por día de concentración de acuerdo a la clave asignada durante el muestreo,

Ejemplo:

Sitio de muestreo: Pedregal, (PED).

Evento: Mañana (CO)

Día de de muestreo: 1

Clave de la muestra: PED (CO-1)

Sitio de Muestreo: Pedregal, (PED).

Evento: Tarde (O₃)

Día de de muestreo: 1

Clave de la muestra: PED (O₃-1)

Tiempo de Muestreo: 1 hora.

Intervalo de Muestreo: De acuerdo al sitio de muestreo, en presencia de la máxima concentración de CO por la mañana y O₃ por la tarde, según sea el caso.

PEDREGAL (PED)

25°C, 585mmHg)	CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN PEDREGAL HORARIO PROM. 1 hora entre 08:30 y 9:45 hrs.			
	PED(CO-1)	PED(CO-2)	PED(CO-3)	PED(CO-4)
Carbonilo	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Formaldehido	10.8	13.5	11.1	8.4
Acetaldehido	14.7	11.1	10.2	6.4
1,4-Benzoquinona	0.0	0.5	0.5	0.3
Acetona	56.1	18.5	23.3	9.0
2-Furaldehido				
Propanal	1.653	2.514	1.998	1.653
Acrolein	0.674	0.882	0.427	0.313
Crotonaldehido	0.296	0.378	0.116	0.089
Methacroleina	0.396	0.462	0.164	0.141
2-Butanona (MEK)	3.793	4.583	3.307	2.760
Ciclopentanona (TENT)	0.176	0.202	0.076	0.068
Butanal/Isobutanal	1.024	1.267	1.115	0.811
Metil Vinil Cetona	0.237	0.237	0.258	0.237
Benzaldehido	1.269	0.806	0.601	0.550

(25°C, 585mmHg)	CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN PEDREGAL HORARIO PROM. 1 hora entre 13:30 y 14:45 hrs.			
	PED(O ₃ -1)	PED(O ₃ -2)	PED(O ₃ -3)	PED(O ₃ -4)
Carbonilo	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Formaldehido	8.8	9.7	7.9	4.9
Acetaldehido	7.4	8.1	6.8	5.8
1,4-Benzoquinona	0.0	0.0	0.0	0.2
Acetona	21.4	16.5	13.2	14.5
2-Furaldehido	0.0	0.0	0.0	0.0
Propanal	0.124	0.327	0.276	0.637
Acrolein	0.200	0.176	0.207	0.132
Crotonaldehido	0.059	0.054	0.061	0.039
Methacroleina	0.357	0.148	0.138	0.082
2-Butanona (MEK)	2.273	3.033	2.395	1.605
Ciclopentanona (TENT)	0.025	0.085	0.067	0.046
Butanal/Isobutanal	0.073	0.143	0.082	0.325
Metil Vinil Cetona	0.149	0.088	0.108	0.101
Benzaldehido	0.858	0.498	0.498	0.344

TABLA 6.2. CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN PEDREGAL

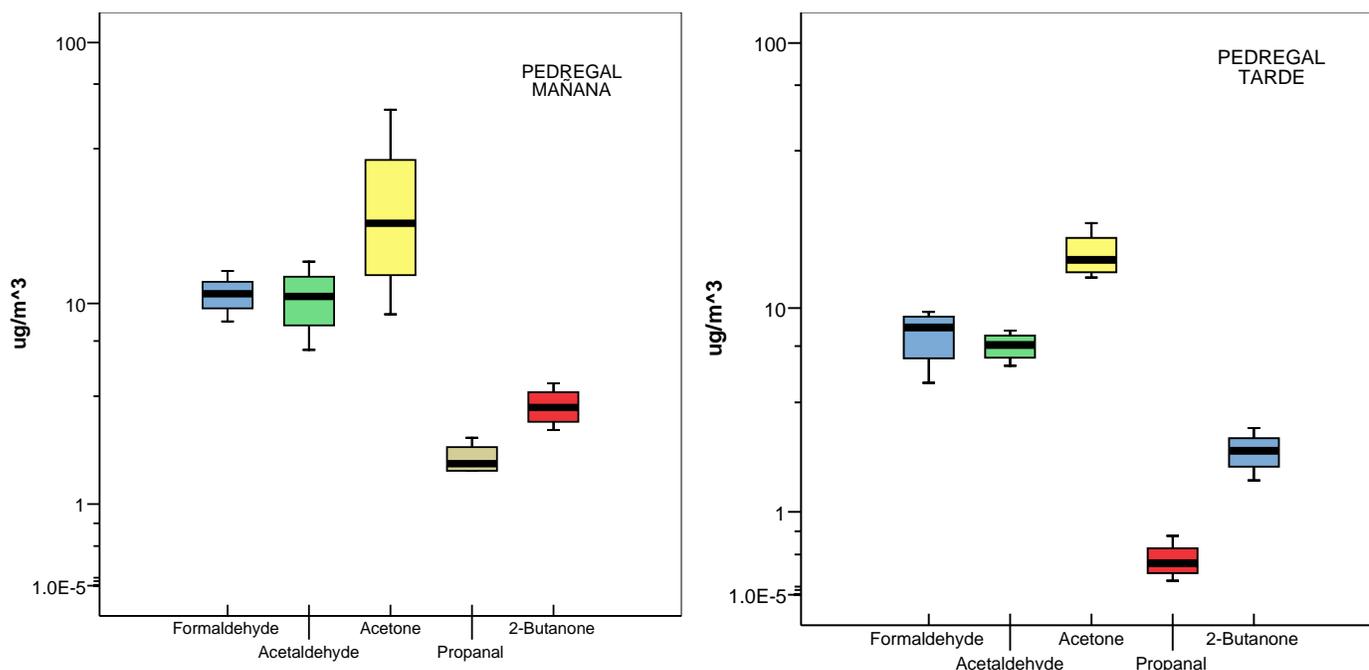


FIG. 6.5. CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS CON MAYOR ABUNDANCIA EN PEDREGAL

UAM IZTAPALAPA (UIZ)

(25°C, 585mmHg)	CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN UAM IZTAPALAPA HORARIO PROM. 1 hora entre 09:00 y 10:25 hrs.			
	UIZ(CO-1)	UIZ(CO-2)	UIZ(CO-3)	UIZ(CO-4)
CLAVE DE LA MUESTRA POR DÍA	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Carbonilo				
Formaldehido	13.8	8.0	14.6	17.4
Acetaldehido	10.7	9.0	10.8	13.1
1,4-Benzoquinona	0.0	0.0	0.0	0.0
Acetona	18.4	26.1	15.5	22.2
2-Furaldehido	0.0	0.0	0.0	0.0
Propanal	0.792	0.482	0.964	2.859
Acrolein	0.402	0.365	0.455	0.759
Crotonaldehido	0.111	0.112	0.121	0.192
Methacrolein	0.227	0.076	0.230	0.463
2-Butanona (MEK)	3.823	1.817	3.975	7.015

(25°C, 585mmHg)	CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN UAM IZTAPALAPA HORARIO PROM. 1 hora entre 13:25 y 15:00 hrs.			
	UIZ(O ₃ -1)	UIZ(O ₃ -2)	UIZ(O ₃ -3)	UIZ(O ₃ -4)
CLAVE DE LA MUESTRA POR DÍA	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Carbonilo				
Formaldehido	11.3	10.5	8.8	7.8
Acetaldehido	14.0	8.0	6.5	5.3
1,4-Benzoquinona	0.7	0.0	0.0	0.0
Acetona	48.7	17.4	13.2	14.5
2-Furaldehido	0.0	0.0	0.0	0.0
Propanal	0.448	0.344	0.396	0.431
Acrolein	0.289	0.256	0.226	0.208
Crotonaldehido	0.094	0.069	0.069	0.064
Methacrolein	0.299	0.156	0.210	0.177
2-Butanona (MEK)	4.158	3.671	3.155	2.790

TABLA 6.3. CONCENTRACIÓN CARBONILOS. ESTACIÓN UAM IZTAPALAPA

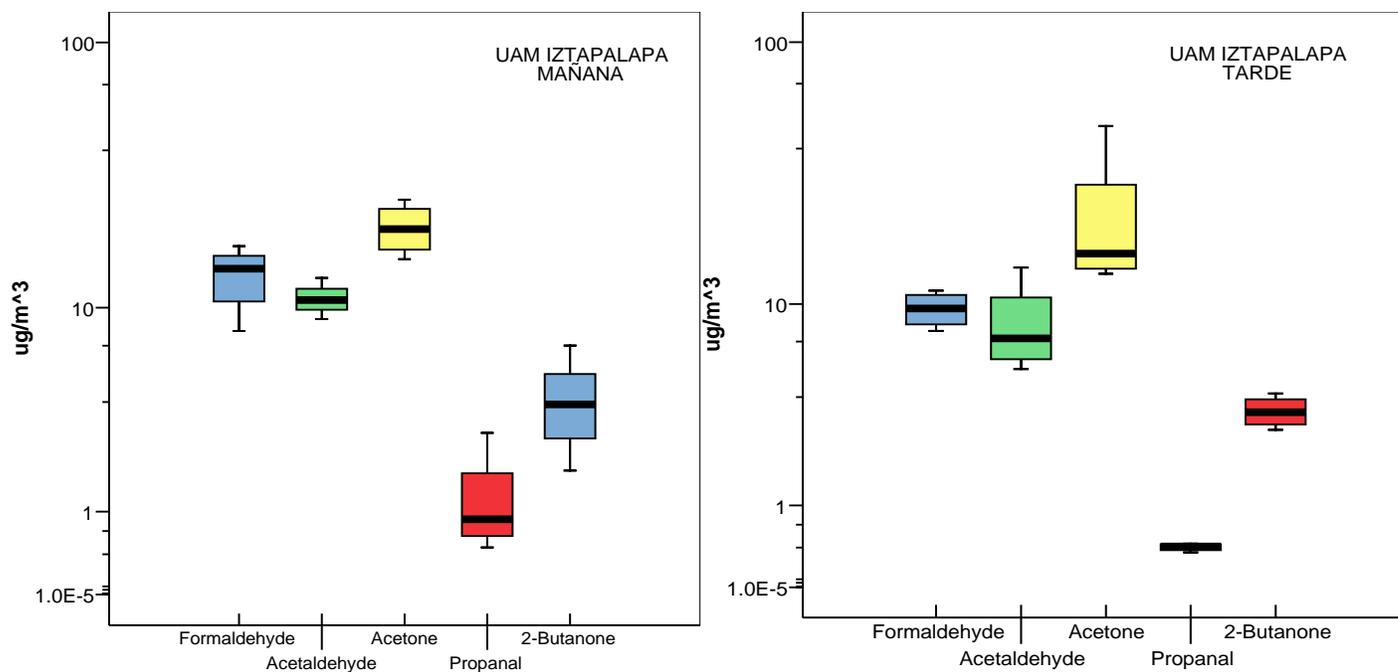


FIG 6.6 CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS CON MAYOR ABUNDANCIA. UAM IZTAPALAPA

MERCED (MER)

(25°C, 585mmHg)	CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN MERCED HORARIO PROM. 1 hora entre 07:30 y 10:00 hrs.				(25°C, 585mmHg)	CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN MERCED HORARIO PROM. 13:30 - 14:30 hrs.			
	MER(CO-1)	MER(CO-2)	MER(CO-3)	MER(CO-4)		MER(O ₃ -1)	MER(O ₃ -2)	MER(O ₃ -3)	MER(O ₃ -4)
CLAVE DE LA MUESTRA POR DÍA					CLAVE DE LA MUESTRA POR DÍA				
Carbonilo	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	Carbonilo	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Formaldehido	20.0	16.4	18.0	11.9	Formaldehido	10.1	6.7	11.0	14.6
Acetaldehido	20.8	23.3	12.8	16.2	Acetaldehido	7.0	7.1	8.0	9.7
1,4-Benzoquinona	0.0	0.97	0.0	0.0	1,4-Benzoquinona	0.0	0.0	0.0	0.0
Acetona	41.9	40.8	24.1	57.1	Acetona	12.9	21.1	18.2	19.4
Propanal	4.581	3.203	2.859	2.687	Propanal	0.396	0.654	0.775	1.206
Acrolein	0.737	0.775	0.746	0.559	Acrolein	0.237	0.180	0.303	0.397
Crotonaldehido	0.205	0.212	0.202	0.155	Crotonaldehido	0.069	0.056	0.091	0.123
Metacrolein	0.463	0.522	0.430	0.332	Metacrolein	0.204	0.154	0.332	0.296
2-Butanona (MEK)	7.166	8.169	6.832	5.343	2-Butanona (MEK)	3.094	2.486	4.553	6.467

TABLA 6.4. CONCENTRACIÓN CARBONILO. ESTACIÓN MERCED.

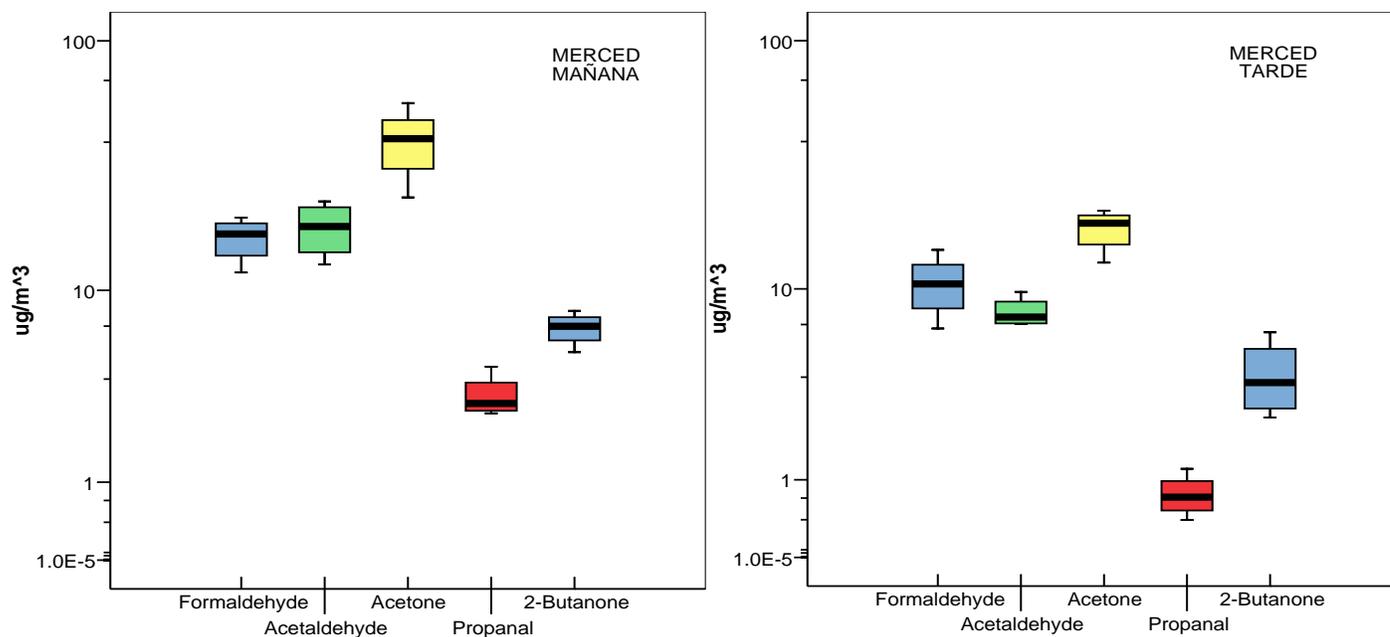


FIG. 6.7. CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS CON MAYOR ABUNDANCIA. MERCED

TLANEPANTLA (TLA)

(25°C, 585mmHg)	CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN TLALNEPANTLA HORARIO PROM. 1 hora entre 09:45 y 10:50 hrs.			
	TLA(CO-1)	TLA(CO-2)	TLA(CO-3)	TLA(CO-4)
CLAVE DE LA MUESTRA POR DÍA	TLA(CO-1)	TLA(CO-2)	TLA(CO-3)	TLA(CO-4)
Carbonilo	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Formaldehído	17.3	7.2	4.4	7.1
Acetaldehído	13.7	8.1	3.2	6.1
1,4-Benzoquinona	0.0	0.4	0.0	0.0
Acetona	16.6	27.1	12.8	16.2
Propanal	2.859	1.361	0.603	0.982
Acrolein	0.677	0.310	0.192	0.255
Crotonaldehído	0.183	0.084	0.051	0.071
Salicaldehído	0.000	0.000	0.000	0.000
Metacrolein	0.430	0.191	0.033	0.099
2-Butanona (MEK)	6.589	3.155	1.301	2.152

(25°C, 585mmHg)	CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN TLALNEPANTLA HORARIO PROM. 14:00 - 15:00 hrs.			
	TLA(O3-1)	TLA(O3-2)	TLA(O3-3)	TLA(O3-4)
CLAVE DE LA MUESTRA POR DÍA	TLA(O3-1)	TLA(O3-2)	TLA(O3-3)	TLA(O3-4)
Carbonilo	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Formaldehído	4.5	4.0	5.9	4.4
Acetaldehído	8.9	6.6	3.6	4.8
1,4-Benzoquinona	0.4	0.0	0.0	0.0
Acetona	46.2	35.2	19.5	33.2
Propanal	0.999	0.792	0.723	0.551
Acrolein	0.143	0.127	0.293	0.118
Crotonaldehído	0.047	0.042	0.084	0.034
Salicaldehído	0.000	0.000	0.000	0.000
Metacrolein	0.118	0.102	0.066	0.059
2-Butanona (MEK)	2.030	1.817	3.854	1.043

TABLA 6.5. CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS EN TLALNEPANTLA

