

8 00376

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**



FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CARACTERIZACION Y EVALUACION DE ALDEHIDOS EN  
AMBIENTES INTRAMUROS Y EXTRAMUROS, EN LA  
CIUDAD DE MEXICO.

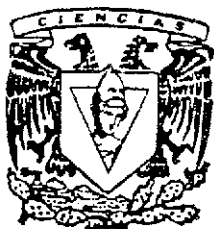
**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
**MAESTRA EN CIENCIAS**  
(**ECOLOGIA Y CIENCIAS AMBIENTALES**)

P R E S E N T A :

**Q.F.B. ROCIO GARCIA MARTINEZ**

DIRECTOR DE TESIS: M. EN I. ARMANDO BAEZ PEDRAJO  
CODIRECTORA DE TESIS: DRA. IRMA AURORA ROSAS PEREZ



MEXICO, D. F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

2002



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DIRECTOR DE TESIS: M. EN I. ARMANDO BÁEZ PEDRAJO

CODIRECTORA DE TESIS: DRA. IRMA AURORA ROSAS PEREZ

MIEMBROS DEL JURADO

PRESIDENTE:	M. EN I. ARMANDO BÁEZ PEDRAJO
PRIMER VOCAL:	DRA. IRMA AURORA ROSAS PEREZ
SEGUNDO VOCAL:	DR. ALVARO ROMAN OSORNIO VARGAS
TERCER VOCAL:	DR. HUGO PASCUAL PADILLA GORDON
SECRETARIO:	DR. JOSÉ LUIS ARRIAGA COLINA
SUPLENTE:	DR. LUIS GERARDO RUÍZ SUAREZ
SUPLENTE:	M. EN C. VICTOR OLVERA VIASCAN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo manifestar mi más sincero agradecimiento al Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y en particular al Laboratorio de Química Atmosférica por el apoyo en el trabajo de campo y en el análisis químico de las muestras.

Agradezco a los miembros del jurado:

M. EN I. ARMANDO BÁEZ PEDRAJO  
DRA. IRMA AURORA ROSAS PEREZ  
DR. ALVARO ROMAN OSORNIO VARGAS  
DR. HUGO PASCUAL PADILLA GORDON  
DR. JOSÉ LUIS ARRIAGA COLINA  
DR. LUIS GERARDO RUÍZ SUAREZ  
M. EN C. VICTOR OLVERA VIASCAN

Por el tiempo dedicado en la revisión de esta tesis, así como por sus correcciones y sus valiosas sugerencias, las cuales contribuyeron sin duda a mejorar la calidad de este trabajo

Al Dr. Fernando García y al M. en I. Armando Báez, Jefe del Laboratorio de Química Atmosférica del Centro de Ciencias de la Atmósfera, por las facilidades brindadas en el uso de la infraestructura de esta institución, para la realización de este trabajo.

A la Química María del Carmen Torres Barrera y al Dr. Hugo Padilla, por su colaboración en el trabajo analítico de las muestras por cromatografía líquida.

Al Ing. Raúl Belmont, por su asesoría en el trabajo de computación y en el análisis estadístico de los datos.

A los Ingenieros Victor Zarraluqui, Jorge Escalante y Alfredo Rodríguez por su colaboración en el diseño y mantenimiento del equipo de muestreo y de Laboratorio.

Al Dr. Rodolfo Sosa, por sus comentarios y material bibliográfico presentado en esta tesis.

Es importante reconocer el trabajo eficiente de Antonio Sánchez, Jaime Contreras y Arturo Méndez, personal de la Biblioteca Conjunta del Centro de Ciencias de la Atmósfera y Ciencias de la Tierra de la UNAM, por su ayuda en la búsqueda de material bibliográfico



A todos mis compañeros de trabajo, que de una u otra manera contribuyeron en la realización de esta investigación: Irene Silva, Calixto Cuevas, Marcos Carrillo, Sra. Amalia, Tere y Don Panchito.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INDICE

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I	
ANTECEDENTES	5
1.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ALDEHÍDOS	6
1.2 FUENTES DE EMISIÓN DE LOS ALDEHÍDOS	10
1.2.1 AMBIENTES EXTRAMUROS	10
1.2.2 AMBIENTES INTRAMUROS	12
1.3 ASPECTOS TOXICOLÓGICOS ASOCIADOS A LOS ALDEHÍDOS POR INHALACIÓN	14
1.4 OBJETIVO DEL ESTUDIO	20
CAPÍTULO II	
MÉTODOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN	21
2.1 DISEÑO DEL MUESTREO	21
2.2 SITIOS DE MUESTREO	24
2.3 TÉCNICA DE MUESTREO	29
2.3.1 INSTRUMENTAL	29
2.3.2 MÉTODO DE MUESTREO	30
2.4 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS	31
2.4.1 MÉTODO ANALÍTICO	31
2.4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	33