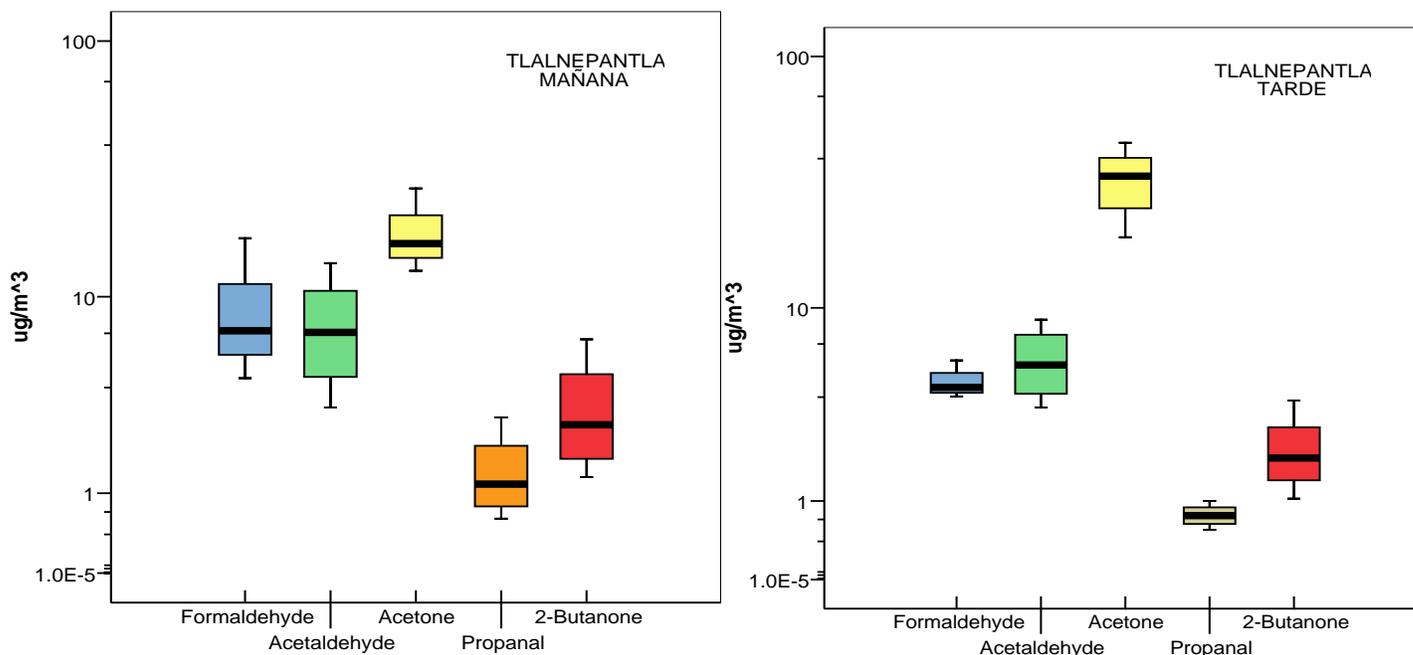


FIG. 6.8 CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS CON MAYOR ABUNDANCIA. TLALNEPANTLA

XALOSTOC (XAL)

(25°C, 585mmHg)	CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN XALOSTOC HORARIO PROM. 1 hora entre 07:45 y 11:00 hrs.			
	XAL(CO-1)	XAL(CO-2)	XAL(CO-3)	XAL(CO-4)
Carbonilo	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Formaldehido	14.8	11.3	9.1	14.0
Acetaldehido	16.6	11.0	6.5	16.7
1,4-Benzoquinona	0.0	0.0	0.35	0.7
Acetona	32.3	56.5	65.0	56.7
2-Furaldehido	0.0	0.0	0.0	0.0
Propanal	2.342	2.170	1.826	3.203
Acrolein	0.730	0.676	0.763	0.710
Crotonaldehido	0.227	0.185	0.225	0.195
Metacrolein	0.404	0.595	0.389	0.430
2-Butanona (MEK)	10.084	8.139	12.272	6.741

(25°C, 585mmHg)	CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS ESTACIÓN XALSTOC HORARIO PROM. 13:30 - 14:30 hrs.			
	XAL(O ₃ -1)	XAL(O ₃ -2)	XAL(O ₃ -3)	XAL(O ₃ -4)
Carbonilo	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Formaldehido	5.9	5.8	6.8	6.5
Acetaldehido	8.5	5.9	5.2	5.0
1,4-Benzoquinona	0.0	0.0	0.0	0.0
Acetona	48.8	20.8	16.1	11.9
2-Furaldehido	0.0	0.0	0.0	0.0
Propanal	1.068	0.964	0.947	1.085
Acrolein	0.495	0.188	0.676	0.272
Crotonaldehido	0.162	0.061	0.214	0.089
Metacrolein	0.230	0.135	0.445	0.332
2-Butanona (MEK)	2.456	2.365	20.357	4.522

TABLA 6.6. CONCENTRACIÓN CARBONILOS ESTACIÓN XALOSTOC

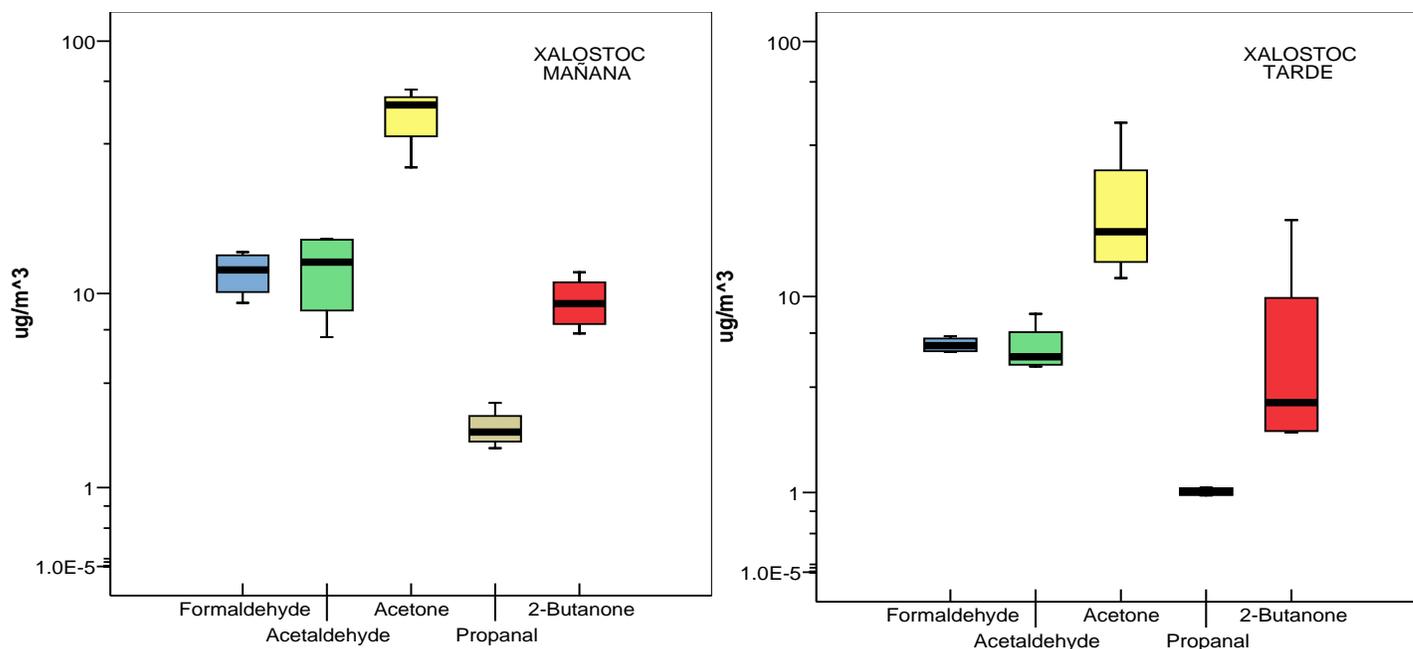


FIG. 6.9. CONCENTRACIÓN CARBONILOS CON MAYOR ABUNDANCIA EN XALOSTOC.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

7

El presente estudio, tiene como resultado la obtención de la concentración de 74 carbonilos diferentes en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Como se esperaba, el formaldehído y acetaldehído son las principales especies contaminantes, debido a la contribución por los combustibles empleados en los automotores y por su reacción química. Sumado a estos contaminantes se encuentra la acetona, su fuente de emisión puede deberse a diferentes fuentes, tal como son la emisiones en la operación de pintura automotriz, desengrasantes, actividad industrial, etc., además de ser un contaminante secundario como producto de reacciones fotoquímicas a partir de hidrocarburos presentes en la atmósfera.

La gráfica de concentración promedio de carbonilos (Graf. 5.2), revela que el carbonilo con mayor presencia en la ZMCM, es la acetona con una concentración promedio de $27.473 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siguiéndole el formaldehído, acetaldehído, 2 – butanona, y propanal, con concentraciones de 10.122, 9.583, 4.679 y $1.368 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Considerándose como las especies de mayor abundancia en dicha zona; otros carbonilos encontrados se encuentran en menor concentración, por ejemplo, acroleína ($0.413 \mu\text{g}/\text{m}^3$), crotonaldehído ($0.125 \mu\text{g}/\text{m}^3$), etc., por mencionar algunos.

Las siguientes figuras representan el perfil de concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, de las especies presentes, durante los dos eventos de muestreo. En condiciones locales de la ciudad de México (25°C y 585 mmHg).¹

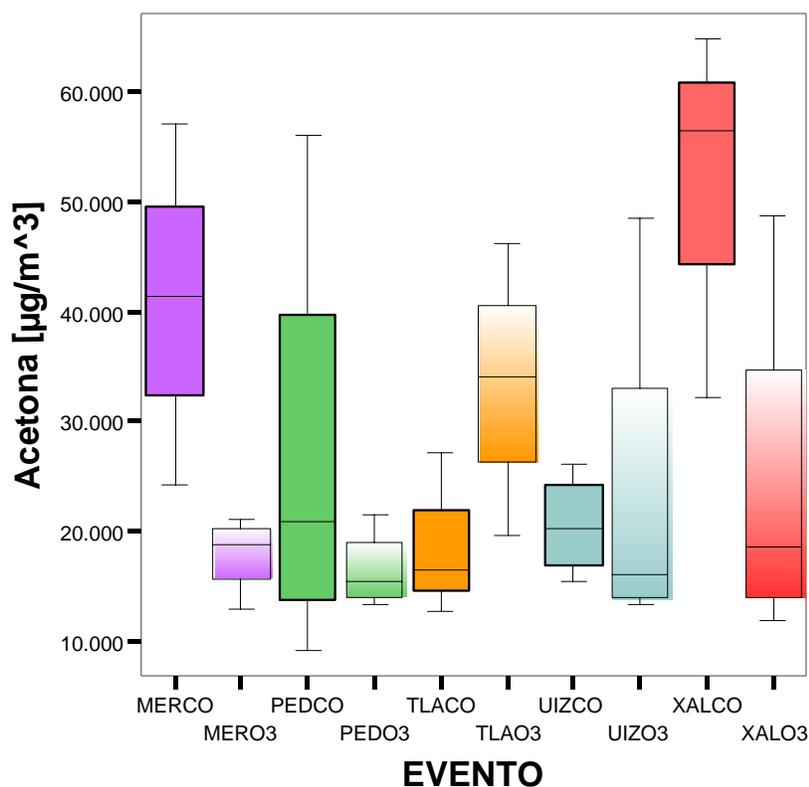


FIG. 7.1. CONCENTRACIÓN DE ACETONA

La figura 7.1 muestra la concentración de acetona en cada uno de los cinco sitios de monitoreo, siendo el contaminante que presenta mayor concentración en todas las áreas evaluadas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. El Intervalo de concentración de la acetona es de $9.04 - 65.01\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ y se observa que Xalostoc presenta la máxima concentración de acetona por la mañana; y el segundo lugar, se registró en la zona del centro en Merced.

¹ Clave del cartucho muestreado: [Sitio de Muestreo (Evento a la máx. conc. de CO y O₃)]

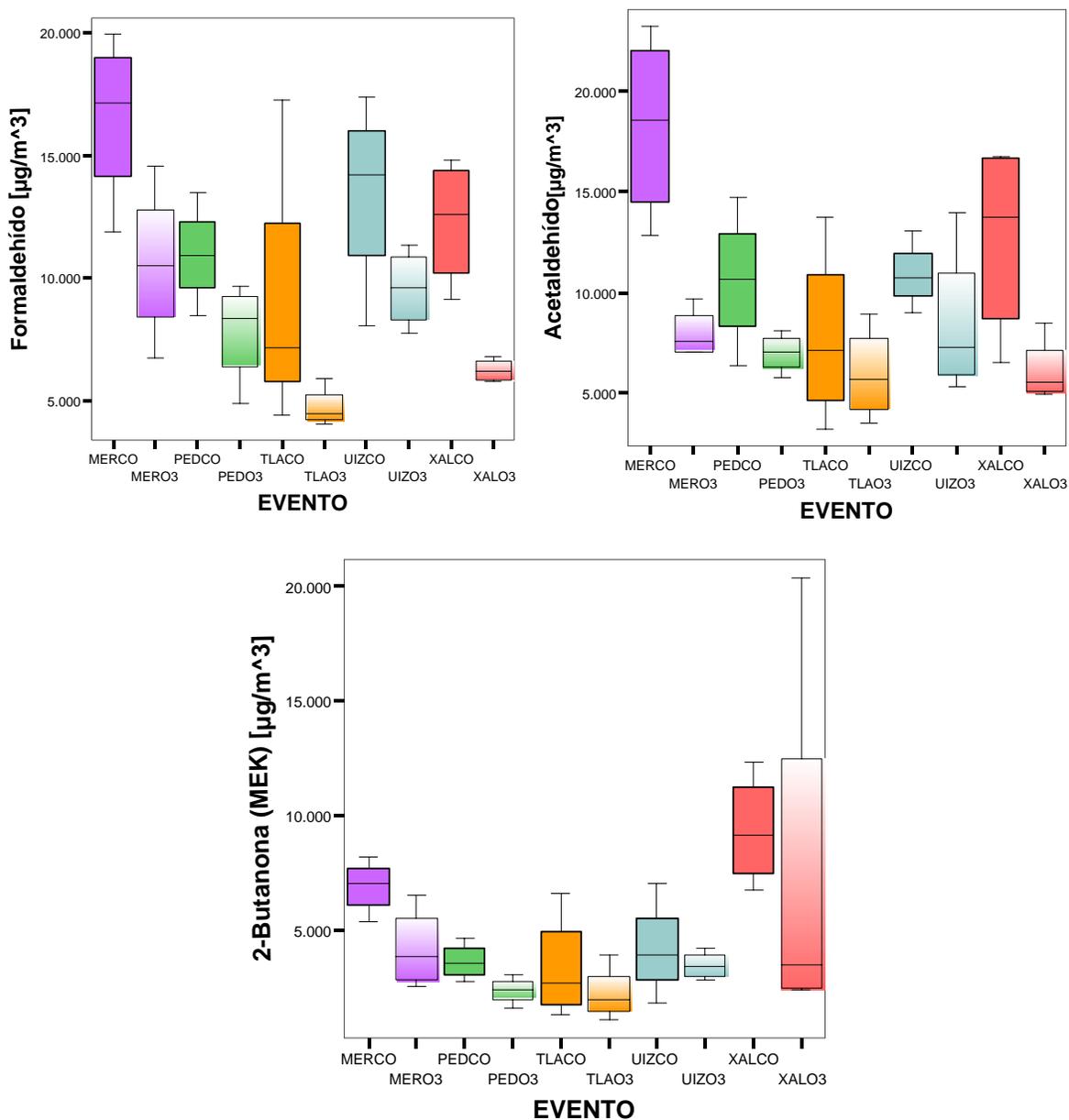


FIGURA 7.2. CONCENTRACIÓN DE FORMALDEHÍDO, ACETALDEHÍDO, 2- BUTANONA. DURANTE LOS EVENTOS DE MUESTREO.

Formaldehído, acetaldehído y 2 – butanona son los carbonilos que se encuentran en mayor concentración después de la acetona. Los intervalos de concentración son de 1.043 – 23.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

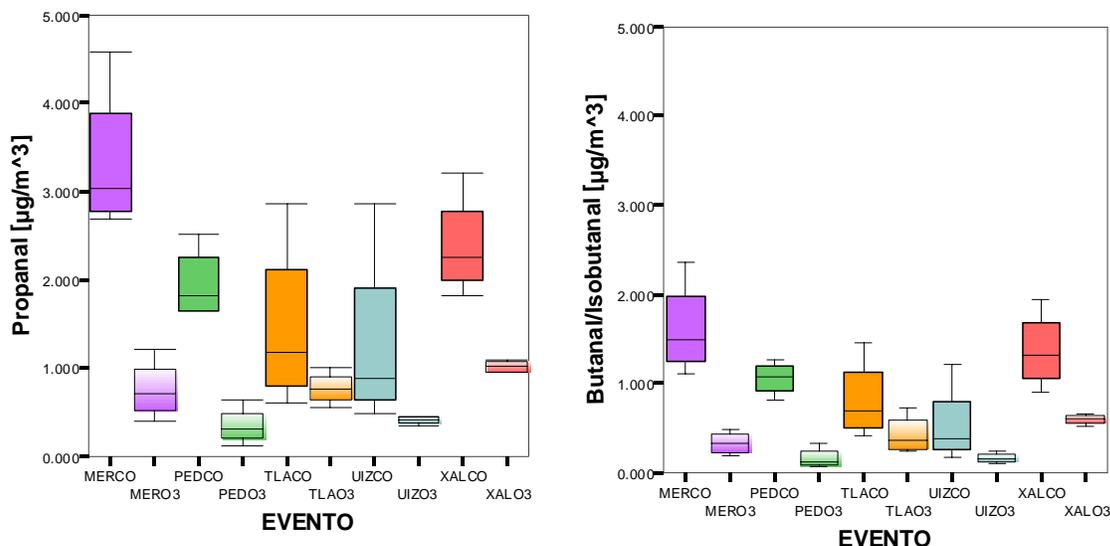


FIG. 7.3. CONCENTRACIÓN DE PROPANAL Y BUTANAL/ISOBUTANAL DURANTE LOS EVENTOS DE MUESTREO.

La Fig. 7.3 señala que los carbonilos Propanal y butanal/isobutanal son las especies más representativas después de acetona, formaldehído y acetaldehído. Con intervalos de concentración de 0.073 – 4.581 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los cinco sitios muestreados presentan un comportamiento similar en la concentración de los carbonilos encontrados, aunque el sitio de Merced (al Centro de la ciudad), muestra una mayor concentración de formaldehído, acetaldehído (Fig. 7.2) y propanal (Fig. 7.3) tanto por la mañana como por la tarde. Por otra parte, la acetona (Fig. 7.1) se encuentra en cantidades altas, el sitio que presentó la mayor concentración fue Xalostoc con 9.21 unidades más que en Merced (por la mañana); por la tarde la acetona se comportó con cierta similitud en la concentración en UAM Iztapalapa (Sureste), Xalostoc (Noreste) y Tlalnepantla (Noroeste). La especie 2-butanona (Fig. 7.2), presentó mayor abundancia en Xalostoc por la mañana que fue superado por la tarde en el mismo sitio. Lo que pudiera deberse a emisiones por fuentes fijas como lo son las industrias químicas que se establecidas en la zona Noroeste.

Determinación de Carbonilos en la Atmósfera de la ZMCM

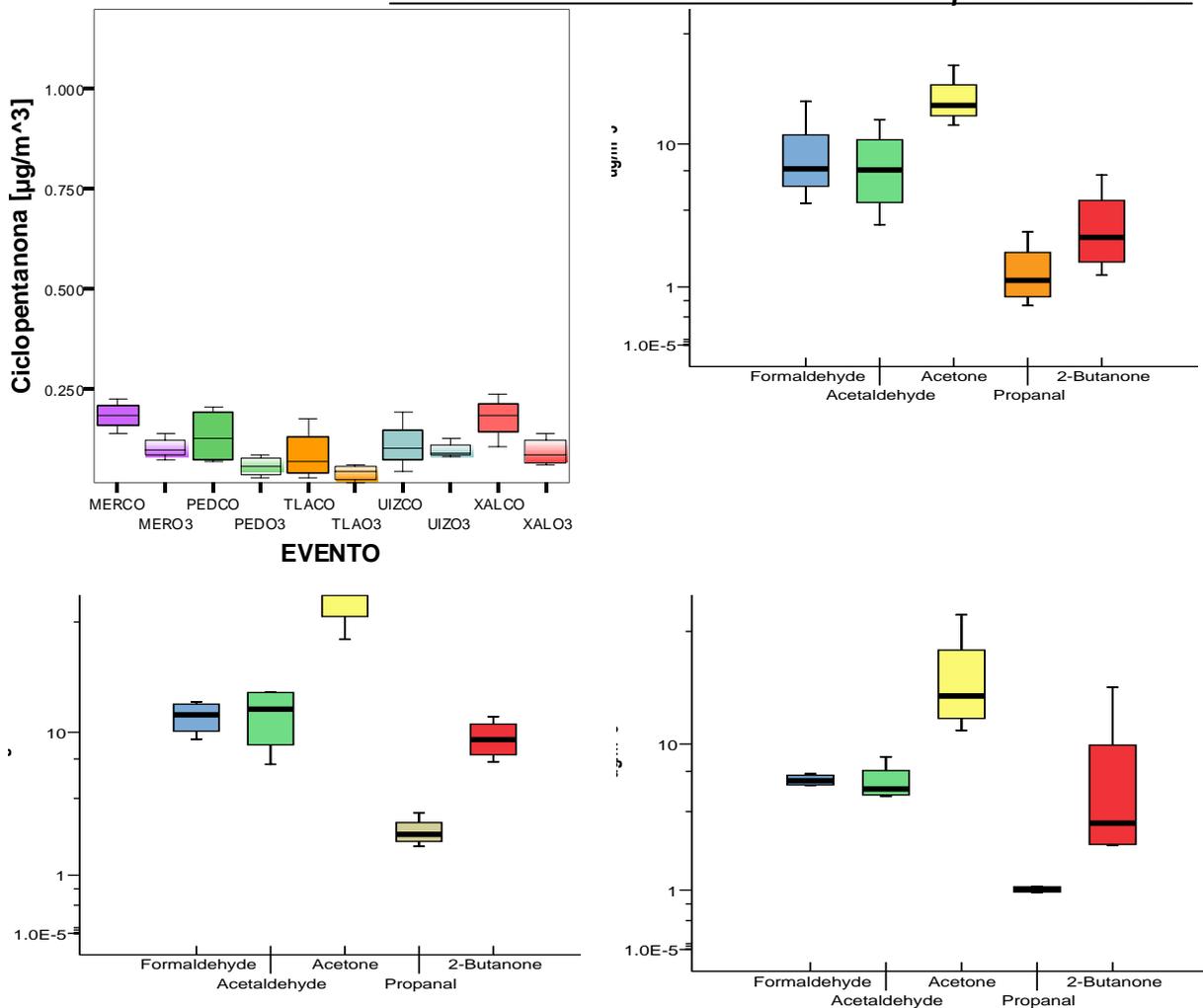


FIGURA 7.4. CARBONILOS DE MENOR CONCENTRACIÓN EN LA ZMCM
CICLOPENTANONA, CROTONALDEHIDO, BENZALDEHIDO, METILVINILCETONA

La figura 7.4 representa los carbonilos con la concentración más durante el muestreo en los cinco sitios de la ZMCM. (Intervalo de concentración: 0.015 – 1.269 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

De acuerdo a los coeficientes de reactividad de Carter (MIR), los carbonilos que tienen una reactividad significativa son: formaldehído, acetaldehído, 2 – butanona. Estos son los que están en mayor concentración en la Zona Metropolitana.

La acetona tiene un MIR estimado de 0.43, muy baja con respecto a las demás especies, por lo tanto se considera poco reactiva. Por lo que se sugiere pensar que su origen proviene de la elaboración de producto y del uso en limpieza y desengrasante (Inventario de emisiones y Balance de Solventes del GDF, 2004)

En la siguiente sección se interpretará la información obtenida en el muestreo, a través de correlaciones entre los carbonilos presentes en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Las correlaciones se realizaron con las concentraciones obtenidas en cada sitio de monitoreo y en cada evento, es decir, durante la máxima concentración de monóxido de carbono (CO) por la mañana; y por la tarde durante la máxima concentración de ozono (O₃).

7.1 CORRELACIÓN ENTRE LOS CARBONILOS ESTUDIADOS

CORRELACION EN LA ESTACIÓN PEDREGAL

PEDEDREGAL EVENTO 1².

Las correlaciones entre carbonilos por la mañana en la estación Pedregal, muestran que el Formaldehído tiene una muy buena correlación con 2- Butanona siendo de origen primario, debido a que se presentó con mayor abundancia por la mañana. Por su parte el Acetaldehído, se correlacionó muy bien con Acetona y Benzaldehído, o, m y p – tolualdehído. Todas estas especies son de origen primario, ya que provienen de emisiones de fuentes fijas, como son las industrias, en la elaboración de producto, y también de fuentes móviles.

La acetona, está asociada con Benzaldehido, 2-pentanal, acetofenona, m y p – tolualdehido, lo que sugiere pensar que proviene de la misma fuente de emisión.

CORRELACIÓN FORMALDEHÍDO

Propanal	0.885
Acroleína	0.889
Crotonaldehído	0.813
2- Butanona	0.947
Butanal/Isobutanal	0.985
C5 ALP ISM #1	0.994
Glyoxal	0.844

CORRELACIÓN ACETALDEHÍDO

Acetona	0.916
Benzaldehyde	0.910
2-Pentenal/ ISM	0.881
o-Tolualdehyde	0.911
Acetophenone	0.887
m-Tolualdehyde	0.924
p-Tolualdehyde	0.945

CORRELACIÓN ACETONA

Benzaldehyde	0.937
2-Pentenal/ ISM	0.996
Acetophenone	0.890
m-Tolualdehyde	0.975
p-Tolualdehyde	0.939

CORRELACIÓN PROPANAL

Butanal/Isobutanal	0.877
C5 ALP ISM #1	0.884

CORRELACIÓN ACROLEINA

Crotonaldehyde	0.989
Methacrolein	0.976
2-Butanone	0.989
C5 ALP ISM #1	0.838
2-Pentanone	0.983

CORRELACIÓN CROTONALDEHIDO

Methacrolein	0.989
2-Butanone	0.997
Cyclopentanone (TENT)	0.996
2-Pentanone	0.994
o-Tolualdehyde	0.844

CORRELACIÓN 2-BUTANONA (MEK)

Cyclopentanone (TENT)	0.930
Butanal/Isobutanal	0.881
C5 ALP ISM #1	0.908
2-Pentanone	0.949

² Evento 1. Muestreo durante la Máxima concentración de monóxido de carbono.

PEDREGAL EVENTO 2³.

CORRELACIÓN FORMALDEHÍDO

Acetaldehyde	0.972
1,4-Benzoquinone	-0.937
Propanal	-0.832
2-Butanone	0.919
Glyoxal	0.972
o-Tolualdehyde	0.917
m-Tolualdehyde	0.892

CORRELACIÓN ACETALDEHIDO

1,4-Benzoquinone (TENT)	-0.831
2-Butanone	0.938
C5 ALP ISM #1	0.853
Isopentanal	0.936
Glyoxal	0.962
o-Tolualdehyde	0.974

CORRELACIÓN 2-BUTANONA (MEK)

C5 ALP ISM #1	0.968
2-Pentanone	0.862
Glyoxal	0.984
o-Tolualdehyde	0.847
m-Tolualdehyde	0.866
p-Tolualdehyde	0.858

CORRELACIÓN ACROLEINA

Crotonaldehyde	0.997
Butanal/Isobutanal	-0.985

CORRELACIÓN ACETONA

Methacrolein	0.922
Acetophenone	0.933
Indanone	0.860

CORRELACIÓN PROPANAL

Acrolein	-0.924
Butanal/Isobutanal	0.966
2-Pentenal/ ISM	-0.968
Indanone	-0.879

CORRELACIÓN CROTONALDEHIDO

Butanal/Isobutanal	-0.990
2-Pentenal/ ISM	0.974
m-Tolualdehyde	0.914

Para el caso del segundo evento, se presenta los carbonilos con un factor de correlación ≥ 0.9 . El formaldehído tuvo una asociación con Propanal, 2-butanona y glioxal; el acetaldehído también presenta una relación con p -tolualdehido, acetona con acetofenona; 2 – butanona con un isómero alifático de 5 Carbonos y 2 – pentanona; todos estos carbonilos se asociaron también por la mañana, siendo estos, emitidos por fuentes fijas.

Las demás especies asociadas con los demás carbonilos por la tarde, pudieran deberse a emisiones de tipo vehiculares, y por el transporte del viento con dirección de Norte a Sur, provocando la posible reacción fotoquímica de algunas especies reactivas, presentes durante la tarde.

³ Evento 2. Muestreo durante la máxima concentración de ozono.

CORRELACIÓN UAM IZTAPALAPA

UAM IZTAPALAPA. Evento 1.

CORRELACIÓN FORMALDEHIDO

Acetaldehyde	0.943
Methacrolein	0.928
2-Butanone	0.933
Cyclopentanone (TENT)	0.928
Methyl Vinyl Ketone	0.941
Benzaldehyde	0.913
C5 ALP ISM #1	0.922
2-Pentanone	0.905
Pentanal	0.907
o-Tolualdehyde	0.938
m-Tolualdehyde	0.947
p-Tolualdehyde	0.995
Indanone	0.936

CORRELACIÓN ACETALDEHIDO

Propanal	0.944
Acrolein	0.938
Crotonaldehyde	0.894
Methacrolein	0.999
2-Butanone	0.999
Cyclopentanone (TENT)	0.999
Butanal/Isobutanal	0.956
2-Pentanone	0.993
Pentanal	0.995
o-Tolualdehyde	0.931
p-Tolualdehyde	0.969

CORRELACIÓN ACETONA

Acetophenone	-0.849
--------------	--------

CORRELACIÓN PROPANAL

Acrolein	0.998
Crotonaldehyde	0.991
Methacrolein	0.956
2-Butanone	0.955
Cyclopentanone (TENT)	0.956
Butanal/Isobutanal	0.999
Isopentanal	0.971
Pentanal	0.972

CORRELACIÓN 2-BUTANONE (MEK)

Butanal/Isobutanal	0.965
2-Pentanone	0.996
Isopentanal	0.954
Pentanal	0.998
o-Tolualdehyde	0.921
p-Tolualdehyde	0.961

Durante el muestreo por la mañana la correlación de los carbonilos en UAM Iztapalapa, presentan un factor de correlación > 0.9 para los carbonilos más representativo en la atmosfera; como lo son, formaldehído, acetaldehído, acetona, 2-butanona y propanal. Por otra parte los carbonilos, metacroleína, 2-butanona, ciclopentanona, 2-pentanona, pentanal, o, p-tolualdehído; se correlacionaron muy fuertemente con Formaldehído, acetaldehído, propanal y 2-butanona.

Para el caso de Acroleina, crotonaldehído, Butanal / isobutanal; presentaron una relación con Acetaldehído, propanal y 2-butanona. La acetona en este caso, presentó un factor de correlación cercano a 0.9 con acetofenona.

UAM IZTAPALAPA. Evento 2.

CORRELACIÓN FORMALDEHIDO

Acrolein	0.985
2-Butanone	0.993
Butanal/Isobutanal	-0.944

CORRELACIÓN ACETALDEHIDO

1,4-Benzoquinone (TENT)	0.959
Acetone	0.975
Acrolein	0.955
Crotonaldehyde	0.985
2-Butanone	0.936
Cyclopentanone	0.941

CORRELACIÓN PROPANAL

Indanone	0.877
----------	-------

CORRELACIÓN 2-BUTANONA (MEK)

Butanal/Isobutanal	-0.955
Glyoxal	0.851

CORRELACIÓN ACETONA

Crotonaldehyde	0.984
Cyclopentanone	0.949

Los carbonilos acroleína y 2 – butanona, que se relacionan muy bien con formaldehído y acetaldehído. Crotonaldehído y ciclopentanona con acetaldehído y acetona. Por su parte, el butanal / isobutanal con Formaldehído y con 2–butanona.

Todas estas especies presentan un factor de correlación < 0.9 . En este caso propanal no obtuvo una correlación de mayor a 0.9, únicamente se presenta la especie indanona con un factor de correlación cercano a 0.9.

Comparando los dos eventos se observa que la especie 2 – butanona en correlación con formaldehído esta presente con factor de correlación > 0.9 tanto para el muestreo por la mañana como en el muestreo por la tarde. El carbonilo acetaldehído tiene una correlación muy estrecha con acroleín, crotonaldehído, 2 – butanona y ciclopentanona, con factores de correlación muy cercanos a 1 en los dos eventos; similarmente sucede lo mismo con Butanal /isobutanal al correlacionarlo con 2 – butanona.

Lo anterior pudiera deberse a la emisión de carbonilos primarios, originada por fuentes fijas, y por emisiones de tipo móviles, ya que estos carbonilos estuvieron presentes en los dos eventos en concentraciones significativas. También cabe mencionar que por la tarde, las condiciones de meteorología fue adecuada para la formación de carbonilos por reacción fotoquímica, ya que hubo un poco de lluvia durante la tarde.

CORRELACIONES MERCED

MERCED Evento 1.

CORRELACIÓN FORMALDEHIDO

Isopentanal 0.932

CORRELACIÓN ACETALDEHIDO

C5 ALP ISM #1 0.953
m-Tolualdehyde -0.931
Indanone -0.930

CORRELACIÓN ACETONA

Methyl Vinyl Ketone 0.958
Benzaldehyde -0.934
Glyoxal -0.879
Acetophenone -0.962

CORRELACIÓN PROPANAL

Butanal/Isobutanal 0.954
2-Pentanone 0.901
Isopentanal 0.877

CORRELACIÓN 2-BUTANONA (MEK)

Cyclopentanone (TENT) 0.992

En la estación de Merced por la mañana, se observa que muy pocas especies presentaron un factor de correlación ≥ 0.9 . Entre ellos se encuentra que la acetona obtuvo una buena correlación con las cetonas como metil vinil cetona y acetofenona. El carbonilo ciclopentanona, fue la única especie que se asoció con 2 - butanona de tal modo que las dos especies provienen de la misma fuente de emisión, probablemente de fuentes móviles o fuentes fijas como lo son las industrias.

MERCED Evento 2.

CORRELACIÓN FORMALDEHYDE

Acetaldehyde 0.893
Acrolein 0.980
Crotonaldehyde 0.965
2-Butanone 0.955
Methyl Vinyl Ketone 0.897
2-Pentanone 0.980
Glyoxal 0.965
m-Tolualdehyde 0.994

CORRELACIÓN ACETALDEHYDE

Propanal 0.959
Acrolein 0.949
Crotonaldehyde 0.973
2-Butanone 0.977
Butanal/Isobutanal 0.942
C5 ALP ISM #1 -0.996
m-Tolualdehyde 0.932

CORRELACIÓN PROPANAL

Crotonaldehyde 0.877
2-Butanone 0.890
Butanal/Isobutanal 0.962
C5 ALP ISM #1 -0.965

CORRELACIÓN 2-BUTANONE (MEK)

Butanal/Isobutanal 0.921
C5 ALP ISM #1 -0.957
Cyclopentanone (TENT) 0.982

CORRELACIÓN ACETONE

Pentanal -0.941
Indanone -0.933

Por la tarde las especies acroleína, crotonaldehído y 2- butanona, presentan un factor > 0.9 para Formaldehído, acetaldehído y propanal. Los carbonilos con cinco carbonos (C5) Isómeros Alifáticos #1 y m-Tolualdehído, presentan un factor de

correlación ≥ 0.9 con Acetaldehído para ambos eventos, probablemente se trata de compuestos de tipo primario.

CORRELACIONES XALOSTOC

XALOSTOC Evento 1.

CORRELACIÓN FORMALDEHIDO

Acetaldehyde	0.988
Benzaldehyde	0.990
2-Pentanone	0.976
Isopentanal	0.881
Acetophenone	0.927
m-Tolualdehyde	0.927
Indanone	0.966

CORRELACIÓN PROPANAL

Butanal/Isobutanal	0.942
Methyl Vinyl Ketone	0.900
C5 ALP ISM #1	0.922
Isopentanal	0.959
m-Tolualdehyde	0.922
p-Tolualdehyde	0.936

CORRELACIÓN ACETALDEHIDO

2-Pentanone	0.967
Isopentanal	0.939
Acetophenone	0.883
m-Tolualdehyde	0.973
Indanone	0.988

CORRELACIÓN 2-BUTANONA (MEK)

Butanal/Isobutanal	-0.963
Methyl Vinyl Ketone	-0.970
Pentanal	-0.932
o-Tolualdehyde	-0.963
p-Tolualdehyde	-0.972

ACETONA

Glyoxal	-0.863
Acetophenone	-0.907

Como se observa, los carbonilos 2- pentanona, isopentanal, acetofenona, m-tolualdehído e indanona, coinciden en la correlación con Formaldehído, Acetaldehído y Propanal, con factores de correlación cercanos a 1.00.

XALOSTOC Evento 2.

CORRELACIÓN FORMALDEHIDO

Methacrolein	0.962
C5 ALP ISM #1	0.873
Indanone	0.888

CORRELACIÓN 2-BUTANONA (MEK)

Butanal/Isobutanal	-0.908
Benzaldehyde	0.963
C5 ALP ISM #1	0.995
Acetophenone	0.900
m-Tolualdehyde	0.938
p-Tolualdehyde	0.867

CORRELACIÓN ACETALDEHIDO

Acetone	0.997
Methyl Vinyl Ketone	-0.964

CORRELACIÓN ACETONA

Methyl Vinyl Ketone	-0.943
---------------------	--------

CORRELACIÓN PROPANAL

-	-
---	---

En Xalostoc, no existe una correlación tan marcada como en los casos anteriores, para ambos eventos. El único carbonilo que se relaciona en los dos eventos es butanal/isobutanal con 2-Butanona.

Por la mañana, se presenta un factor de corrección $>$ a 0.9 para Formaldehído Acetaldehído, Acetofenona, Isopentanal, 2 – pentanona. Para acetaldehído, existe

una correlación de 0.997 lo que sugiere pensar que provienen de la misma fuente de acetaldehído, comportándose éste como carbonilo primario y secundario.

El sitio de Xalostoc, es un área importante de comercio, industrias y transporte vehicular ligero y pesado, por lo que las emisiones por fuentes móviles y fijas son importantes en todo el día, y por lo que existe importante contribución en carbonilos primarios, como los son el formaldehido y acetaldehído, entre otros.

CORRELACIONES TLALNEPANTLA

TLALNEPANTLA Evento 1.