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO III	
RESULTADOS	34
3.1 AMBIENTES INTRAMUROS	34
3.2 AMBIENTES EXTRAMUROS	38
3.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE FORMALDEHÍDO Y ACETALDEHÍDO EN INTRA Y EXTRAMUROS	50
3.4 CORRELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN DE ALDEHÍDOS Y TEMPERATURA AMBIENTE	55
3.5 RAZONES DE LA CONCENTRACIÓN DE ALDEHÍDOS DE INTRA Y EXTRAMUROS	59
3.6 ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN POR INHALACIÓN	60
CAPÍTULO IV	
DISCUSIÓN	68
4.1 AMBIENTES INTRAMUROS	68
4.2 AMBIENTES EXTRAMUROS	71
4.3 RAZONES INTRAMUROS / EXTRAMUROS	74
4.4 EXPOSICIÓN	74
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXO 1 BASE DE DATOS DE LOS ALDEHÍDOS MUESTREADOS	86
ANEXO 2 CROMATOGRAMAS DE RESULTADOS	94

	Páginas:	
TABLA 1	Propiedades físicas de los aldehídos estudiados	7
TABLA 2	Límites permisibles de exposición ocupacional	15
TABLA 3	Concentraciones de formaldehído en ambientes ocupacionales	17
TABLA 4	Toxicidad subcrónica por exposición a inhalación de formaldehído	19
TABLA 5	Toxicidad aguda por exposición debido a formaldehído	20
TABLA 6	Características de los sitios de muestreo	24
TABLA 7	Media aritmética, desviación estándar, mínimas y máximas concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de los aldehídos determinados en ambientes intramuros	36
TABLA 8	Media aritmética, desviación estándar, mínimas y máximas concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de los aldehídos determinados en ambientes extramuros	39
TABLA 9	Valores de las razones de concentración de los aldehídos Intramuros/Extramuros	60
TABLA 10	Factores de exposición Environmental Protection Agency (EPA)	61
TABLA 11	Valores promedio de la dosis de exposición de formaldehído y aldehídos totales para Adultos en ambientes intramuros y extramuros Sitios 1 y 2 (Satélite y Tlalnepantla). Casa habitación	65



Tabla 12	Valores promedio de la dosis de exposición de formaldehído y aldehídos totales para Adultos en ambientes intramuros y extramuros Sitios 6 y 7 (Oficina centro y Oficina sur) Ambientes ocupacionales	66
TABLA 13	Valores promedio de la dosis de exposición de formaldehído y aldehídos totales para Adultos en ambientes intramuros y extramuros Sitio 8 (Centro de Ciencias de la Atmósfera). Ambientes ocupacionales	67
TABLA 14	Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Muestreados en ambientes intramuros y extramuros Sitio 1. (Casa Satélite), zona norte	87
TABLA 15	Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Muestreados en ambientes intramuros y extramuros Sitio 2. (Casa Tlalncpantla), zona norte	88
TABLA 16	Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Muestreados en ambientes intramuros y extramuros Sitio 3. (Museo Universum), zona sur	89
TABLA 17	Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Muestreados en ambientes intramuros y extramuros Sitio 4. (Museo Templo Mayor), zona centro	90
TABLA 18	Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Muestreados en ambientes intramuros y extramuros Sitio 5. (Museo Xalapa, Ver).	91

TABLA 19	Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	Muestreados en ambientes intramuros y extramuros	
	Sitio 6. (Oficina centro)	92
TABLA 20	Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	Muestreados en ambientes intramuros y extramuros	
	Sitio 7. (Oficina sur),	92
TABLA 21	Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	Muestreados en ambientes intramuros y extramuros	
	Sitio 8. (Centro de Ciencias de la Atmosférica), zona sur	93

Páginas:

FIGURA 1	Concentraciones de aldehídos en diferentes Ambientes	10
FIGURA 2	Modelo de compartimiento individual en casas con espuma urca-formaldehído	13
FIGURA 3	Localización de los sitios muestreados	25
FIGURA 4	Localización del sitio de muestreo en Xalapa, Ver. Museo Antropología	27
FIGURA 5	Analizador automático utilizado en la campana de muestreo	29
FIGURA 6	Cartuchos Sep-Pak DNPH-Silica, utilizados en el muestreo de aldehídos	30
FIGURA 7	Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados. Sitio 1 (Casa Satélite)	42
FIGURA 8	Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados. Sitio 2 (Casa Tlalnepantla)	43
FIGURA 9	Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados. Sitio 3 (Museo Universum)	44
FIGURA 10	Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados. Sitio 4 (Museo Templo Mayor)	45
FIGURA 11	Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados. Sitio 5	

(Museo Xalapa, Ver.)	46
FIGURA 12 Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados. Sitio 6 (Oficina centro)	47
FIGURA 13 Variación horaria y concentración relativa de los aldehídos muestreados. Sitio 7 (Oficina sur)	48
FIGURA 14 Variación horaria y concentración relativa de los aldehídos muestreados. Sitio 8 (Centro de Investigación)	49
FIGURA 15 Diagrama de dispersión para los datos de de casas en ambientes intramuros y extramuros sitios 1 y 2 (Satélite y Tlalnepantla)	52
FIGURA 16 Diagramas de dispersión para los datos de museos en ambientes intramuros y extramuros sitios 3 y 4 (Universum y Templo Mayor)	53
FIGURA 17 Diagramas de dispersión para los datos de oficinas en ambientes intramuros y extramuros sitios 6 y 7 (Oficina centro y Oficina sur)	54
FIGURA 18 Diagramas de dispersión entre concentración de aldehídos y temperatura ambiente sitios 1 y 2 (Satélite y Tlalncpantla)	56
FIGURA 19 Diagrama de dispersión entre concentración de aldehídos y temperatura ambiente sitios 3 y 4	