CORRELACIÓN FORMALDEHYDE

Acetaldehyde	0.964
Propanal	0.988
Acrolein	0.995
Crotonaldehyde	0.997
Methacrolein	0.975
2-Butanone	0.984
Cyclopentanone (TENT)	0.975
Butanal/Isobutanal	0.976
Methyl Vinyl Ketone	0.885
Benzaldehyde	0.883
2-Pentanone	0.970
Isopentanal	0.946
Glyoxal	0.999
m-Tolualdehyde	0.901
p-Tolualdehyde	0.926

CORRELACIÓN PROPANAL

Acrolein	0.995
Crotonaldehyde	0.995
Methacrolein	0.998
2-Butanone	0.999
Cyclopentanone (TENT)	0.998
Butanal/Isobutanal	0.998
Methyl Vinyl Ketone	0.892
2-Pentanone	0.949
Isopentanal	0.977
Glyoxal	0.992

CORRELACIÓN ACETALDEHYDE

Propanal	0.987
Acrolein	0.969
Crotonaldehyde	0.971
Methacrolein	0.992
2-Butanone	0.988
Cyclopentanone (TENT)	0.992
Butanal/Isobutanal	0.989
Methyl Vinyl Ketone	0.943
2-Pentanone	0.889
Isopentanal	0.949
Glyoxal	0.971

CORRELACIÓN ACETONE

- -

CORRELACIÓN 2-BUTANONE (MEK)

Cyclopentanone (TENT)	0.999
Butanal/Isobutanal	0.999
Methyl Vinyl Ketone	0.890
2-Pentanone	0.945
Isopentanal	0.979
Glyoxal	0.990

La mayoría de las especies correlacionadas con los principales carbonilos presentaron factores de correlación ≥ 0.9 para formaldehído, acetaldehído, propanal y 2 – butanona; estas tres especies coinciden en los carbonilos correlacionados para cada uno de estas especies. La zona de Tlalnepantla es una zona principal de gran ubicación de fuentes fijas, y de gran afluencia vehicular de transporte ligero y pesado; por lo que las emisiones de tipo primario son las más relevantes.

TLALNEPANTLA. Evento 2.

CORRELACIÓN FORMALDEHIDO

Acrolein	0.973
Crotonaldehyde	0.953
2-Butanone (MEK)	0.904
Benzaldehyde	0.950
o-Tolualdehyde	0.973
m-Tolualdehyde	0.967
p-Tolualdehyde	0.913

CORRELACIÓN ACETALDEHIDO

Acetone	0.950
Methacrolein	0.931
Cyclopentanone (TENT)	0.955
Butanal/Isobutanal	0.984
Glyoxal	0.931

CORRELACIÓN PROPANAL

Methacrolein	0.924
Butanal/Isobutanal	0.897
Isopentanal	0.938
2-Butanone (MEK)	
Methyl Vinyl Ketone	0.862

CORRELACIÓN ACETONA

Cyclopentanone	0.910
Butanal/Isobutanal	0.894

Por la tarde, el formaldehído esta muy bien correlacionado con los siguientes carbonilos, Acroleína, Crotonaldehído, 2 – Butanona; este último también correlacionado muy bien con el carbonilo Propanal. Por su parte, acetaldehído mostró factores de correlación ≥ 0.9 con butanal / isobutanal, Glioxal y Metacroleína. Acetona únicamente presentó un factor de correlación superior a 0.9 con ciclopentanona, presentándose únicamente por la tarde, tratándose de un carbonilo de tipo secundario, y esta asociado con la acetona.

Las especies acroleína, crotonaldehído, metacroleína, 2 – butanona, ciclopentanona, Butanal/Isobutanal, metil vinil cetona, benzaldehído, correlacionados con formaldehído por la mañana, también están presentes con un factor de correlación > 0.9 por la tarde, tratándose de emisiones de la misma fuente, lo que posiblemente se deba a la importante afluencia vehicular de esa zona.

7.2 CORRELACIONES PARA LAS CINCO ESTACIONES DE MONITOREO. 1er. EVENTO (MUESTREO POR LA MAÑANA)

CORRELACIÓN FORMALDEHIDO

Acetaldehyde	0.783
Acrolein	0.711
Methacrolein	0.756
Benzaldehyde	0.729
2-Pentanone	0.792

CORRELACIÓN ACETALDEHIDO

Propanal	0.802
Methacrolein	0.759
2-Pentanone	0.824

CORRELACIÓN PROPANAL

Acrolein	0.760
Methacrolein	0.818
Butanal/Isobutanal	0.938
2-Pentanone	0.807

CORRELACIÓN 2-BUTANONA (MEK)

Cyclopentanone (TENT)	0.831
-----------------------	-------

CORRELACIÓN ACETONA

-

Las correlaciones realizadas para todas las estaciones de monitoreo por la mañana tomando en cuenta a los carbonilos más abundantes en la ZMCM.

Para los demás carbonilos, existe una asociación significativa por emisiones de tipo primaria, los cuales presentan un factor de correlación > 0.71 .

2do. EVENTO (MUESTREO POR LA TARDE)

CORRELACIÓN FORMALDEHIDO

Benzaldehyde	0.860
2-Pentanone	0.803
Glyoxal	0.897
Acetophenone	0.823
Indanone	0.743

CORRELACIÓN ACETALDEHIDO

-

CORRELACIÓN PROPANAL

Butanal/Isobutanal	0.930
--------------------	-------

CORRELACIÓN 2-BUTANONA (MEK)

Cyclopentanone (TENT)	0.791
-----------------------	-------

CORRELACIÓN ACETONE

-

Para las correlaciones realizadas para el evento 2 (tarde) en todas las estaciones, se observa que el Butanal/isobutanal también es el que presenta la mejor correlación, con propanal. El formaldehído tuvo un factor de correlación muy cercano a 0.9 únicamente con el glyoxal.

7.3 CORRELACIONES TOTALES

(EVENTO 1 Y 2)

PARA LAS ESTACIONES PEDREGAL, UAM IZTAPALAPA, MERCED, XALOSTOC, TLALNEPANTLA.

CORRELACIÓN FORMALDEHIDO

Acetaldehyde	0.827
Cyclopentanone (TENT)	0.773
Methyl Vinyl Ketone	0.804
Benzaldehyde	0.882
2-Pentanone	0.882
Acetophenone	0.801
m-Tolualdehyde	0.811
Methyl Glyoxal	0.915
2,5-Dimethylbenzaldehyde	0.845
DMBZ ISM #2	0.801
DMBZ ISM #3	0.801
Trimethylbenzaldehyde ISM#1	0.873
2,4,6-Trimethylbenzaldehyde/ISM	0.862

CORRELACIÓN PROPANAL

Butanal/Isobutanal	0.975
Acrolein	0.786
Crotonaldehyde	0.740
C6 ALP ISM #5	0.798
Hexanal	0.916
C7 ALP ISM #2	0.876

CORRELACIÓN 2-BUTANONA (MEK)

Cyclopentanone (TENT)	0.876
-----------------------	-------

CORRELACIÓN ACETONA

- -

CORRELACIÓN ACETALDEHIDO

Benzaldehyde	0.721
2-Pentanone	0.796

Al realizar la correlación con todos los carbonilos encontrados durante todo el muestreo, se observa que en la mayoría de los carbonilos existe un factor de correlación ≥ 0.80 , excepto el Butanal/isobutanal presentó una correlación superior a 0.9, siendo el mismo caso en la mayoría de las correlaciones, lo que sugiere pensar que es un carbonilo que está presente por fuentes fijas y se trata de un carbonilo de tipo primario, ya que siempre permaneció presente por la mañana y por la tarde.

7.4 RELACIÓN PM/AM DE CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE CARBONILOS PRESENTES EN LA ZMCM.

La relación PM/AM para formaldehído, acetaldehído, propanal y 2 – butanona es de 0.681, 0.668, 0.402 y 0.834 respectivamente; lo que indica que estas especies se encontraban en mayor concentración por la mañana, probablemente siendo especies emitidas por fuentes vehiculares.

Para la acetona la relación promedio de concentración PM/AM es de 1.008, lo que indicaría que la concentración promedio de esta especie se mantuvo casi constante tanto en la mañana como en la tarde, por lo cual, indicaría que la acetona proviene de la misma fuente tanto en la mañana como en la tarde, probablemente de fuentes fijas, como lo son las industrias químicas, textiles, alimenticias, etc.

Las especies glioxal, 2 – oxobutanal, 2-3 hexanodiona/ISM, C8 ALP ISM #7, #8 y #9, entre otras presentan una concentración promedio ligeramente mayor por la tarde; con relaciones promedio de 1.170, 1.122, 1.892, 1.883, 1.980 respectivamente, probablemente formándose por reacciones fotoquímicas en la atmósfera.

Las especies 2 – heptanona, 2 – oxohexanal y 2 – Oxoheptanal/ISM tienen una relación promedio de 2.040, 9.064 y 2.040 respectivamente, lo que representa que se tiene una concentración promedio mayor por la mañana, lo que indicaría que provienen de fuentes móviles, como lo son las fuentes vehiculares.

La relación promedio PM/AM de los 74 carbonilos se encuentra en el anexo B.

7.5 PERFIL DE CARBONILOS PRESENTES EN LA ATMÓSFERA DE LA ZMCM

El perfil de carbonilos durante el día es una representación de las especies primarias y secundarias, presentes en la zona urbana.

La figura 7.3 representa el comportamiento de carbonilos en cada día de muestreo. Por ejemplo, para formaldehído, se observa que existe mayor abundancia por la mañana que por la tarde; y algunos días se encuentra en la misma proporción en los dos eventos. ⁴

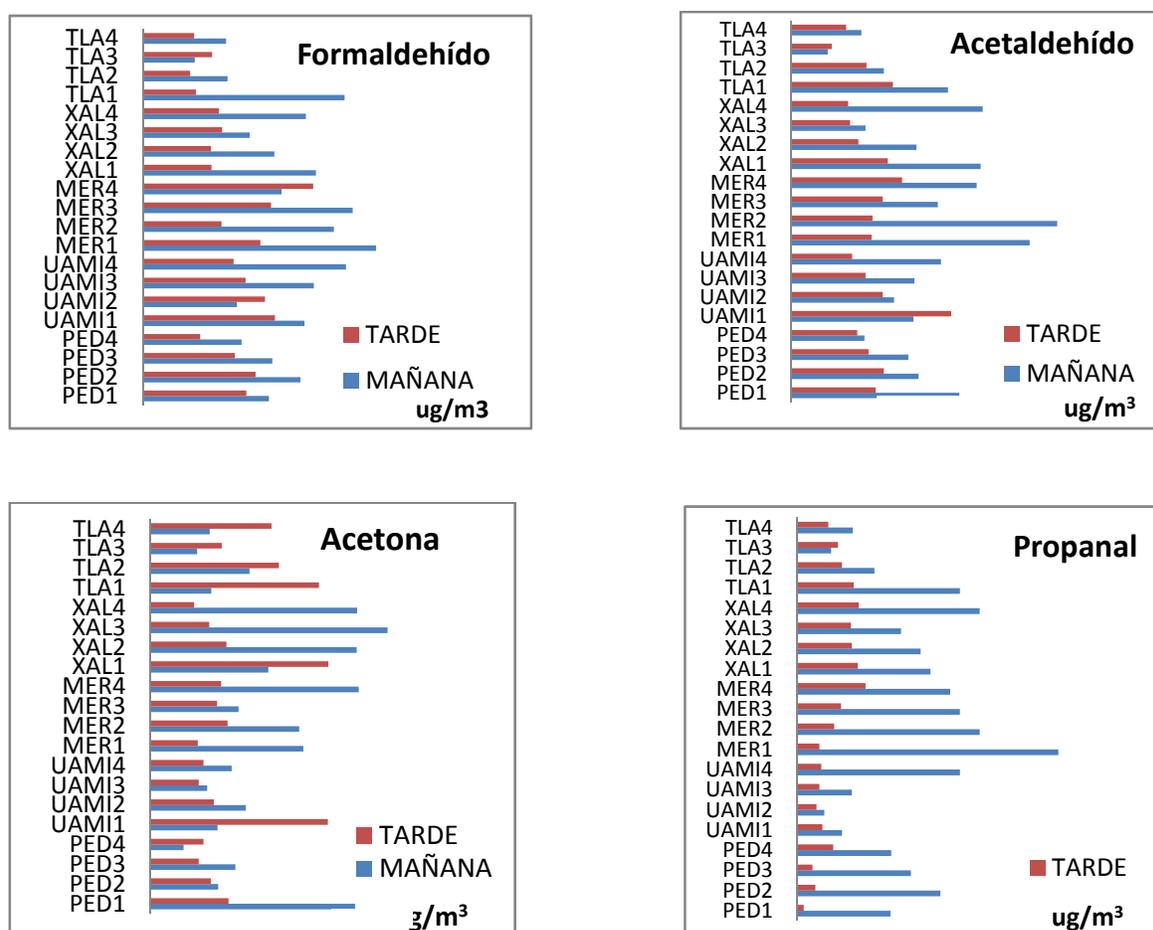


FIGURA 7.5. PERFIL DE FORMALDEHIDO, ACETALDEHIDO, ACETONA Y PROPANAL; PRESENTES EN LAS CINCO ZONAS DE MUESTREO.

⁴ PED, UIZ, MER, XAL, TLA: SITIOS MUESTREO. 1, 2, 3, 4: DÍAS DE MUESTREO.

Como se observa en la figura 7.3 donde el Formaldehído, Acetaldehído y Propanal, son contaminantes que están presentes con mayor concentración durante la mañana, es decir, su origen probablemente puede deberse a las emisiones vehiculares. Para el caso de la acetona, existe una mayor concentración por la mañana en la zona de Merced y Xalostoc, debido a que son zonas comerciales e industriales.

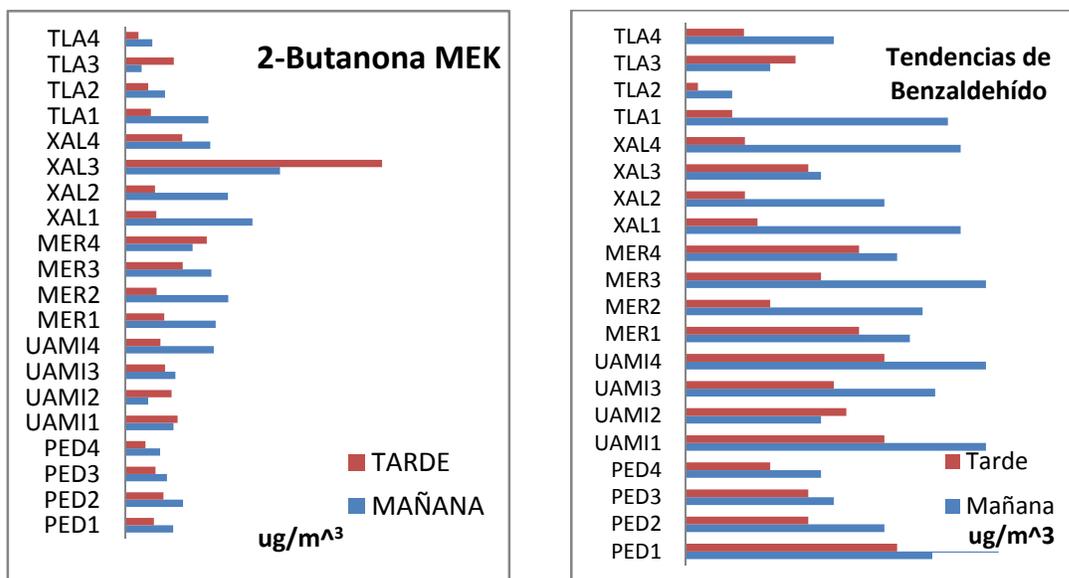


FIGURA 7.6 PERFIL DE 2 – BUTANONA Y BENZALDEHÍDO PRESENTES EN LAS CINCO ZONAS DE MUESTREO.

En el caso de 2-butanona, proveniente de emisiones móviles, también se genera una mayor concentración por la mañana, casi en todas las zonas muestreadas. Con algunas excepciones en Xalostoc y Tlalhepantla al tercer día de muestreo. El carbonilo benzaldehído, sigue la misma tendencia de los carbonilos anteriores, haciéndose presente con mayor concentración por la mañana que por la tarde, ya que es proveniente de emisiones fijas y móviles, siendo en este caso un carbonilo de tipo primario.

Para la mayoría de carbonilos encontrados en la zona metropolitana, existe una combinación tanto de carbonilos primarios como secundarios, puesto que también por la tarde existe una concentración alta de estos.

También se observa, que las zonas más contaminadas son Xalostoc, y Merced, ya que son zonas de actividad importante de comercio, así como industriales en el caso de Xalostoc. En algunos casos, Pedregal, sugiriendo el caso del arrastre de contaminantes por la dirección más predominantes del viento (Norte – Sur).

Los carbonilos restantes están incluidos en el anexo C.

7.6 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Para un mejor manejo de datos, se utilizó el Método de Análisis de Componentes Principales (ACP) con el objetivo de determinar la asociación entre variables analizadas. Para este análisis se utilizó el programa SPSS 13.0 (2004), para la reducción de variables para componentes principales, indicando la varianza de las especies en estudio.

	Componentes					
	1	2	3	4	5	6
CO	.656	-.218	-.146	.560	-.357	.081
Formaldehido	.801	-.470	.243	-.059	.161	-.128
Acetaldehido	.812	-.080	.354	-.094	.114	.184
1,4-Benzoquinona (TENT)	.269	.662	.352	.361	.428	.176
Acetona	.556	.540	-.282	-.332	-.279	.288
Propanal	.880	.019	.333	.083	-.163	-.236
Acrolein	.940	-.004	-.252	.087	.153	-.090
Crotonaldehido	.772	-.016	-.446	.354	.131	.068
Metacrolein	.949	.035	-.160	-.075	.052	-.075
2-Butanona (MEK)	.743	.250	-.229	-.379	.163	-.310
Ciclopentanona (TENT)	.916	.110	-.198	.030	.032	-.032
Butanal/Isobutanal	.852	.173	.339	.054	-.255	-.133
Metil Vinil Cetona	.766	.027	.280	-.221	-.212	.208
Benzaldehido	.656	-.584	-.058	-.208	.199	.332
% of Varianza	60.013	10.367	7.826	6.795	4.820	3.662
Acumulativo %	60.013	70.380	78.206	85.001	89.821	93.483

Extraction Method: Principal Component Analysis.

6 componentes extraídos.

Varianza acumulativa %: 93.483; Nivel de significancia ≥ 0.5

TABLA 7.1. ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA 14 ESPECIES PRESENTES POR LA MAÑANA, INCLUYENDO AL MONÓXIDO DE CARBONO (CO).

Determinación de Carbonilos en la Atmósfera de la Z.M.C.M

	Componentes					
	1	2	3	4	5	6
Ozono	-.025	.473	.405	-.508	.537	-.145
Formaldehido	.656	-.584	.181	.074	.277	.037
Acetaldehido	.355	-.202	.883	.017	.058	-.063
1,4-Benzoquinone (TENT)	.055	-.066	.802	.193	-.512	.066
Acetona	-.129	.454	.813	-.203	-.092	.114
Propanal	.268	.827	.005	.394	.126	.190
Acrolein	.824	.394	-.144	-.321	-.095	.040
Crotonaldehido	.821	.440	-.105	-.296	-.089	.038
Metacrolein	.888	.004	-.024	-.032	-.046	-.125
2-Butanona (MEK)	.739	.275	-.336	-.156	-.401	-.097
Ciclopentanona (TENT)	.697	-.099	.148	.468	.112	-.464
Butanal/Isobutanal	.106	.887	.023	.362	.095	.105
Metil Vinil Cetona	.740	-.282	-.035	.252	.277	.362
Benzaldehido	.525	-.764	.062	-.210	-.020	.223
% of Varianza	33.258	24.173	17.532	8.361	6.670	3.680
Acumulativo %	33.258	57.431	74.962	83.324	89.994	93.674

Extraction Method: Principal Component Analysis.