(Universum y Templo Mayor)	57
FIGURA 20 Diagramas de dispersión entre concentración de aldehídos y temperatura ambiente sitios 6 y 7 (Oficina centro y Oficina sur)	58
FIGURA 21 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 1 (Casa Satélite) intramuros	95
FIGURA 22 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 1 (Casa Satélite) extramuros	96
FIGURA 23 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 2 (Casa Tlalnepantla) intramuros	97
FIGURA 24 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 2 (Casa Tlalnepantla) extramuros	98
FIGURA 25 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 3 (Museo Universum) intramuros	99
FIGURA 26 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 3 (Musco Universum) extramuros	100
FIGURA 27 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 4 (Museo Templo Mayor) intramuros	101
FIGURA 28 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 4 (Musco Templo Mayor) extramuros	102
FIGURA 29 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 5 (Museo Antropología) intramuros	103
FIGURA 30 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 5 (Museo Antropología) extramuros	104
FIGURA 31 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 6 (Oficina centro) intramuros	105



FIGURA 32 Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 6

(Oficina centro) extramuros

106

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## RESUMEN

Se realizaron mediciones de formaldehído, acetaldehído, propionaldehído y butiraldehído en ambientes intramuros y extramuros en los siguientes sitios: dos casas habitación, dos museos, una oficina y un centro de investigación, en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Los sitios en general, carecen de sistema de aire acondicionado. Se seleccionó un museo localizado en la Cd. de Xalapa, Ver., como sitio de referencia.

Este trabajo presenta el valor de la media, mínimos, máximos y desviaciones estándar de las concentraciones de los cuatro aldehídos estudiados, las horas y los días en que se encontraron los valores máximos. Los resultados sugieren que las concentraciones en ambientes intramuros son mayores que en extramuros; el aldehído que mostró las mayores concentraciones en exteriores fue el formaldehído en un periodo de tiempo de 10:00 a 14:00 h, una menor variación horaria fue observada en intramuros. Se observó diferencia estadística significativa con valores más altos en ambientes intramuros.

Las razones Interior/Exterior (I/E) de los aldehídos medidos fueron  $>1$ , con excepción del acetaldehído medido en el Museo de Antropología de Xalapa Ver., con un valor de 0.84.

Las concentraciones promedio de exposición calculadas para formaldehído y aldehídos totales se expresan en dosis de exposición (PD), calculadas en ambientes intramuros y extramuros para dos casas habitación, dos oficinas de uso general y un centro de investigación. Se discuten los efectos tóxicos de los aldehídos dando mayor énfasis al formaldehído por ser éste el más ampliamente estudiado a causa de sus efectos tóxicos en diferentes sistemas biológicos, incluyendo al hombre.

Se analizan los resultados para cada lugar de muestreo en función de sus características: ventilación, materiales de construcción, fuentes internas y actividades de los ocupantes.



## INTRODUCCIÓN

En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la contaminación atmosférica es uno de los problemas que más relevancia ha tenido en la actualidad. A través de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la Ciudad de México, se realizan mediciones de los contaminantes considerados como los de mayor impacto ambiental, desde el punto de vista de la salud de los habitantes, de las fuentes emisoras y de su reactividad atmosférica (Stupfel, 1976; Roussel, 1983; Carlier P. and G. Mouvier, 1986; Bravo *et al.*, 1990; Luce *et al.*, 1993; Báez *et al.*, 1995, 1995)

El caso que nos ocupa son los aldehídos, compuestos orgánicos, que participan en reacciones fotoquímicas y en los procesos de formación de "**smog**" fotoquímico en zonas urbanas, rurales y marítimas (Zafiriou *et al.*, 1980; Thompsom, 1980; Haszpra *et al.*, 1991), son fuentes de radicales libre como productos de la fotooxidación de los hidrocarburos en fase gaseosa, los compuestos formados producen junto con el radical  $\bullet\text{OH}$ , cantidades substanciales de radicales de  $\text{HO}_2$ ,  $\text{RO}_2$ ,  $\text{RC}(\text{O})\text{O}_2$  y  $\text{RC}(\text{O})\text{OONO}_2$  (Grosjean, 1982, Altshuler, 1993).

Dos aspectos de interés por los cuales los aldehídos son tan estudiados, se comentan a continuación

- Los diversos efectos que tienen sobre la salud, en los habitantes de las urbes con atmósfera contaminadas, debido a su permanencia en el aire ambiente, en el que el parámetro de medición es la formación del "**smog**" fotoquímico (Finlayson-Pitts and Jr, 1986)

- Actúan como iniciadores matutinos e incrementan la velocidad de fotooxidación de los hidrocarburos en fase gaseosa, siendo los productos de oxidación los precursores de ozono.