6 componentes extraídos. Nivel de significancia: ≥ 0.5

Varianza acumulativa %: 93.674; Nivel de significancia ≥ 0.5

TABLA 7.2. ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA 14 ESPECIES PRESENTES POR LA TARDE, INCLUYENDO AL OZONO.

En la Tabla 7.1 se observa que existe una importante asociación entre monóxido de carbono, formaldehido, acetaldehído, acetona, propanal, acroleína, crotonaldehído, metacroleína, ciclopentanona, Butanal/isobutanal, metil vinilcetona y benzaldehído. Lo que indicaría que existe una relación muy fuerte entre estas especies y las emisiones por fuentes móviles; tratándose entonces de especies de tipo primario. Si se representan estos datos en un solo eje tendremos entonces un 60% de la variabilidad de las especies aquí involucradas. Para un segundo componente, tenemos que existe una asociación poco significativa con signos opuestos entre acetona y benzaldehído, lo que sugiere cuando aumenta la concentración de una disminuye la otra. El análisis para seis componentes representa un 93.48% de la variabilidad de las especies evaluadas.

La tabla 7.2 muestra para el componente número 1 el 33.25% de varianza, se encuentran asociados las especies formaldehido, acroleína, crotonaldehído, metacroleína, 2-butanona, ciclopentanona, metilvinilcetona y benzaldehído; todas

independientes del ozono. Lo que indicaría que sus emisiones no son dependientes de la contribución fotoquímica en la atmósfera, tal como lo es el ozono. Para un segundo componente, existen dos agrupaciones con valores significativos: en un grupo se encuentra con valores positivos, mientras que en el segundo grupo se encuentra con valores negativos, lo que indica que mientras aumenta la concentración de propanal y butanal/isobutanal decrece la concentración de formaldehído y benzaldehído o viceversa. El análisis de seis componentes principales representan el 93.67% de la varianza entre las especies analizadas, incluyendo el ozono.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8

8.1 CONCLUSIONES

El presente estudio, se llevó a cabo con la Colaboración del Dr. Daniel Grosjean, Dir. De DGA Inc. Ventura California, USA., sin la cual no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

Este estudio permitió tener una aproximación de la concentración y especiación de los carbonilos presentes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, por medio de la implementación de la técnica de muestreo y análisis para determinar aldehídos y cetonas en dicha zona, utilizando una técnica de análisis capaz de determinar hasta 100 carbonilos diferentes, por medio de cromatografía líquida HPLC - detección simultánea por espectroscopia uv-visible (arreglo de diodos) - espectrometría de masas por ionización química en atmósferas a presiones negativas (APNCI-MS).

Determinando así un total de 74 carbonilos diferentes a temperatura ambiente (19 – 25°C aprox.) y Presión atmosférica de 585 mmHg en la atmósfera urbana de la Ciudad de México, con muestreos en 5 sitios de la zona metropolitana; los cuales fueron Pedregal, UAM Iztapalapa, Merced, Xalostoc y Tlalnepantla; comprendiendo así los puntos clave de la ZMCM, contando con el apoyo y colaboración de La Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del Distrito Federal, contando con la colaboración del Sr. Victor Hugo Páramo Figueroa, Coordinador del Programa de Calidad del Aire y, del Sr. Armando Retama, Coordinador de la Red de Monitoreo.

De los carbonilos determinados, los aldehídos alifáticos saturados representan el 37.186 %, cetonas alifáticas saturadas 49.867%, carbonilos alifáticos saturados

1.722%, carbonilos alifáticos no saturados 1.471%, carbonilos aromáticos 2.659%, dicarbonilos alifáticos 7.09%; lo anterior en promedio de concentración de carbonilos.

Las especies carbonilos con mayor concentración en la atmósfera urbana fueron principalmente acetona, formaldehído, acetaldehído, propanal y 2 – butanona (MEK), comportándose estas como especies tanto primarias como secundarias, no aportando mayor diferencia entre un día de muestreo y el siguiente.

Las principales fuentes de carbonilos en la atmósfera de la ZMCM se deben principalmente a las emisiones de tipo vehicular debido al combustible utilizado. Actualmente se conoce que el formaldehído, acetaldehído acroleína, metil etil cetona (2-butanona), son sustancias que se consideran como tóxicas, mutagénicas y/o carcinogénicas (U.S. Clean Air Act Amendments).

En la atmósfera urbana de cinco sitios analizados de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México el principal carbonilo es la acetona con una concentración promedio de $27.473 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, siguiendo el formaldehído con $10.122 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ y acetaldehído con $9.583 \mu\text{g}/\text{cm}^3$. Encontrando máximos de $65.0 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ de acetona en un día de muestreo en Xalostoc.

La acetona es una especie que se considerada poco reactiva y de acuerdo a la información obtenida en este estudio, se asume que es emitida directamente por fuentes fijas, principalmente por industrias químicas, de solventes, etc., y en concentraciones menores por fuentes antropogénicas, naturales y por reacción fotoquímica.

La zona con mayor concentración de acetona fue la zona Noroeste en Xalostoc, siendo ésta zona industrial, además de que la estación de monitoreo se encuentra ubicada dentro del taller de pintura automotriz de la Volks Wagen, por lo tanto existe una mayor concentración de solventes en el aire. La zona centro en

Merced, contribuye también con concentraciones altas de acetona, formaldehído y acetaldehído, por la gran actividad comercial que se desarrolla en esta zona y como consecuencia, tráfico vehicular excesivo.

La zona Sureste en Iztapalapa y, Suroeste en Pedregal también presentan concentraciones importantes de formaldehído y acetaldehído.

La mayoría de carbonilos se comportan como carbonilos primarios ya que existe una fuerte relación entre monóxido de carbono con formaldehído, acetaldehído, acetona, propanal, acroleína, crotonaldehído, metacroleína, ciclopentanona, Butanal/isobutanal, metil vinilcetona y benzaldehído, por la mañana; y por la tarde no se presenta tal asociación entre estos y el ozono.

El perfil de emisiones de carbonilos encontrados en los cinco sitios de la ZMCM, a partir de fuentes móviles no cambia mucho de un día a otro. Así que las correlaciones entre los carbonilos estudiados pueden simplemente reflejar la dominancia de las emisiones por fuentes móviles, es decir, carbonilos de tipo primario.

Una vez emitidos a la atmósfera los carbonilos, por reacciones fotoquímicas conducen a radicales libres, otros carbonilos, nitrato de peroxiacil y ozono, de acuerdo a su concentración es posible calcular su coeficiente máximo de incremento de reactividad, para poder determinar la importancia de los carbonilos con respecto a la formación de ozono.

Es importante mencionar que los factores importantes para la evaluar la calidad del aire en la zona metropolitana es la cantidad de vehículos que circulan diariamente en la zona urbana, las condiciones en las que se encuentran los motores vehiculares, el tipo de combustible utilizado, así como las condiciones meteorológicas de la zona y condiciones urbanas; a lo que se deben las concentraciones elevadas de carbonilos tóxicos en el ambiente.

Cabe mencionar que los principales productos de emisión por el tipo de combustible utilizado en la ZMCM, son formaldehído principalmente y acetaldehído en menor proporción. Tomando como punto de partida el etanol como combustible empleado en Rio de Janeiro, Brasil; su combustión conduce a acetaldehído como principal producto, la mezcla de etanol – gasolina conduce a acetaldehído como producto principal más que con gasolina únicamente. (Grosjean, Environ: Sci. Technol. 2002, 36, 1389 -1395).

El etanol es liberado en la atmósfera por emisiones evaporativas de fuentes vehiculares que reaccionan con el radical OH, para formar acetaldehído como principal producto.

De tal manera, que el cambio en el combustible de gasolina por etanol, tendría el mismo efecto en cuanto a contaminación por carbonilos, siendo estas dos especies (formaldehído y acetaldehído) consideradas como sustancias tóxicas o peligrosas, de acuerdo a U.S. Clean Air Act. Amedaments.

8.2 RECOMENDACIONES

Para poder contar con un inventario de concentraciones de carbonilos en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es importante realizar estudios y muestreos con mayor profundidad en toda la zona metropolitana. Comprendiendo los siguientes puntos:

- ✓ Monitoreos simultáneos y continuos en por lo menos 3 puntos de cada zona de la ciudad. (Norte, Sur, Centro, Este y Oeste).
- ✓ Realizar estudios en fuente (vías importantes de flujo vehicular, túneles, etc.) para poder determinar con mayor precisión el origen y contribución de cada una de las especies de carbonilos.
- ✓ Análisis de gasolina para determinar los carbonilos que son emitidos debido a la oxidación parcial de los compuestos presentes en la gasolina.

Un análisis más detallado de la información obtenida con respecto a las fuentes de carbonilos en la ZMCM, es necesario realizar pruebas con dinamómetros en fuentes específicas de emisiones vehiculares.

Lo anterior es necesario para la toma de decisiones en la mejora de combustible empleado en los automotores en la Zona Metropolitana, la implementación de normas de salud para la exposición a los carbonilos tóxicos y peligrosos.

Es necesario darle el peso adecuado a la contaminación atmosférica por ozono y sus precursores, además de considerar seriamente sus efectos en la salud de la población infantil.

Bibliografía

1. Atkinson, R. J. *Phys, Chem. Ref. Data* 26, 215, 1997
2. Atkinson, R. "Gas-phase Tropospheric Chemistry of Organic Compounds: a review," *Atmos. Environ.*, 24A, 1 (1990).
3. Atmospheric Environment in press Statewide Air Pollution Research Center, and College of Engineering Center for Environmental Research and Technology University of California Riverside, CA 92521
4. Bravo Álvarez, Humberto. "Perspectiva Científica del Problema de la Contaminación Atmosférica Fotoquímica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", Revisión Histórica, Seminario Aire y Política: Acuerdos y Desacuerdos en Torno a la Contaminación Atmosférica de la Ciudad de México, El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano, 1996
5. Bravo H. A.; Sosa R. E. y Torres J. R. "Contaminación Atmosférica por ozono: propuesta de estrategias de control para el invierno 1987 – 1988 en la ZMCM" Reporte técnico elaborado para la comisión Nacional de Ecología. SEDUE. MEXICO. (1987)
6. Brice, K.A., Derwent, R.G. *Atmospheric Environment* 12, 2045-2054, 1978.
7. Calvert J.G. J.N., Jr *Photochemistry*, John Wiley, 1966
8. Carter W. L. *Atmos. Environ.* 29, 2513, 1995
9. Carter W. L.; Winer, A. M.; Pitts, J. N.; Jr. *Environmental. Sci. Technol.* 1981, 15, 831
10. Carter, W. L, *Atmos. Environ.* 1990, 24A, 481
11. Carter, W. L.; Additions and Corrections to the SAPRC – 99. Maximum Incremental Reactivity (MIR) Scale. Report to the California Air Resource Board, Sacramento, CA. CE – CERT , University Of California, Riverside, CA, Nov 29, 2000.
12. Carter, W.P.L. *Atmos. Environ.* 29, 2513, 1995
13. Carter, W.P.L., Atkinson, R., *Environ, Sci. Technol.* 21,610- 679, 1987.
14. Carter, W.P.L.; Winer, A.M.; Pitts, J.N. Jr. *Environ. Sci. Technol.* 15, 831. 1981.

15. Carter, William P. L., John A. Pierce, Dongmin Luo, and Irina L. Malkina, "Environmental Chamber Study of Maximum Incremental Reactivities of Volatile Organic Compounds". *Atmospheric Environment*, 29, 2499-2511, 1995.
16. Carter W. P. L. and R. Atkinson, "An experimental study of incremental hydrocarbon reactivity," *Environ. Sci. Technol.*, 21, 670, 1987.
17. Chang, T.Y., *Atmospheric Environment* 23, 1629-1644, 1989.
18. Chock, O. P., Heuss, J.M., *Environ. Sci. Technol.*, 21, 1146- 1153, 1987.
19. Determination of formaldehyde in ambient air using adsorbent cartridge followed by high performance liquid chromatography. Compendium Method TO11. Environmental Protection Agency. United States. May, 1988.
20. *Environ. Sci. Technol.*, 17, 308, 1983.
21. Environmental Protection Agency, EPA 600/8-84102ObF, U.S., 1986.
22. Environmental Protection Agency, EPA 600/18-841020cF, U.S., 1986.
23. Environmental Protection Agency. EPA/600/88/105 F, US, 1992.
24. EPA-600/3-91/050, August 1991.
25. Fisher, M., "La capa de ozono", McGraw-Hill, España, 1993.
26. Garfias F. J., Díaz G. L., *Gasolinas Oxigenadas. La experiencia mexicana.* Fondo de Cultura Economica. 2003.
27. Grosjean, D., *J. Braz. Chem. Soc.* 8, 433, 1997
28. Grosjean, D., Williams, E.L., *J. Air Waste Manag. MS.* 42, 805-809, 1992
29. Grosjean, D.; Grosjean, E. *Environ. Sci. Technol.* 30, 1038, 1996
30. Grosjean, E.; Green, P. G.; Grosjean, D. *Anal Chem.* 71, 1855, 1999
31. Grosjean, E.; Grosjean, D. *Int. Environ. Anal. Chem.* 61, 343, 1995
32. Grosjean, E.; Grosjean, D.; Seinfeld, J. H. *Environ. Sci. Technol.* 30, 1038. 1996
33. Grosjean, E.; Rodríguez, M. T. R.; Moreira, L. F. R.; Grosjean, D. Ambient Formaldehyde and Acetaldehyde in Porto Alegre, Brasil, before and after replacing MTBE by ethanol in oxygenated gasoline. *Atmos. Environmental*, 2001.

34. Grosjean, O., *Atmospheric Environment* 26A, 953-963, 1992.
35. Grosjean, D.; Grosjean, Moreira, Lino; *Speciated Ambient Carbonyls in Rio de Janeiro, Brazil. Environ. Sci. Technol.* 36, 1389 – 1395, 2002
36. Grosjean, D.; Grosjean, E.; Harley, Robert; *On – Road Measurement of Carbonyls in California Light – Duty Vehicle Emissions. Environ. Sci. Technol.* 35, 45 – 53, 2001
37. Grosjean, D.; Grosjean, E.; Gertler, A.; *On – Road Emissions of Carbonyls from Light – Duty Vehicles. Environ. Sci. Technol.* 35, 4198 – 4204, 2001
38. Haagen-Smit, A.J., *Ind. Eng. Chem.* 44, 1342-1346, 1952.
39. Hair Anderson, Tatham; *Análisis Multivariante. 5a Edición. Pearson Prentice Hall*, 1999.
40. Henderson, G. S.; MacConnell, J. C. J. *Atmos. Chem.* 8, 277, 1989.
41. Hoekman, S.K. *Environ. Sci. Technol.* 26, 1206-1216, 1992.
42. Humberto Bravo A. “El Ozono Y Otros Contaminantes Fotoquímicos En La Ciudad De México”, *Ecológica - Los Retos Ambientales de la Ciudad de México*, 1997.
43. *Il Conteo de Población y Vivienda. 2005. INEGI, CONAPO. Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010.*
44. *International Agency for Research on Cancer: Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Human. Vol. 62, Wood Dust and Formaldehyde, IRAC: Lyon, France, 1995.*
45. *Inventario de Contaminantes Tóxicos del air en la Zona Metropolitana del Valle de México. Gobierno del Distrito Federal. 2004*
46. J. J. Bufalini and M. C. Dodge, "Ozone-forming potential of light saturated hydrocarbons," 1983.
47. Japar. S.M., et al., *Environ. Sci. Technol.* 25, 415-420, 1991.
48. Knapp, K. T.; Stump, F.D.; Tejada, S. B. , *J. Air Waste Manag. Assoc.* 1998, 48, 646. May 1995.
49. Miguel, A. H.; de Andrade, J. B.; *J. Braz. Chem. Soc.* 1, 124, 1990,

50. Molina, J. M., Molina T. L.; Air Quality in the Mexico Megacity. Kluwer Academic Publishers. 2002.
51. Naman, T. M; All sup, J. R. SAE Paper 800858; Society of Automotive Engineers: Warrendale, PA, 1980.
52. National Research Council, Board on Toxicology and Environmental Health Hazards. Formaldehyde and Other Aldehydes; National Academy Press: Washington DC. 1981.
53. National Research Council. Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution; National Academy Press Washington, DC. 1991.
54. Programa Para Mejorar La Calidad Del Aire De La Zona Metropolitana Del Valle De México 2002 – 2010.
55. Rethinking, The Ozone Problem in urban and regional air pollution. National Research Council. Washington, D.C., 1991.
56. Silman, S.; The Relation between Ozone, NOx, and Hydrocarbons in urban and Polluted Rural Environments. Atmospheric Environment 33 1821 -1845, 1999.
57. Schauer, J.J.; et al; Environ. Sci. Technol. 33, 1578, 1999
58. Shepson, P. B.; Kleindensenst, T. E.; Edney. E. O.; Nero, C. M., Cupitt, L.T.; Claxton, L.D. Environ. Sci. Technol. 20, 1008, 1986.
59. Skog, E. Acta Pharmacol. Toxicol. 6, 299, 1950
60. T. Y. Chang and S. J. Rudy, "Ozone-forming potential of organic emissions from alternative fueled vehicles," Atmos. Environ., 24A, 2421, 1990.
61. U.S. 1990 Clean Air Act Amendments, Section 112, Hazardous Air Pollutants.
62. Warrendale, PA. Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program. Final report; Society of Automotive Engineers, 1997.
63. Weschler, C, J.; Hodgson, A. T.; Wooley, J. D. Environ. Sci. Technol. 26, 2371. 1992
64. World Health Organization. Environmental Health Criteria 167: Acetaldehyde; International Program on Chemical Safety, WHO: Geneva, Switzerland, 1995.
65. Wohlfrom, K. h.; Hauler, T.; Arnold, F.; Singh, H. Geophys. Res. Lett. 26, 2849, 1999,

REFERENCIAS ELECTRONICAS

www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/025ssa193.html, 12 Octubre 2006

www.inegi.gob.mx, marzo, 2006

www.epa.gov/air, abril, 2006.

www.semarnat.gob.mx, junio, 2006.

www.ine.gob.mx/dgicurg/calaire/cal-ambiental

www.ine.gob.mx/dgicurg/calaire/inem, noviembre, 2007

www.profepa.gob.mx/profepa, agosto, 2007

www.sma.df.gob.ms/simat, febrero, marzo, abril mayo, 2005.