Las alteraciones que más se han detectado por la exposición a formaldehído y acetaldehído son irritación de ojos, nariz, garganta y vías respiratorias (Carlier *et al* , 1986, Luce *et al* , 1993, Zhang *et al* , 1994, Williams *et al* , 1996). La contaminación en ambientes intramuros juega un papel importante en individuos expuestos a estos contaminantes, ya que pasan la mayor parte de su tiempo en estos ambientes

Algunas de las fuentes más importantes de aldehídos en intramuros son las emisiones directas de los productos de madera, alfombras, humo del cigarro, la combustión del gas doméstico, etc. (Gérin *et al* , 1989, Merletti *et al* , 1991; Goldoft *et al* , 1993)

Por las razones anteriormente expuestas y por la importancia intrínseca que representan estos compuestos, se determinaron simultáneamente las concentraciones de formaldehído, acetaldehído, propionaldehído y butiraldehído, en diferentes localizaciones de la ZMVM, en el periodo comprendido de 1996 a 1998.

## CAPÍTULO I

### ANTECEDENTES

La contaminación atmosférica es un problema agudo y complejo que ha crecido considerablemente en México en los últimos cincuenta años. Los contaminantes que monitorea la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) son: ozono ( $O_3$ ), óxidos de azufre ( $SO_x$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas totales (PST) y partículas  $PM_{10}$ , así como: plomo (Pb), manganeso (Mn), hierro (Fe), cromo (Cr) y cadmio (Cd).

La presencia de los aldehídos en la atmósfera de la ZMVM fue detectada en estudios realizados por instituciones de Investigación como el Centro de Ciencias de la Atmósfera, de la Universidad Nacional Autónoma de México (Bravo *et al.*, 1988; Báez *et al.*, 1995, 1995) y en las campañas de muestreo de la RAMA y del Estudio Global de la Calidad del Aire, coordinado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP, 1994).

Estas investigaciones se complementan con los datos proporcionados por la RAMA, que incluyen información meteorológica y de radiación solar ultravioleta (UV), con la finalidad de determinar y comprender las variaciones en las concentraciones de estos compuestos y su comportamiento fotoquímico, buscando la posibilidad de establecer la asociación causa-efecto de los aldehídos con los trastornos a la salud que presenta la población expuesta

La asociación directa de algunos contaminantes con los riesgos biológicos a la población, se ha podido reconocer en episodios graves, como en el caso de la niebla sulfurosa y de negro de humo (carbón), en Londres, 1952, debido a una inversión térmica prolongada por varios días (Fleisher y Nayeri, 1991)

## **1.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ALDEHÍDOS**

### **PROPIEDADES FÍSICAS**

La Tabla 1, muestra las propiedades físicas más importantes de los aldehídos.

#### ***PUNTO DE EBULLICIÓN***

Los aldehídos tienen capacidad de asociación molecular por la polaridad del grupo carbonilo. Por esta razón, sus puntos de ebullición son más elevados que los de los hidrocarburos, pero menores que los de los alcoholes de peso molecular similar.

#### ***SOLUBILIDAD***

Los compuestos más pequeños de cada serie en que predomina la polaridad del grupo carbonilo sobre la no polaridad de la parte hidrocarbonada, son solubles en agua. A esto contribuye también el hecho de que los pares de electrones en el oxígeno carbonílico puedan servir para la formación de puentes de hidrógeno con la molécula de agua. A medida que aumenta el tamaño de la parte no polar, disminuye dicha solubilidad.

#### ***PUNTO DE FUSIÓN***

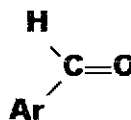
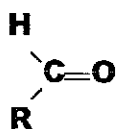
El punto de fusión depende como en todas las sustancias, de todos los factores que influyen en la capacidad de acomodo de las moléculas en una red cristalina y de la magnitud de la fuerza de atracción entre las moléculas de esa red. Los factores más importantes son el tamaño, la forma y la polaridad de los compuestos.

Nombre	Fórmula	Punto de Fusión (°C)	Punto de Ebullición (°C)	Peso Específico (líquidos)
Formaldehído	CH <sub>2</sub> =O	-19 °C	-92 °C	0.848
Acetaldehído	CH <sub>3</sub> -CH=O	-21 °C	-123 °C	0.788
Propionaldehído	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CH=O	-81 °C	49 °C	0.805
Butiraldehído	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH    O	-99 °C	74 °C	0.870

**Tabla 1.** Propiedades físicas de los aldehídos estudiados (Miksch *et al* , 1981).

## PROPIEDADES QUÍMICAS

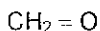
Los aldehídos alifáticos constituyen un grupo de compuestos orgánicos caracterizados por tener un grupo carbonilo ( $C=O$ ), unido a un hidrógeno y a un grupo alquilo o arilo, en el caso de los aldehídos y a dos grupos alquilo o arilo, en el caso de las cetonas. Dentro de este grupo se encuentran compuestos de cadena lineal o bien ramificados. También se tienen indicios de compuestos que tienen dos grupos funcionales ya sean di-aldehídos, hidroxi-aldehídos y con grupos ácidos



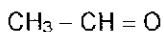
La reactividad de los aldehídos alifáticos se asocia con la capacidad del grupo carbonilo para polarizarse, adoptando cargas parciales en el carbono ( $\delta^+$ ) y en el oxígeno ( $\delta^-$ ) (McMurry, 1985)

Se nombran de acuerdo a la Analytical Chemistry Division Commission of Analytical Nomenclature y a la Unión Internacional de la Química Pura y Aplicada, 1974, (por sus siglas en inglés, IUPAC), cambiando la terminación **o** del hidrocarburo correspondiente, por la terminación **al**. El carbono, con el grupo aldehído, se considera 1 para la numeración