**VARIABLES PRESENTES
DURANTE EL MUESTREO.
BITÁCORA DE MUESTREO**

ANEXO A

VARIABLES PRESENTES DURANTE EL MUESTREO¹

PERIODO DE MUESTREO 16 MAYO – 17 JUNIO 2005

PEDREGAL

MUESTRA	FECHA	HORA	TEMPERATURA PROM. (°C)	CO (ppm)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	NOx (ppm)	NO (ppm)	SO ₂ (ppm)	PM ₁₀ (µg/m ³)
PEDCO-1	16-Mayo	08:30-09:30	20.5	3.65	0.0115	0.066	0.126	0.056	0.14	60.33
PED O ₃ -1		13:30-14:30	26.5	1.25	0.122	0.190	0.023	0.005	0.007	48.00
PEDCO-2	17-Mayo	08:45-09:45	20.0	4.1	0.009	0.685	0.125	0.057	0.021	120.5
PED O ₃ -2		13:30-14:30	26.5	1.1	0.133	0.024	0.026	0.003	0.007	65.33
PEDCO-3	18-Mayo	08:35-09:35	19.0	2.9	0.013	0.055	0.09	0.035	0.008	108.66
PED O ₃ -3		13:30-14:30	25.5	1.2	0.110	0.028	0.032	0.004	0.010	69.30
PEDCO-4	20-Mayo	08:40-09:40	18.5	2.4	0.0145	0.062	0.098	0.036	0.006	115.5
PED O ₃ -4		13:45-14:45	25.5	1.1	0.0855	0.017	0.028	0.010	0.017	59.50

UAM IZTAPALAPA

MUESTRA	FECHA	HORA	TEMPERATURA PROM. (°C)	CO (PPM)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	NOx (ppm)	NO (ppm)	SO ₂ (ppm)	PM ₁₀ (µg/m ³)
UIZCO-1	23-Mayo	09:25 - 10:25	20.5	1.65	0.04	0.050	0.067	0.0175	0.000	79.50
UIZ O ₃ -1		14:00 - 15:00	26.5	1.1	0.176	0.031	0.032	0.002	0.000	66.50
UIZCO-2	24-Mayo	09:05 - 10:05	20.0	1.25	0.575	0.033	0.04	0.007	0.000	74.00
UIZ O ₃ -2		13:30 - 14:30	26.5	0.8	0.144	0.027	0.028	0.002	0.003	60.00
UIZCO-3	25-Mayo	09:25 - 10:25	21.0	2.25	0.042	0.066	0.094	0.028	0.012	119.5
UIZ O ₃ -3		13:25 - 14:25	27.0	0.6	0.117	0.065	0.029	0.003	0.005	54.50
UIZCO-4	27-Mayo	09:00 - 10:00	19.5	2.95	0.025	0.093	0.147	0.055	0.015	99.5
UIZ O ₃ -4		14:03 - 15:03	24.0	0.9	0.079	0.034	0.035	0.002	0.009	57.50
BLANCO UIZ O ₃ -4	27-Mayo	14:03 - 15:03	24	0.9	0.079	0.034	0.035	0.002	0.009	57.5

¹ DATOS OBTENIDOS DE LA BASE DE DATOS DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFERICO (RAMA) DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL.

MERCED

MUESTRA	FECHA	HORA	TEMPERATURA PROM. (°C)	CO (PPM)	O3 (ppm)	NO2 (ppm)	NOx (ppm)	NO (ppm)	SO2 (ppm)	PM10 (µg/m3)
MERCO-1	30-Mayo	09:35 - 10:35	22.0	3.1	0.026	0.072	0.12	0.048	0.017	68.00
MER O ₃ -1		13:30 - 14:30	26.0	0.95	0.110	0.026	0.053	0.009	0.015	53.00
MERCO-2	01-Junio	07:38 - 08:38	18.0	2.1	0.011	0.065	0.147	0.081	0.015	83.00
MER O ₃ -2		13:42 - 14:42	29.5	0.9	0.108	0.000	0.000	0.000	0.000	58.60
MERCO-3	02-Junio	08:20 - 09:20	21.5	3.1	0.019	0.870	0.225	0.138	0.016	104.5
MER O ₃ -3		13:26 - 14:26	30.5	1	0.120	0.035	0.049	0.014	0.013	74.50
MERCO-4	03-Junio	07:30 - 08:30	19.0	3.5	0.0043	0.072	0.223	0.155	0.015	105.6
MER O ₃ -4		13:35 - 14:35	31.5	1.45	0.152	0.037	0.045	0.008	0.000	42.00

TLALNEPANTLA

MUESTRA	FECHA	HORA	TEMPERATURA PROM. (°C)	CO (PPM)	O3 (ppm)	NO ₂ (ppm)	NOx (ppm)	NO (ppm)	SO ₂ (ppm)	PM ₁₀ (µg/m ³)
TLACO-1	13-Junio	08:45 - 9:45	21.0	3.4	0.029	0.082	0.148	0.076	0.028	99.67
TLA O ₃ -1		14:00 - 15:00	29.5	1.3	0.075	0.030	0.043	0.014	0.013	61.50
TLACO-2	14-Junio	09:05 - 10:05	20.0	2.0	0.029	0.040	0.077	0.038	0.000	65.50
TLA O ₃ -2		14:05 - 15:05	30.5	1.0	0.580	0.022	0.043	0.022	0.000	84.50
TLACO-3	15-Junio	08:30 - 09:30	15.5	1.36	0.013	0.027	0.064	0.038	0.005	49.33
TLA O ₃ -3		14:05 - 15:05	18.5	1.05	0.021	0.019	0.043	0.024	0.004	47.00
TLACO-4	17-Junio	08:50 - 09:50	17.0	1.0	0.016	0.030	0.074	0.044	0.008	73.50
TLA O ₃ -4		14:05 - 15:05	30.0	1.05	0.060	0.020	0.038	0.018	0.014	39.00
BLANCO TLA O ₃ -4	17-Junio	14:05 - 15:05	30.0	1.05	0.060	0.020	0.038	0.018	0.014	39.00

XALOSTOC

MUESTRA	FECHA	HORA	TEMPERATURA PROM. (°C)	CO (PPM)	O3 (ppm)	NO ₂ (ppm)	NOx (ppm)	NO (ppm)	SO ₂ (ppm)	PM ₁₀ (µg/m ³)
XALCO-1	06-Junio	09:55 - 10:55	24.5	1.75	0.037	0.050	0.073	0.023	0.000	125.50
XAL O ₃ -1		13:32 - 14:30	32.0	1.15	0.650	0.000	0.000	0.000	0.000	77.00
XALCO-2	07-Junio	07:45 - 08:45	19.5	2.1	0.016	0.050	0.113	0.064	0.017	168.00
XAL O ₃ -2		13:30 - 14:30	33.0	0.8	0.065	0.030	0.058	0.028	0.002	80.66
XALCO-3	08-Junio	08:10 - 09:10	23.0	2.35	0.019	0.060	0.130	0.070	0.000	150.00
XAL O ₃ -3		13:30 - 14:30	32.5	1.5	0.093	0.030	0.042	0.015	0.000	77.66
XALCO-4	10-Junio	08:08 - 09:09	21.5	2.4	0.014	0.061	0.138	0.077	0.022	170.5
BLANCO XAL CO-4		08:08 - 09:09	21.5	2.4	0.014	0.061	0.138	0.077	0.022	170.5
XAL O ₃ -4	10-Junio	13:32 - 14:32	32.0	0.93	0.074	0.042	0.067	0.025	0.006	85.33

BITACORA DE MUESTREO².

PEDREGAL.

MUESTRA	FECHA	(HORA)	TEMPERATURA PROM. (°C)	OBSERVACIONES
PEDCO-1	16-May-05	08:30-09:30	20.5	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N
PEDO ₃ -1	16-May-05	13:30-14:30	26.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 5/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N
PEDCO-2	17-May-05	08:45-09:45	20	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N
PEDO ₃ -2	17-May-05	13:30-14:30	26.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 5/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N. Se encontraban realizando trabajos de impermeabilización, por fusión del impermeabilizante con tanque de gas propano-butano al sur de la toma de muestra
PEDCO-3	18-May-05	08:35-09:35	19	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N
PEDO ₃ -3	18-May-05	13:30-14:30	25.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 7/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N. Se encontraban realizando trabajos de impermeabilización, por fusión del impermeabilizante con tanque de gas propano-butano al sur de la toma de muestra
PEDCO-4	20-May-05	08:40-09:40	18.5	Muestreo al pico de CO. Cielo: 6/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N
PEDO ₃ -4	20-May-05	13:45-14:45	25.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 3/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N

UAM IZTAPALAPA

MUESTRA	FECHA	(HORA)	TEMPERATURA PROM. (°C)	OBSERVACIONES
UIZCO-1	23-May-05	09:25-10:25	20.5	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N
UIZO ₃ -1	23-May-05	14:00-15:00	26.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 2/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N
UIZCO-2	24-May-05	09:05-10:05	20	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: SO-NE, Orientación toma de muestra: SO
UIZO ₃ -2	24-May-05	13:30-14:30	26.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 6/8, dirección del viento: n-s, Orientación toma de muestra: N
UIZCO-3	25-May-05	09:25-10:25	21	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: NE-SO, Orientación toma de muestra: NE
UIZO ₃ -3	25-May-05	13:25-14:25	27	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 3/8, dirección del viento: NE-SO, Orientación toma de muestra: NE
UIZCO-4	27-May-05	09:00-10:00	19.5	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: SE-NO, Orientación toma de muestra: SE. Olor a diesel.
UIZO ₃ -4	27-May-05	14:03-15:03	24	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 8/8, dirección del viento: S-N, Orientación toma de muestra: S. Probabilidad de lluvia. Se realizó limpieza de la estación de monitoreo utilizando jabón libre de residuos
BLANCO UIZO3-4	27-May-05	14:03-15:03	24	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 8/8, dirección del viento: S-N, Orientación toma de muestra: S. Probabilidad de lluvia. Se realizó limpieza de la estación de monitoreo utilizando jabón libre de residuos. Se colocó el cartucho sin succión

² Flujo de Aire: 1 LPM. Periodo de Tiempo: 1 hr.

MERCED

<i>MUESTRA</i>	<i>FECHA</i>	<i>(HORA)</i>	<i>TEMPERATURA PROM. (°C)</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
MERCO-1	30-May-05	09:35-10:35	22	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: NE-SO, Orientación toma de muestra: NE. Zona cubierta con árboles, circulación vial moderada.
MERO ₃ -1	30-May-05	13:30-14:30	26	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 6/8, dirección del viento: NE-SO, Orientación toma de muestra: NE. Quema de basura al e de la toma de muestra
MERCO-2	01-Jun-05	07:38-08:38	18	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: NE-SO , Orientación toma de muestra: NE, poco viento, circulación vial moderada
MERO ₃ -2	01-Jun-05	13:42-14:42	29.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 4/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N
MERCO-3	02-Jun-05	08:20-09:20	21.5	Muestreo al pico de CO. Cielo: 1/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N, circulación vial moderada
MERO ₃ -3	02-Jun-05	13:26-14:26	30.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 1/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N
MERCO-4	03-Jun-05	07:30-08:30	19	Muestreo al pico de CO. Cielo: 2/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N, circulación vial moderada
MERO ₃ -4	03-Jun-05	13:35-14:35	31.5	Muestreo al pico de o3. Cielo: 3/8, dirección del viento: NE-SO, orientación toma de muestra: NE, poco viento.

TLALNEPANTLA

<i>MUESTRA</i>	<i>FECHA DE MUESTREO</i>	<i>PERIODO (HORA)</i>	<i>TEMPERATURA PROMEDIO (°C)</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
TLACO-1	13-Jun-05	08:45 - 09:45	21	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: NE-SO Orientación toma de muestra: NE
TLAO ₃ -1	13-Jun-05	14:00 - 15:00	29.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 6/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N.
TLACO-2	14-Jun-05	09:05 - 10:05	20	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: NE-SO, Orientación toma de muestra: NE
TLAO ₃ -2	14-Jun-05	14:05 - 15:05	30.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N.
TLACO-3	15-Jun-05	08:30 - 09:30	15.5	Muestreo al pico de CO. Cielo: 8/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N. Mucho viento
TLAO ₃ -3	15-Jun-05	14:05 - 15:06	18.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 8/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N. Mucho viento, alrededor de las 14:30 hrs, se presentó un poco de lluvia
TLACO-4	17-Jun-05	08:50 - 09:50	17	Muestreo al pico de CO. Cielo: 4/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N. Mucho viento
TLAO ₃ -4	17-Jun-05	14:05 - 15:07	30	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N.
FIELD BLANK TLAO ₃ -4	17-Jun-05	08:30 - 09:32	30	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N. Cartucho sin succión.

XALOSTOC

MUESTRA	FECHA	(HORA)	TEMPERATURA PROM. (°C)	OBSERVACIONES
XALCO-1	06-Jun-05	09:55-10:55	24.5	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: NE-SO, Orientación toma de muestra: NE; Olor a thinner, pintura automotriz y mal olor debido a la ubicación de una planta trituradora de huesos al Este de la Estación de Monitoreo.
XALO₃-1	06-Jun-05	13:32-14:32	32	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N. Se encontraban realizando trabajos de pintura automotriz, debido a que la Estación de Monitoreo se encuentra dentro de una Agencia Automotriz.
XALCO-2	07-Jun-05	07:45-08:45	19.5	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N, mal olor debido a la trituradora de huesos. Olor a solvente y pintura automotriz.
XALO₃-2	07-Jun-05	13:30-14:30	33	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N. Se encontraban realizando trabajos de pintura automotriz.
XALCO-3	08-Jun-05	08:10 - 09:10	23	Muestreo al pico de N-S. Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N.
XALO₃-3	08-Jun-05	13:30 - 14:30	32.5	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N.
XALCO-4	10-Jun-05	08:08 - 9:08	21.5	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento: NE-SO , Orientación toma de muestra: NE, cartucho sin succión
BLANCO XALCO -4	10-Jun-05	08:08 - 9:08	21.5	Muestreo al pico de CO. Cielo: 0/8, dirección del viento NE-SO, Orientación toma de muestra: NE
XALO₃-4	10-Jun-05	13:32 - 14:42	32	Muestreo al pico de O ₃ . Cielo: 0/8, dirección del viento: N-S, Orientación toma de muestra: N. Se encontraban realizando trabajos de pintura automotriz.

**CONCENTRACIÓN DE
CARBONILOS
PRESENTES EN LA ZMCM**

ANEXO B

CONCENTRACIÓN DE CARBONILOS

Carbonyl	AVE	STDEV	RSD,%	MIN	MAX	MAX/MIN	Rank	Count	Total
Formaldehyde	10.122	4.249	41.972	4.024	19.984	4.966	2	40	0.147
Acetaldehyde	9.583	4.595	47.945	3.207	23.250	7.250	3	40	0.139
1,4-Benzoquinone	0.485	0.232	47.936	0.207	0.971	4.700	14	10	0.007
Acetone	27.473	15.700	57.147	9.042	65.014	7.190	1	40	0.398
Propanal	1.368	1.052	76.847	0.124	4.581	36.944	7	40	0.020
Acrolein	0.413	0.236	57.017	0.118	0.882	7.485	15	40	0.006
Crotonaldehyde	0.125	0.079	63.080	0.034	0.378	11.083	31	40	0.002
Methacrolein	0.263	0.150	57.235	0.033	0.595	18.100	20	40	0.004
2-Butanone	4.679	3.572	76.352	1.043	20.357	19.518	4	40	0.068
Cyclopentanone	0.107	0.059	55.810	0.015	0.238	16.302	37	40	0.002
Butanal/Isobutanal	0.703	0.558	79.326	0.073	2.361	32.375	12	40	0.010
Methyl Vinyl Ketone	0.198	0.093	46.908	0.065	0.431	6.667	27	40	0.003
Benzaldehyde	0.663	0.331	49.976	0.051	1.269	24.700	13	40	0.010
2-Pentenal/ ISM	0.075	0.041	54.488	0.009	0.115	12.351	48	8	0.001
C5 ALP ISM #1	0.089	0.087	96.853	0.016	0.417	25.303	41	40	0.001
2-Pentanone	0.842	0.320	38.080	0.388	1.674	4.319	10	40	0.012
Isopentanal	0.380	0.139	36.435	0.122	0.765	6.280	17	40	0.006
Glyoxal	0.753	0.397	52.694	0.090	1.722	19.048	11	40	0.011
Pentanal	0.236	0.284	120.304	0.016	0.886	56.000	23	40	0.003
Acetophenone	0.058	0.040	68.317	0.008	0.138	16.531	56	40	0.001
o-Tolualdehyde	0.073	0.044	60.577	0.005	0.174	35.088	50	40	0.001
m-Tolualdehyde	0.237	0.127	53.806	0.019	0.538	27.907	22	40	0.003
p-Tolualdehyde	0.171	0.098	56.948	0.016	0.449	27.346	28	40	0.002
Indanone	0.040	0.026	65.640	0.005	0.087	16.961	62	40	0.001
4-Methyl-2-Pentanone (MIBK)	1.447	3.319	229.389	0.065	20.910	319.662	6	40	0.021
C6 ALP ISM #2	0.025	0.028	113.796	0.003	0.135	53.224	68	40	0.000
C6 ALP ISM #3	0.061	0.054	89.137	0.008	0.266	34.688	54	40	0.001
C6 ALP ISM #5	0.111	0.111	99.956	0.015	0.468	32.065	33	40	0.002
Methyl Glyoxal	1.678	0.846	50.456	0.364	3.897	10.719	5	40	0.024
C6 ALP ISM #4 (2-Hexanone)	0.104	0.038	36.236	0.023	0.180	7.959	38	40	0.002
Hexanal	0.403	0.381	94.433	0.030	1.410	47.500	16	40	0.006
DMBZ ISM #1	0.020	0.010	49.064	0.002	0.041	26.292	71	40	0.000
C7 ALP ISM #1	0.099	0.142	143.532	0.007	0.511	76.326	39	40	0.001
2,5-Dimethylbenzaldehyde	0.082	0.042	51.351	0.008	0.171	22.142	43	40	0.001
C7 ALP ISM #2	0.078	0.098	126.046	0.005	0.365	73.002	45	40	0.001
2,4-Dimethylbenzaldehyde/ISM	0.076	0.045	59.060	0.008	0.170	21.432	47	40	0.001
DMBZ ISM #2	0.062	0.031	50.664	0.006	0.130	22.373	53	40	0.001
DMBZ ISM #3	0.038	0.020	51.409	0.005	0.091	19.955	63	40	0.001
C7 ALP ISM #5	0.046	0.029	64.088	0.008	0.124	16.123	59	40	0.001
2-Oxobutanal	0.318	0.166	52.201	0.050	0.708	14.244	19	40	0.005
C7 ALP ISM #6	0.029	0.012	40.314	0.018	0.045	2.462	67	6	0.000
C7 ALP ISM #7	0.061	0.051	84.849	0.006	0.211	37.668	55	40	0.001
Biacetyl	0.875	0.443	50.643	0.211	1.879	8.906	9	40	0.013
2-Heptanone	0.227	1.041	459.155	0.005	6.631	1440.0	25	40	0.003
C7 ALP ISM #8	0.067	0.078	116.009	0.003	0.288	96.176	51	40	0.001
Heptanal	0.235	0.181	77.124	0.013	0.660	49.000	24	40	0.003

Carbonyl	AVE	STDEV	RSD,%	MIN	MAX	MAX/MIN	Rank	Count	Total
Trimethylbenzaldehyde ISM#2	0.038	0.022	57.770	0.003	0.090	26.334	64	40	0.001
C8 ALP ISM #1	0.023	0.012	51.817	0.007	0.045	6.761	69	40	0.000
2-Oxopentanal	0.157	0.077	48.957	0.039	0.309	7.829	29	40	0.002
C8 ALP ISM #3	0.035	0.019	53.912	0.005	0.078	15.390	65	40	0.001
2,3-Pentanedione	0.074	0.043	57.385	0.014	0.167	11.850	49	40	0.001
2-Oxohexanal	0.136	0.142	104.192	0.007	0.562	79.852	30	40	0.002
Oxohexanal ISM#1	0.107	0.065	60.907	0.019	0.194	10.435	36	5	0.002
Hexanedione ISM#1	0.089	0.073	81.819	0.004	0.309	68.966	42	40	0.001
2,3-Hexanedione/ISM	0.110	0.063	57.389	0.036	0.301	8.358	34	40	0.002
Hexanedione ISM#2	0.109	0.066	60.400	0.017	0.264	15.345	35	40	0.002
C8 ALP ISM #7	0.064	0.052	81.106	0.011	0.246	22.375	52	40	0.001
C8 ALP ISM #9	0.076	0.058	76.509	0.006	0.225	38.896	46	40	0.001
C8 ALP ISM #10	0.042	0.024	57.770	0.004	0.097	21.600	61	40	0.001
3,4-Hexanedione/ISM	0.043	0.030	70.037	0.008	0.150	18.199	60	40	0.001
Octanal	0.367	0.211	57.655	0.030	0.742	24.333	18	40	0.005
Pinonaldehyde (TENT)	0.217	0.199	91.970	0.011	0.692	62.311	26	29	0.003
2-Oxoheptanal/ISM	0.017	0.011	67.000	0.004	0.051	12.804	73	40	0.000
C9 ALP ISM #2	0.030	0.013	44.172	0.011	0.056	5.109	66	40	0.000
C9 ALP ISM #3	0.057	0.017	29.804	0.017	0.088	5.274	57	40	0.001
C9 ALP ISM #4	0.119	0.070	58.461	0.014	0.335	24.119	32	40	0.002
Nonanal	1.323	0.757	57.243	0.125	2.870	22.901	8	40	0.019
C10 ALP ISM #1	0.022	0.010	44.075	0.005	0.048	10.354	70	40	0.000
C10 ALP ISM #2	0.018	0.008	46.582	0.004	0.031	7.093	72	40	0.000
C10 ALP ISM #3	0.047	0.018	37.730	0.009	0.084	9.000	58	40	0.001
Decanal	0.248	0.129	51.937	0.043	0.466	10.870	21	40	0.004
Undecanal	0.096	0.047	49.272	0.028	0.198	7.113	40	40	0.001
SUMA	69.037								1.000

CONCENTRACIÓN PROMEDIO

	AVE	STDEV	RSD,%	MIN	MAX	MAX/MIN	Rank	Count	Total
COUNT	70.450			69.00	73.00				
DNPH, % Consumed	0.231	0.770		-1.571	1.403			40	
DNPA (NO2 Reaction Product)	8.853	3.796	42.876	3.462	16.533	4.776		40	
SUM	68.435	28.175	41.171	29.532	125.50	4.250		40	
Saturated aliphatic aldehydes	25.065	10.982	43.812	11.907	54.076	4.541		40	
Saturated aliphatic ketones	34.877	18.431	52.846	13.397	81.261	6.066		40	
Saturated aliphatic carbonyls	1.173	0.593	50.545	0.508	2.411	4.746		40	
Unsaturated aliphatic carbonyls	1.014	0.514	50.693	0.276	1.968	7.122		40	
Aromatic carbonyls	1.775	0.895	50.452	0.145	3.602	24.789		40	
Aliphatic dicarbonyls	4.530	2.005	44.268	0.884	9.009	10.185		40	
SUM	68.435	28.175	41.171	29.532	125.50	4.250		40	
% of total	AVE	STDEV	RSD,%	MIN	MAX	MAX/MIN	Rank	Count	Total
Saturated aliphatic aldehydes	37.186	7.605	20.451	19.660	51.341	2.611		40	
Saturated aliphatic ketones	49.867	10.966	21.990	32.066	72.348	2.256		40	
Saturated aliphatic carbonyls	1.722	0.506	29.403	0.935	3.384	3.621		40	
Unsaturated aliphatic carbonyls	1.471	0.462	31.399	0.519	2.850	5.491		40	
Aromatic carbonyls	2.659	1.037	39.012	0.263	5.073	19.284		40	
Aliphatic dicarbonyls	7.094	3.364	47.423	2.634	13.993	5.312		40	
SUMA	100.00								

**CORRELACIONES, ANALISIS POR
COMPONENTES PRINCIPALES,
PERFIL DE CARBONILOS.**

ANEXO C

Análisis de Componentes Principales. MUESTREO POR LA MAÑANA.

Extraction Method: Principal Component Analysis. 15 components extracted.

Component Matrix(a) % of Variance : 0.959, Cumulative %: 97.849. Nivel de significancia: ≥ 0.5

	COMPONENTES														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CO	.435	.558	.175	.047	.332	-.249	.229	.087	.174	.095	-.329	-.141	.166	-.137	-.006
Formaldehyde	.825	.336	-.149	.176	.238	.064	.052	-.158	-.106	.040	.189	-.054	-.095	.009	.000
Acetaldehyde	.772	.188	.218	.028	.218	-.096	-.176	-.132	-.012	-.078	.374	.011	.206	.119	.055
1,4-Benzoquinone (TENT)	.105	-.063	.572	-.027	.374	.262	-.462	.311	-.202	.183	.005	.191	.079	-.103	.052
Acetone	.382	.045	.528	-.054	-.352	-.093	.017	.215	-.159	-.385	-.090	-.129	.347	.158	.210
Propanal	.690	.319	.484	.204	.213	-.079	.139	-.074	-.046	-.002	.204	-.049	-.168	-.038	.068
Acrolein	.804	.314	.222	.201	.004	-.140	-.154	.090	-.150	.023	-.245	-.135	-.058	.083	-.027
Crotonaldehyde	.637	.277	.171	.077	.078	-.364	-.215	.126	-.076	.145	-.444	-.147	.047	.081	.023
Methacrolein	.799	.367	.298	.091	-.180	-.088	-.055	-.006	-.216	.040	-.067	-.057	-.003	-.003	-.130
2-Butanone (MEK)	.641	.094	.240	.483	-.338	.016	-.087	.156	-.275	-.157	-.089	.081	-.059	.072	.007
Cyclopentanone (TENT)	.687	.506	.344	.011	-.126	-.017	-.077	.037	-.286	-.004	-.159	-.074	.009	-.005	-.090
Butanal/Isobutanal	.650	.211	.620	.118	.157	-.097	.201	-.081	-.066	.021	.188	-.006	-.070	.001	.070
Methyl Vinyl Ketone	.753	.044	.336	-.067	.006	.172	.307	-.042	-.127	-.005	.045	.083	.197	-.193	-.123
Benzaldehyde	.873	.156	-.353	-.196	.045	.022	.003	-.049	.096	-.145	-.058	.074	.010	.043	-.044
C5 ALP ISM #1	.440	-.063	.508	-.178	.347	.275	-.268	-.096	-.213	-.106	.262	.155	-.064	.069	.136
2-Pentanone	.848	.170	.087	.140	.301	-.226	.155	.036	.022	.050	.039	-.105	-.109	.034	.003
Isopentanal	.604	.459	.100	.203	.314	-.194	.247	.036	.004	-.216	.125	-.062	-.086	-.179	-.145
Glyoxal	.656	-.037	-.431	.475	.022	-.088	.087	.229	.171	.166	-.049	-.009	-.117	-.030	.101
Pentanal	.316	.132	.324	-.488	.317	-.207	.390	.274	-.099	-.177	.296	.105	.123	.047	-.042
Acetophenone	.753	.008	-.424	-.339	-.112	-.197	-.074	.142	-.150	-.062	.071	-.001	.058	.025	.099
o-Tolualdehyde	.823	.308	-.059	-.389	-.047	.070	-.021	-.064	-.096	-.161	-.022	-.003	-.095	-.049	.036
m-Tolualdehyde	.761	.214	-.353	-.285	.120	-.036	.124	-.045	.054	-.194	-.173	.187	.124	.066	-.084
p-Tolualdehyde	.764	.129	-.296	-.330	.093	.109	.084	-.040	-.043	-.156	-.183	.063	-.052	.002	-.271
Indanone	.767	-.087	-.283	-.421	-.189	-.148	-.078	.147	-.041	-.151	-.047	-.068	-.034	-.008	.074
4-Methyl-2-Pentanone (MIBK)	.451	-.547	-.036	.427	-.292	-.324	-.160	.008	.206	.054	.086	.148	.023	.051	-.063
C6 ALP ISM #2	.497	.257	.271	-.036	-.214	.335	-.006	.261	.424	-.037	.119	-.218	-.045	-.205	.123
C6 ALP ISM #3	.057	.343	.152	.747	.126	.068	.248	-.095	.165	.087	-.339	.125	.141	-.034	.105
C6 ALP ISM #5	.186	.441	.184	.675	.198	-.060	.349	-.207	.022	.025	-.050	-.032	-.106	-.005	.219
Methyl Glyoxal	.771	-.035	-.509	.228	.135	-.079	.124	-.077	-.110	.030	.112	-.001	.027	.086	-.084
C6 ALP ISM #4 (2-Hexanone)	.653	.102	-.355	-.095	.239	-.294	-.130	.379	.094	.240	-.013	.041	.206	-.049	.015
Hexanal	.618	.231	.670	-.122	-.136	.071	.123	.033	.107	-.108	.075	-.063	.139	-.005	-.032
DMBZ ISM #1	.704	.252	-.460	-.256	.002	.007	.148	-.053	.207	.108	-.117	.105	-.192	.035	.106
C7 ALP ISM #1	.284	.024	.674	-.238	-.099	.104	-.055	-.212	.008	.464	-.174	-.054	.159	.050	-.188
2,5-Dimethylbenzaldehyde	.749	.371	-.173	-.375	-.056	+.004	.076	-.070	.208	.058	.007	.072	.127	-.031	.142
DMBZ ISM #2	.690	.325	-.466	-.335	-.155	-.083	.073	-.024	.130	.056	.042	.059	-.103	.015	.058

	COMPONENTES														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
DMBZ ISM #3	.745	.118	-.297	-.390	-.169	.007	-.100	.017	.000	.122	.009	-.098	-.252	-.116	.193
C7 ALP ISM #5	-.136	-.196	.291	-.120	-.329	.334	.582	.115	-.057	.253	.011	.225	-.018	.232	-.007
2-Oxobutanal	.647	-.218	-.668	.116	.111	-.097	.006	.008	-.101	.024	.079	-.031	.109	.108	-.059
C7 ALP ISM #6	-.307	-.002	.098	.186	.198	.109	.313	.755	.065	.148	.043	.283	-.035	-.026	-.052
C7 ALP ISM #7	.590	-.742	.220	.127	-.062	.005	-.060	-.038	.136	.025	-.051	.056	-.001	-.009	-.037
Biacetyl	.506	-.388	-.261	.466	-.241	-.337	-.151	-.014	.147	.130	.162	.162	.028	.077	-.112
2-Heptanone	.242	.281	.034	.120	-.582	-.238	.239	.279	-.358	-.136	-.031	-.258	-.236	.065	-.030
C7 ALP ISM #8	.316	.551	.220	-.228	-.280	-.050	-.393	.083	.051	.404	.053	-.128	.145	-.104	.105
Trimethylbenz aldehyde ISM#1	.657	-.713	.141	.022	.047	.119	-.031	-.020	.080	-.065	-.064	.046	-.017	-.034	-.002
2,4,6-Trimethylbenz aldehyde/ISM	.669	-.582	.279	-.150	.129	.248	.053	-.031	.051	-.137	-.067	-.017	.003	-.001	.013
Heptanal	.235	.789	.384	-.020	-.261	-.099	.036	-.161	.159	-.057	.186	.017	.043	.031	-.034
Trimethylbenz aldehyde ISM#2	.587	.520	-.310	-.244	.027	.262	-.089	-.039	.095	.015	-.020	.275	.006	.094	-.099
C8 ALP ISM #1	.640	-.693	.215	-.002	.094	.197	-.038	-.028	.067	-.054	-.043	-.023	-.015	-.028	.041
2-Oxopentanal	.150	.647	-.329	.204	.097	.386	-.106	.072	.013	-.135	.177	-.131	.167	-.161	-.201
C8 ALP ISM #3	.826	-.367	-.082	.104	-.055	.318	-.030	-.038	.018	.059	.097	-.091	.028	.056	.065
2,3-Pentanedione	.635	.407	-.407	.311	-.101	.198	-.053	-.069	.007	.060	.117	.018	.101	.216	.033
Oxohexanal ISM#1	.523	-.607	.040	.133	-.126	-.375	-.066	.030	.321	-.120	-.034	.118	.199	.014	-.005
Hexanedione ISM#1	.366	.348	-.124	.299	.135	.512	-.029	-.070	.325	-.052	-.092	-.396	.064	.071	-.159
2,3-Hexanedione/ISM	.664	-.493	-.331	.192	-.199	-.101	-.146	-.092	.009	-.103	.086	.102	.058	-.008	-.035
C8 ALP ISM #8	.535	-.760	.290	-.028	.084	.141	.005	-.011	.069	-.073	-.062	-.003	-.025	-.055	.025
C8 ALP ISM #9	.419	.726	-.027	.271	-.258	.226	-.002	-.205	.040	-.070	.024	.000	-.104	-.012	-.076
C8 ALP ISM #10	-.480	.140	.050	-.178	.322	-.066	-.152	.231	.391	-.234	.079	-.391	-.064	.337	-.068
3,4-Hexanedione/ISM	.605	-.719	.269	-.029	-.025	.143	-.017	.032	.032	-.027	.014	-.043	-.040	-.079	-.028
Octanal	.046	.728	.389	.196	-.326	-.213	-.060	-.055	.223	.023	.173	.176	-.002	-.009	-.012
2-Oxoheptanal/ISM	.538	-.287	-.144	.094	-.503	-.023	.011	.197	-.062	.250	.341	-.044	-.069	-.147	-.214
C9 ALP ISM #2	.562	-.517	-.031	.131	.407	-.158	-.089	.006	-.007	.170	.227	-.094	-.069	.015	.089
C9 ALP ISM #3	.662	-.693	.172	.002	.026	.091	.078	.008	.102	-.048	-.023	.081	-.118	.022	.017
C9 ALP ISM #4	.624	-.724	.219	.076	.037	.076	-.009	-.010	.120	-.026	-.054	.000	-.030	-.039	.048
Nonanal	-.203	.763	.422	-.051	-.191	-.170	.001	-.175	.158	-.093	.150	.144	.113	.002	.026
C10 ALP ISM #1	.303	-.002	-.643	.177	.294	-.102	.114	-.194	-.386	.144	.071	-.088	.274	-.176	.105
C10 ALP ISM #2	.689	-.486	.115	.071	-.020	.280	.134	.065	-.095	.068	-.170	.010	.080	.298	.063
C10 ALP ISM #3	.528	-.783	.238	.082	-.035	.094	.025	-.012	.084	-.060	-.059	.078	-.049	-.024	-.089
Decanal	-.078	.781	.489	.009	-.098	-.044	-.017	.084	.239	-.083	.008	.188	-.026	-.006	.061
Undecanal	-.098	.786	1.51E-005	-.090	.384	-.141	-.094	-.067	.006	.149	-.031	.220	-.141	.270	-.035

Análisis de Componentes Principales. MUESTREO POR LA TARDE.

Extraction Method: Principal Component Analysis. 15 components extracted.

Component Matrix(a) % of Variance : 1.379, Cumulative %: 96.661. Nivel de significancia: ≥ 0.5

	COMPONENTES														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ozono	-.229	.149	.695	-.013	-.201	.247	-.119	.128	-.304	-.309	.057	-.235	-.026	-.105	-.166
Formaldehyde	.862	.304	.067	-.251	.043	.070	.149	-.008	.173	-.085	.085	.062	.029	.088	.051
Acetaldehyde	.521	.147	.615	-.248	.458	.020	-.097	-.090	-.158	.051	-.023	.017	.030	.020	.025
1,4-Benzoquinone (TENT)	.163	-.065	.241	-.048	.786	-.099	-.266	-.147	-.190	.268	.001	-.083	.062	-.182	.084
Acetone *	-.265	.035	.620	.027	.450	.165	-.413	-.224	-.234	-.076	-.032	-.089	.075	.075	.044
Propanal	-.588	.717	.108	-.141	-.166	.128	.096	-.038	.148	.130	.091	.014	.020	.009	.011
Acrolein	.131	.810	.021	.485	-.009	.062	.077	.016	-.140	-.166	.154	.068	.034	-.028	.013
Methacrolein	.417	.668	.086	.311	.085	-.221	-.065	.268	.193	-.086	-.101	.043	-.263	.025	.018
2-Butanone (MEK)	.087	.638	-.269	.511	.196	-.065	.225	.203	-.132	-.126	.052	.109	.006	.150	-.099
Cyclopentanone (TENT)	.389	.577	.041	-.279	.158	-.573	.118	.082	.028	.052	.069	-.096	-.032	-.008	-.167
Butanal/Isobutanal	-.703	.577	.208	-.087	.095	.000	-.027	.141	.105	.174	.028	.012	.126	.062	.039
Methyl Vinyl Ketone	.542	.608	-.258	-.260	-.067	.165	-.183	.135	.124	.103	.048	-.096	-.153	-.089	-.015
Benzaldehyde	.925	.061	-.174	.076	.002	.098	-.194	.052	.095	-.121	-.045	.040	.045	-.086	.048
2-Pentenal/ISM	.386	-.479	.283	.372	-.243	.062	.205	.090	.285	.088	-.117	.164	-.047	.036	-.104
C5 ALP ISM #1	.302	.101	-.439	.113	.083	-.291	-.218	.016	-.373	.095	-.167	-.008	-.054	.401	-.191
2-Pentanone	.702	.457	.150	-.320	.124	-.046	.178	.030	.002	.077	-.004	-.159	.190	.143	.157
Isopentanal	.598	.440	.298	-.175	.113	-.233	-.074	.158	.087	.162	-.237	-.103	.253	.016	.229
Glyoxal	.908	.154	.166	-.166	-.074	.036	.215	.145	.045	.081	.038	-.020	.073	.024	.018
Acetophenone	.889	.028	-.116	.134	.138	.088	-.332	.071	.025	-.122	-.006	.047	-.041	.014	-.042
o-Tolualdehyde	.542	.325	-.335	.384	-.249	-.007	-.193	-.131	.087	.085	-.053	.087	.414	-.068	.080
m-Tolualdehyde	.776	.145	-.258	.303	-.198	.032	.027	-.161	.002	.160	-.110	-.123	.207	-.077	-.040
p-Tolualdehyde	.615	.199	-.285	.304	-.256	.110	.205	-.223	-.151	.159	-.058	-.096	.337	.008	-.055
Indanone	.822	-.058	-.169	.145	.167	.027	-.419	-.031	.083	-.147	.005	-.007	-.110	-.085	-.063
4-Methyl-2-Pentanone (MIBK)	-.369	.299	-.245	.067	.041	-.383	.190	-.142	.497	-.100	.120	-.121	-.150	-.352	.098
C6 ALP ISM #2	-.612	.125	.202	-.159	.159	-.016	.130	-.073	-.212	-.049	-.517	.296	.035	-.073	.101
C6 ALP ISM #3	-.200	.693	-.119	-.025	.250	.392	.163	.257	.152	-.027	-.154	-.194	.084	-.032	-.190
C6 ALP ISM #5	-.502	.570	.119	.169	.263	.018	.226	.362	-.160	-.072	-.247	-.084	-.028	.041	-.075
Methyl Glyoxal	.911	.211	.060	-.236	-.010	-.031	.145	.091	-.050	-.093	.051	.050	.012	-.057	.031
C6 ALP ISM #4 (2-Hexanone)	.545	.384	.027	-.264	-.063	-.092	.204	.087	-.352	.151	-.195	.198	-.086	-.290	.057
Hexanal	-.813	.374	.326	.108	.082	.050	.004	.102	.039	-.069	.044	-.022	.094	-.129	.007
DMBZ ISM #1	.877	-.013	-.212	.076	.142	.246	-.183	.034	-.003	-.074	.120	.075	.025	.007	.107
C7 ALP ISM #1	-.351	.271	.383	-.527	-.128	.383	-.061	.056	-.063	-.258	.255	.137	.010	-.054	-.097
2,5-Dimethylbenzaldehyde	.877	.150	-.135	.004	.077	.365	.065	-.098	.069	.102	-.003	-.060	-.054	.014	.064
C7 ALP ISM #2	-.581	.317	.110	-.226	.053	-.237	-.169	-.166	.250	.130	.179	.370	.162	.176	.228