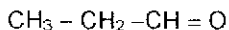
**EJEMPLOS:**



Metanal



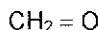
Etanal



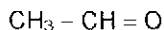
Propanal

Una nomenclatura trivial consiste en derivar el nombre del ácido correspondiente, con la terminación aldehído

**EJEMPLOS:**



Formaldehído

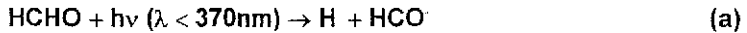


Acetaldehído



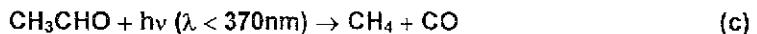
Benzaldehído

En la atmósfera, los aldehídos son descompuestos a causa de la radiación solar en el cercano ultravioleta, por ejemplo, el formaldehído sigue dos caminos de fotólisis como se expresa en las ecuaciones **(a)** y **(b)**.

**Formaldehído:**

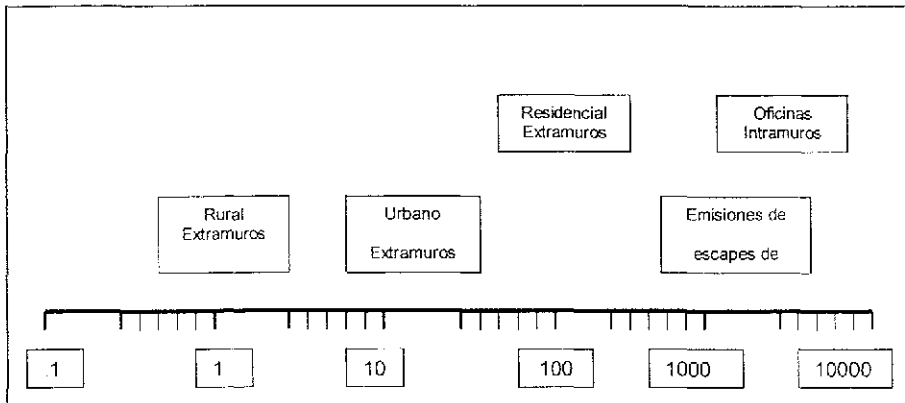
Donde **(a)** produce átomos de hidrógeno y radicales formilo que reaccionan rápidamente con  $\text{O}_2$  para formar el radical  $\text{HO}_2$  y **(b)** produce una molécula de hidrógeno y otra de monóxido de carbono

Para el acetaldehído los caminos primarios de disociación son los siguientes

**Acetaldehído:**

Estas reacciones también producen radicales libres, metano, monóxido de carbono y un átomo de hidrógeno, que posteriormente interviene en una serie de reacciones.

De los carbonilos alifáticos, el formaldehído es el que más ampliamente se ha estudiado y las concentraciones detectadas en ambientes urbanos son de 100 ppb y en ambientes rurales de 1 ppb, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Concentraciones de formaldehído en diferentes ambientes (ppb) (Waters, 1994). Care and use Manual

## 1.2 FUENTES DE EMISIÓN DE LOS ALDEHÍDOS

### 1.2.1 AMBIENTES EXTRAMUROS

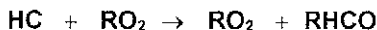
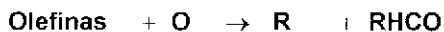
En 1940, la Ciudad de México tenía 48 mil vehículos, 680 mil en 1970, un millón en 1975 y más de tres millones de automotores en 1995. En 45 años, el número de unidades se multiplicó a tasas cercanas al 10% anual. Fuente (Comisión Metropolitana para la Prevención y el Control de la Contaminación en el Valle de México, 1995) Con un parque vehicular en crecimiento y un limitado control de emisiones industriales y vehiculares, la Cd. de México se considera una de las urbes más contaminadas del mundo. En el 2010, la tendencia de crecimiento vehicular será igual a la demográfica. Fuente (Depto. del Distrito Federal, Dir. Gral de Ecología, 1994).

Los aldehídos son importantes como productos de oxidación de casi todos los hidrocarburos presentes en el aire, se emiten directamente a la atmósfera por vehículos con motor de combustión interna, tanques de almacenamiento de gasolina, incineradores, calderas y procesos petroquímicos e indirectamente como productos de la fotooxidación de los hidrocarburos en fase gaseosa; son precursores de aerosoles orgánicos como los óxidos y los ácidos de nitrógeno (Isidorov *et al.*, 1985; Carlier *et al.*, 1986, Anderson *et al.*, 1996; Grosjean, 1998)



El uso de aditivos como el éter-metil-terbutílico (MTBE) y éter-metil-teramílico (TAME) o combustibles como el metanol y etanol incrementan las emisiones directas de los aldehídos de C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> y de una gran variedad de compuestos orgánicos volátiles (Schetzele *et al.*, 1992). Los combustibles a base de una mezcla de metanol (15%) y gasolina (85%) incrementan la emisión de precursores de ozono (Grosjean *et al.*, 1998). Por ejemplo, en Brasil, el alcohol etílico es usado como combustible en automóviles y los niveles de acetaldehído se han incrementado debido al uso de este alcohol (Grosjean *et al.*, 1998).

El problema con el gas LP (licuado de propano 70%) es su fotoreactividad, se emite a la atmósfera aproximadamente 20% de hidrocarburos por fugas en instalaciones domiciliarias y comerciales en México. El gas LP es una fuente de aldehídos debido a que los butanos y olefinas (por ejemplo, etileno, propileno y butileno) son más fotoreactivos que el propano.



Las fuentes naturales como los bosques de coníferas, encino, pastizales y matorrales xerófilos, emiten cantidades de especies oxigenadas como los aldehídos durante el proceso de fotosíntesis o por la degradación de materia orgánica, debida a la acción de bacterias. La emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) como el isopreno, terpeno y monoterpenos, reaccionan rápidamente con el ozono y el radical oxhidrilo (OH), estos compuestos son dos oxidantes presentes en la atmósfera (Utiola and Koivusalo, 1979; Kimmerer and MacDonald, 1987; Giese *et al.*, 1995).

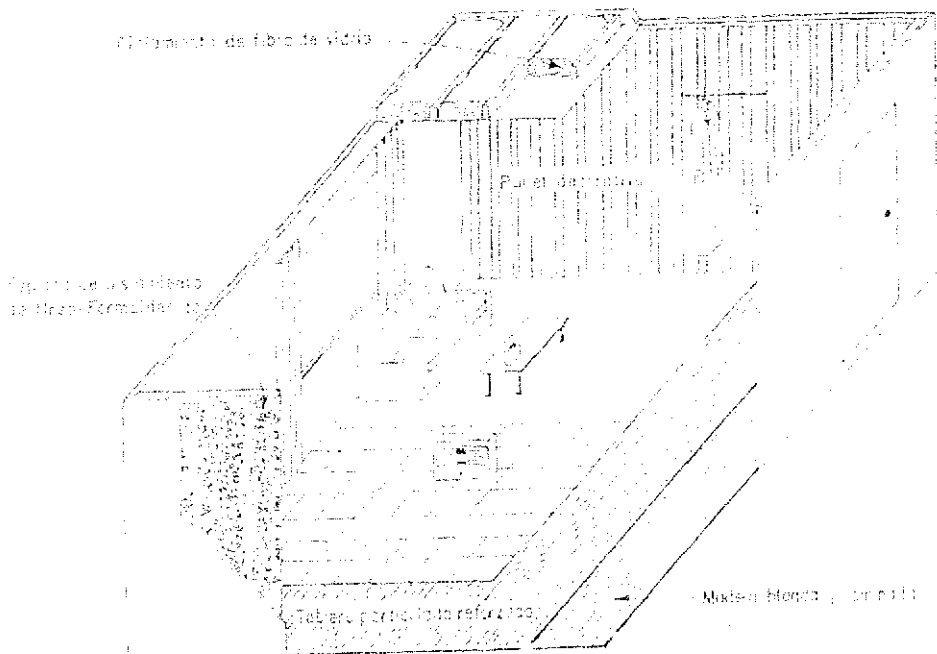
Los árboles de encino, eucalipto y pinos, aproximadamente emiten a la atmósfera formaldehído (9%), metilvinilcetona (3%), metacroleína (12%) y metilglyoxal (1%) que representan el 25 % de las emisiones de estas especies de árboles (Tingey *et al.*, 1991; Guenther *et al.*, 1994; Drewitt *et al.*, 1998; Kreuzwieser *et al.*, 1999).

### **1.2.2 AMBIENTES INTRAMUROS**

El problema de la contaminación en ambientes interiores lo originan diversos factores, entre ellos la cantidad y la variedad de las fuentes emisoras, por ejemplo, los aldehídos son emitidos por el uso de pinturas vinílicas, barnices, pesticidas, tapices de muebles hechos con fibras sintéticas, líquidos para conservar especímenes, pasta de formaldehído y formocresol utilizados en odontología; en la limpieza de pisos como germicidas en museos, hospitales, laboratorios (WHO, 1989), alfombras, materiales de construcción, limpiadores de aire electrostáticos y máquinas fotocopiadoras que trabajan con luz ultravioleta (Zweing, 1992).

La ventilación, temperatura y humedad, son factores críticos en la determinación de los niveles de concentración de los aldehídos, además de la edad de las fuentes internas de emisión (Preuss *et al.*, 1985; Sosa, 1991).

Con relación a los materiales de construcción el formaldehído es el contaminante más ampliamente estudiado. La Figura 2 muestra el uso de la espuma urea-formaldehído como material aislante en la construcción de casas y oficinas, en Toronto, Canadá, donde las condiciones climáticas de temperatura durante el año son extremas. El grado con el que el formaldehído es emitido por la espuma urea-formaldehído está directamente relacionado con la composición de la resina precursora, que es una función de las condiciones de fabricación (Sosa, 1991), el valor promedio encontrado es de  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , disminuyendo exponencialmente con el tiempo.