	COMPONENTES														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2,4-Dimethylbenzaldehyde/ISM	.775	.182	-.096	-.111	.139	.388	-.031	-.136	.226	.077	.024	-.097	.061	.150	-.116
DMBZ ISM #2	.843	-.084	-.239	.132	.051	.334	-.067	-.010	.065	-.033	.133	-.045	-.041	.067	.131
DMBZ ISM #3	.873	.015	-.246	.087	.065	.205	.055	-.066	-.049	.107	.226	-.075	-.106	.013	.089
C7 ALP ISM #5	-.232	-.222	.025	.343	.682	.271	.106	-.290	-.216	.087	.202	.101	.117	-.043	.093
2-Oxobutanal	.954	-.072	.120	-.094	.001	-.043	.054	.052	-.095	-.139	-.042	.059	-.016	.012	-.035
C7 ALP ISM #7	-.449	.632	.081	.070	-.148	-.123	.033	-.382	.241	.039	-.038	.194	.044	-.159	.113
Biacetyl	.947	-.032	.148	.001	.118	-.056	.054	.055	-.034	-.180	.105	.060	-.018	.013	.044
2-Heptanone	-.335	.419	-.370	.299	-.029	.255	.128	-.339	-.294	-.054	-.136	.342	-.176	.067	.031
Trimethylbenzaldehyde ISM#1	.906	.152	-.184	.039	.092	.027	-.169	.063	.053	.016	-.067	-.092	.109	.041	-.072
2,4,6-Trimethylbenzaldehyde/ISM	.844	.011	-.303	-.013	-.058	.128	-.263	.080	.091	-.152	-.098	.115	.072	-.142	.094
Heptanal	-.760	.493	.166	.167	-.051	.107	-.151	-.040	-.069	.103	.193	.049	-.020	.135	.033
Trimethylbenzaldehyde ISM#2	.883	.152	-.053	.037	.134	.116	-.198	-.173	.161	.045	-.140	.017	-.052	-.055	-.031
C8 ALP ISM #1	.815	-.085	.305	-.005	.118	-.197	.244	-.073	-.058	-.078	.165	.152	.094	.113	-.034
2-Oxopentanal	.896	-.120	.117	-.027	.086	-.018	.307	.067	.075	-.103	.086	.059	-.112	-.010	.087
C8 ALP ISM #3	.855	-.094	.315	.108	.044	-.180	.072	-.027	-.002	-.085	.159	.174	-.061	.090	.048
2,3-Pentanedione	.835	-.228	.283	.128	.032	-.183	.165	.023	-.007	-.161	.135	.077	-.117	.064	.149
2-Oxohexanal	.432	.134	.693	.236	-.191	.020	-.035	.229	.219	.182	-.123	.169	-.073	.157	.036
Oxohexanal ISM#1	.142	.387	-.065	-.409	.079	.552	.356	-.218	.090	-.016	-.242	.208	-.225	.043	-.056
Hexanedione ISM#1	.240	.535	-.234	-.387	-.421	-.113	-.056	.088	-.181	-.043	-.064	-.277	.000	.276	.209
2,3-Hexanedione/SM	.771	-.361	.393	.167	-.050	-.141	.028	-.032	.063	.011	-.026	.204	-.087	-.028	.005
Hexanedione ISM#2	.667	.069	.304	-.125	-.217	-.211	.313	.040	-.265	.062	.149	.156	.260	-.063	-.148
C8 ALP ISM #7	.316	.182	.471	.475	-.306	-.072	-.215	.139	-.029	-.158	-.244	-.089	-.131	.064	.327
C8 ALP ISM #9	.247	.681	.123	.037	.056	-.147	-.341	.101	.204	.222	.133	.126	-.011	-.181	-.362
C8 ALP ISM #10	-.683	.350	-.190	.107	.131	-.117	.058	.009	.168	-.469	.172	.001	.136	.093	.038
3,4-Hexanedione/SM	-.476	-.467	.067	.287	.251	.143	.053	.531	.187	.126	-.097	-.039	.089	.044	-.044
Octanal	-.798	.315	-.248	.015	.210	-.040	.052	.027	.183	.110	.066	.165	-.057	.242	-.036
C9 ALP ISM #2	.485	-.445	.341	.152	.081	.136	.318	.040	.220	-.083	.017	.022	.442	.062	-.184
C9 ALP ISM #3	.810	-.112	.129	.035	.023	-.075	-.027	-.069	.037	.348	.001	.164	-.240	-.068	-.265
C9 ALP ISM #4	.628	.284	.402	.054	.014	-.348	-.316	-.194	-.030	.090	-.074	-.012	-.092	.178	-.146
Nonanal	-.821	.445	.088	.148	-.065	.053	-.096	-.051	.150	.167	.036	.029	-.016	.059	.046
C10 ALP ISM #1	.615	.256	-.116	-.038	.509	-.240	.198	-.077	.050	-.267	.047	-.230	-.074	-.133	.054
C10 ALP ISM #2	.534	.292	.088	-.027	-.224	.225	.244	-.046	-.103	.503	.192	-.228	-.191	.033	.159
C10 ALP ISM #3	-.438	-.160	.239	.316	-.074	-.164	.129	-.184	-.086	.168	.467	-.255	-.162	.081	-.021

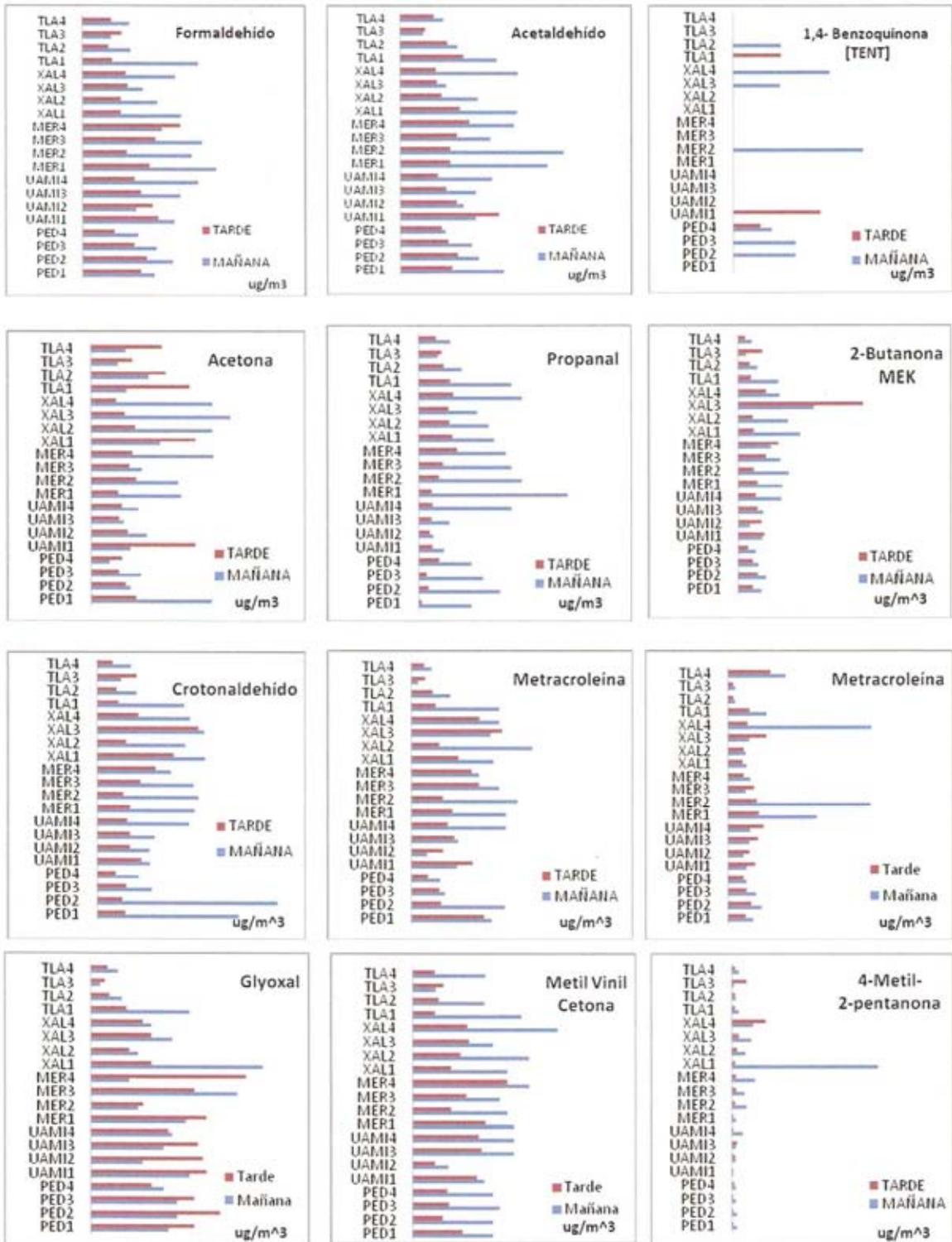
CORRELACIÓN DE CARBOILOS

	Formaldehído	Acetone	Acetaldehído	1,4-Benzoquinone	Propanal	Acrolein	Crotonaldehído	Methacrolein	2-Butanone	Cyclopentanone	Butanal/Isobutanal	Methyl Vinyl Ketone
Formaldehído	1.000	0.219	0.827	0.092	0.552	0.762	0.714	0.751	0.751	0.773	0.459	0.804
Acetone		1.000	0.574	0.284	0.475	0.381	0.402	0.352	0.289	0.304	0.468	0.264
Acetaldehído			1.000	0.251	0.612	0.669	0.655	0.667	0.558	0.667	0.557	0.672
1,4-Benzoquinone (TENT)				1.000	0.323	0.220	0.173	0.119	0.121	0.198	0.315	0.162
Propanal					1.000	0.786	0.740	0.638	0.644	0.674	0.975	0.758
Acrolein						1.000	0.970	0.814	0.843	0.791	0.724	0.788
Crotonaldehído							1.000	0.817	0.841	0.785	0.682	0.754
Methacrolein								1.000	0.864	0.894	0.607	0.746
2-Butanone (MEK)									1.000	0.876	0.577	0.730
Cyclopentanone (TENT)										1.000	0.640	0.760
Butanal/Isobutanal											1.000	0.708
Methyl Vinyl Ketone												1.000

	Benzaldehído	2-Pentenal/ISM	C5 ALP ISM #1	2-Pentanone	Isopentanal	Glyoxal	Pentanal	Acetophenone	o-Tolualdehído	m-Tolualdehído	p-Tolualdehído	Indanone
Formaldehído	0.882	0.086	0.358	0.882	0.745	0.613	0.404	0.801	0.775	0.811	0.784	0.757
Acetone	0.180	-0.160	0.008	0.234	0.240	-0.164	0.247	0.257	0.252	0.147	0.161	0.298
Acetaldehído	0.721	0.060	0.266	0.796	0.716	0.370	0.428	0.666	0.621	0.655	0.644	0.643
1,4-Benzoquinone (TENT)	-0.028	-0.030	0.186	0.189	0.236	-0.086	0.132	0.068	0.041	0.028	0.034	0.099
Propanal	0.421	-0.304	0.189	0.592	0.562	-0.095	0.560	0.495	0.591	0.518	0.540	0.517
Acrolein	0.671	-0.102	0.240	0.729	0.598	0.246	0.393	0.727	0.784	0.718	0.743	0.720
Crotonaldehído	0.654	-0.065	0.258	0.728	0.591	0.276	0.336	0.705	0.756	0.695	0.719	0.693
Methacrolein	0.675	0.017	0.374	0.747	0.726	0.393	0.240	0.584	0.717	0.627	0.612	0.570
2-Butanone (MEK)	0.601	-0.149	0.316	0.723	0.605	0.371	0.190	0.561	0.708	0.613	0.630	0.536
Cyclopentanone (TENT)	0.626	-0.066	0.436	0.791	0.729	0.361	0.318	0.586	0.688	0.638	0.627	0.580
Butanal/Isobutanal	0.353	-0.294	0.212	0.537	0.517	-0.172	0.592	0.438	0.542	0.463	0.483	0.467
Methyl Vinyl Ketone	0.746	-0.079	0.351	0.715	0.649	0.256	0.605	0.745	0.785	0.777	0.769	0.738
Benzaldehído	1.000	0.181	0.372	0.765	0.629	0.524	0.467	0.898	0.864	0.906	0.850	0.873
2-Pentenal/ISM		1.000	0.063	0.069	0.053	0.386	-0.083	0.110	0.140	0.267	0.214	0.077
C5 ALP ISM #1			1.000	0.396	0.353	0.175	0.233	0.300	0.399	0.400	0.351	0.303
2-Pentanone				1.000	0.869	0.624	0.340	0.667	0.683	0.722	0.707	0.641
Isopentanal					1.000	0.511	0.298	0.516	0.579	0.592	0.550	0.495
Glyoxal						1.000	-0.208	0.342	0.281	0.387	0.342	0.263
Pentanal							1.000	0.571	0.501	0.482	0.480	0.578
Acetophenone								1.000	0.848	0.872	0.833	0.979
o-Tolualdehído									1.000	0.929	0.917	0.820
m-Tolualdehído										1.000	0.963	0.845
p-Tolualdehído											1.000	0.802
Indanone												1.000

	4-Methyl-2-Pentanone (MIBK)	C6 ALP ISM #2	C6 ALP ISM #3	C6 ALP ISM #5	Methyl Glyoxal	C6 ALP ISM #4 (2-Hexanone)	Hexanal	DMBZ ISM #1	C7 ALP ISM #1	2,5-Dimethylbenzaldehyde	C7 ALP ISM #2	2,4-Dimethylbenzaldehyde ISM
Formaldehído	0.317	0.283	0.315	0.352	0.915	0.308	0.351	0.795	0.423	0.845	0.430	0.780
Acetone	0.317	0.537	0.252	0.298	0.074	-0.171	0.595	0.087	0.405	0.174	0.376	0.155
Acetaldehído	0.253	0.474	0.321	0.403	0.747	0.239	0.529	0.623	0.549	0.710	0.475	0.616
1,4-Benzoquinone (TENT)	0.048	0.239	0.264	0.248	-0.042	-0.003	0.298	-0.041	0.329	-0.015	0.321	-0.032
Propanal	0.689	0.771	0.725	0.798	0.330	-0.122	0.916	0.341	0.746	0.461	0.876	0.375
Acrolein	0.636	0.507	0.603	0.620	0.617	0.107	0.661	0.564	0.596	0.622	0.657	0.555
Crotonaldehído	0.638	0.477	0.590	0.574	0.609	0.198	0.629	0.558	0.521	0.618	0.576	0.546
Methacrolein	0.488	0.464	0.430	0.508	0.649	0.271	0.546	0.544	0.331	0.630	0.470	0.565
2-Butanone (MEK)	0.643	0.444	0.470	0.492	0.620	0.210	0.512	0.472	0.332	0.578	0.492	0.508
Cyclopentanone (TENT)	0.519	0.437	0.430	0.517	0.668	0.249	0.541	0.500	0.420	0.612	0.532	0.574
Butanal/Isobutanal	0.659	0.773	0.712	0.791	0.242	-0.178	0.936	0.271	0.766	0.393	0.896	0.307
Methyl Vinyl Ketone	0.545	0.501	0.504	0.522	0.652	0.081	0.583	0.660	0.630	0.769	0.611	0.662
Benzaldehído	0.271	0.216	0.217	0.178	0.854	0.315	0.284	0.917	0.325	0.913	0.304	0.870
2-Pentenal/ISM	-0.328	-0.109	-0.173	-0.192	0.172	0.201	-0.214	0.244	-0.217	0.255	-0.283	0.232
C5 ALP ISM #1	0.122	0.061	-0.029	0.044	0.310	0.163	0.056	0.415	0.058	0.384	0.202	0.390
2-Pentanone	0.336	0.315	0.393	0.420	0.824	0.455	0.425	0.678	0.381	0.749	0.450	0.679
Isopentanal	0.257	0.337	0.370	0.433	0.669	0.317	0.430	0.526	0.270	0.610	0.393	0.527
Glyoxal	-0.200	-0.167	0.010	-0.018	0.742	0.657	-0.255	0.548	-0.201	0.475	-0.229	0.431
Pentanal	0.260	0.360	0.324	0.306	0.294	-0.204	0.500	0.413	0.672	0.446	0.593	0.402
Acetophenone	0.329	0.209	0.293	0.266	0.738	0.124	0.368	0.831	0.459	0.815	0.434	0.799
o-Tolualdehído	0.501	0.419	0.312	0.323	0.651	0.099	0.507	0.773	0.410	0.833	0.497	0.806
m-Tolualdehído	0.376	0.336	0.310	0.299	0.738	0.165	0.416	0.828	0.391	0.884	0.393	0.822
p-Tolualdehído	0.424	0.368	0.291	0.293	0.716	0.161	0.440	0.776	0.431	0.849	0.406	0.802
Indanone	0.390	0.239	0.275	0.252	0.675	0.056	0.408	0.807	0.496	0.789	0.490	0.793
4-Methyl-2-Pentanone (MIBK)	1.000	0.563	0.410	0.444	0.107	-0.213	0.646	0.142	0.470	0.249	0.609	0.234

PERFIL DE CARBONILOS DURANTE LOS DIAS DE MUESTREO



PERFIL DE CARBONILOS DURANTE LOS DIAS DE MUESTREO