**Figura 2.** Modelo del compartimento individual en casas habitacionales de espuma urea-formaldehído.

Otra fuente de emisión directa de aldehídos en ambientes intramuros en México, es el gas LP, constituido por 70 % de propano y una mezcla de butano, isobutano, propileno y butileno, debido a la baja eficiencia de combustión de estufas y calentadores

Es importante mencionar que el humo del cigarro, también contribuye en intramuros a las concentraciones de formaldehído. Además de que se ha detectado niveles superiores a los  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de formaldehído, el humo del cigarro se difunde rápidamente en el ambiente, estando por consiguiente presente en sitios alejados del fumador, lo que constituye un riesgo adicional para el fumador pasivo (Muramatsu *et al.*, 1990; Lewis and Zwindinger, 1992)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **1.3 ASPECTOS TOXICOLÓGICOS ASOCIADOS A LOS ALDEHÍDOS POR INHALACIÓN**

El tracto respiratorio es la puerta de entrada y el que recibe el primer impacto de todos los contaminantes del aire, esta característica hace que se enfrente cotidianamente con diversas condiciones y sustancias que producen alteraciones en su estructura y/o función. Es importante considerar la respiración a través de la nariz, ya que la nariz filtra aproximadamente el 90 % de algunos contaminantes, antes de que alcance las áreas más susceptibles de los pulmones. La respiración por la boca tiene menos vías de filtración natural del aire, permitiendo a los contaminantes un acceso más directo hacia los pulmones (WHO, 1989).

Aunque el cuerpo humano generalmente tolera concentraciones elevadas en el aire de compuestos no carcinogénicos, se ha visto que interfieren en la captación normal de oxígeno por el cuerpo, sobre todo cuando el oxígeno disponible es limitado (Boreiko *et al.*, 1983; Calvert *et al.*, 1993).

El patrón de exposición de una persona a un contaminante, depende de tres factores.

- a) El tiempo que la persona pasa en diferentes microambientes (casa, trabajo, escuela, automóvil y el autobús, etc.)
- b) La concentración del contaminante presente en cada una de los microambientes
- c) La tasa de inhalación de la persona, determinada por la edad, sexo y tipo de actividad que realiza (esfuerzo físico, marcha y sueño, etc)

Para un análisis formal de riesgo por exposición a los contaminantes atmosféricos, es necesario realizar mediciones en ambientes intramuros y extramuros y combinar necesariamente información sobre los patrones de actividad de cada individuo (Dalbey, 1982; Alexandersson *et al.*, 1989; Romieu, 1992). Tanto en ambientes intramuros como en extramuros, los efectos de los aldehídos en la salud, se complican por la presencia de otros contaminantes, tales como las partículas suspendidas y el bióxido de nitrógeno

En un estudio realizado en una fábrica de pinturas en New Jersey, se encontró que la función pulmonar en los trabajadores se vió afectada por la constante inhalación a vapores de formaldehído, durante el estudio que duro cinco días y tuvieron que pasar varios días para su recuperación (Williams *et al.*, 1996)

La Environment Protection Agency, 1992 (EPA), practicó un estudio a un grupo de 10 hombres adultos sanos expuestos a 0.12 ppm de formaldehído por 6.6 h; los resultados mostraron que la función pulmonar disminuyó y los síntomas (irritación ocular y olfatoria) se incrementaron después de 6 h de exposición.

Un trabajo de investigación realizado por la United States, National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) en 1992, publicó los valores de concentración permisibles por exposición a formaldehído en ambientes ocupacionales y reportaron los efectos adversos que tienen sobre la salud, debido a las concentraciones superiores registradas (Tabla 2)

País	Año	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Observaciones
México	1983	170.0	Tiempo promedio de exposición 8h.
Japón	1991	150.0	Tiempo promedio de exposición 8h. Posible potencial carcinogénico.
Francia	1991	137.0	Tiempo promedio de exposición 8h.
Australia	1991	150.0	Tiempo promedio de exposición 8h.
Estados Unidos	1991	130.0	Posible potencial carcinogénico.
Alemania	1993	149.0	Posible irritación del tracto respiratorio.

**Tabla 2.** Límites permisibles de exposición ocupacional a formaldehído. Fuente: United States, National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH, 1992).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La comunidad médica y científica, está preocupada por las lesiones potenciales que el formaldehído y el acetaldehído puedan causar a largo plazo. Asimismo, los trabajos de Romieu y colaboradores, han demostrado que la exposición de una a seis horas al formaldehído tiene efectos reversibles, es decir, continúan hasta que la exposición al formaldehído se interrumpe (Friedman *et al* , 1983; Grimaldi *et al* , 1997)

En algunos ambientes ocupacionales se han encontrado concentraciones mayores a  $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de formaldehído, parámetro considerado como la concentración máxima permisible para la American Industrial Hygiene Association (AIHA)

Como resultado de exposiciones a formaldehído por encima de los límites permisibles en ambientes ocupacionales y domésticos son: irritación de ojos, faringe y tracto respiratorio. Esta irritación se ha detectado aún a concentraciones menores de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estudios epidemiológicos sobre el formaldehído, sugieren que el umbral para causar alteraciones a nivel tisular es de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Romieu, 1992)

La incidencia de concentraciones altas en industrias de alto riesgo, ocasiona trastornos graves, por ejemplo, el formaldehído a niveles de exposición hasta de  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por un periodo no mayor de 12 meses, provoca irritación de ojos, mareos y náuseas. Cuando se ha estado expuesto a concentraciones de  $1000$  y hasta  $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante un periodo de 6 h, los síntomas que se presentan son cefalea, náuseas, irritación nasal y ojos (Zhang *et al* , 1994; Heck *et al* , 1995).

Estudios realizados en ambientes ocupacionales, demostraron que empleados y trabajadores de la industria de la construcción, de fábricas manufactureras de resinas (espuma de urea-formaldehído), de maderas comprimidas y pinturas, están expuestos a concentraciones de formaldehído que van de  $500$  a  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , como se aprecia en la Tabla 3, lo que puede provocar efectos epidemiológicos como sinusitis y cáncer nasofaríngeo (Green *et al* , 1989; Risby *et al* , 1990; Morgan *et al* , 1991, Heck *et al* , 1995).

Industria	Año	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Referencia
Manufactura de resinas	1983 - 1984	500	Rosén <i>et al.</i> , 1984
Fábrica de pinturas	1985 - 1987	800	Priha <i>et al.</i> , 1988
Fábrica de aerosoles	1980 - 1988	1300	Triebig <i>et al.</i> , 1989
Laminación de papel	1980 - 1988	900	Triebig <i>et al.</i> , 1989
Industria de la construcción	1981 - 1986	900	Stewart <i>et al.</i> , 1991
Producción de urea-formaldehído	1981 - 1986	500	Stewart <i>et al.</i> , 1992

**Tabla 3.** Concentraciones de formaldehído en ambientes ocupacionales.

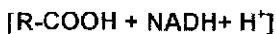
Los estudios de mutagenicidad, genotoxicidad y citotoxicidad de los aldehídos es prioritario en las investigaciones relacionadas con problemas de salud pública. Siendo las alteraciones del material genético de indudable significado en la etiología de diversos tipos de cáncer. La valoración de la genotoxicidad a través de sistemas de detección, revelan cambios genéticos con alta sensibilidad y especificidad, por ser rápidos y fáciles de desarrollar, comparados con las pruebas que dependen aún de la formación de tumores y de hallazgos teratológicos en animales de laboratorio (Grafstrom *et al.*, 1995, Schmid *et al.*, 1996, Yager *et al.*, 1996)

Como sistemas de prueba a corto plazo, los métodos citogenéticos, se aplican directamente a células humanas para la evaluación de la genotoxicidad. El análisis de aberraciones cromosómicas en grupos de riesgo expuestos a vapores de formaldehído, es una herramienta importante para detectar posible daño genético de origen ambiental en el hombre (Bender *et al.*, 1983, Paustenbach *et al.*, 1990, Harris, J.C., B.H. Rumark and F.D. Aldrich, 1991), otros sistemas de prueba estudiados para el formaldehído han sido bacterias, hongos y linfoma de ratón

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El análisis citogenético de poblaciones ocupacionalmente expuestas, debe considerarse como un método útil de detección y control de condiciones ambientales adversas, incluyendo la actividad mutagénica en ciertos estilos o hábitos de vida, este análisis puede ser útil para detectar individuos de "**alto riesgo**" dentro de poblaciones y establecer niveles seguros de exposición (Sturges *et al.*, 1991). Estos estudios tienen como objetivo, establecer la asociación causa-efecto de los diversos contaminantes con los trastornos a la salud de la población expuesta (Sturges *et al.*, 1991; Zweig, 1992, Calvert *et al.*, 1993; Rosas *et al.*, 1995).

El formaldehído atraviesa fácilmente las membranas biológicas y su actividad como agente genotóxico, se debe a la formación de un complejo intermedio en DNA.



La oxidación del formaldehído genera cambios irreversibles en la molécula del DNA (Casanova *et al.*, 1991, 1995).

El análisis de aberraciones cromosómicas en especies de ratas *Fisher 344*, fue realizado para detectar el posible daño genético que pudieran sufrir personas expuestas a concentraciones altas de formaldehído (Alderson, 1996). Factores como el periodo de exposición, la variación en las concentraciones y los efectos sinérgicos pueden interferir en la interpretación de los resultados en muestras de origen microbiológico. Por ejemplo, cuando el periodo de incubación es de 72 h, existe la posibilidad de que aberraciones cromosómicas no se hayan producido en la exposición *in vivo*, es decir, que se desarrollen en el cultivo por la presencia de formaldehído en el ambiente (Grafstrom *et al.*, 1995)



En experimentos controlados en el laboratorio con animales expuestos a concentraciones de formaldehído de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  o mayores, por periodos hasta de una semana, reportan daño sobre las células de las vías aéreas en el pulmón, provocando inflamación (Kerns *et al* , 1983) Paralelamente, el potencial carcinogénico también se ha probado en experimentos realizados con ratas, exponiéndolas a concentraciones variables de vapores de formaldehído, en cámaras de exposición controlada como se indica en la Tabla 4.

Especie ratas Fisher 344	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	Observaciones
Rata-inhalación 5 d/4 sem (6h/d)	3	No hubo efecto adverso
5 d/4 sem (6h/d)	16-100	Inhibición de anticuerpo
Rata-inhalación		
22h/d X 90 d	1.6	No hubo efecto adverso
22h/d X 45 d	4.5	Disminución de peso
22h/d X 60 d	8	Disminución de peso Irritación de ojos
Ratones-inhalación		
6h/d, 5d/sem X 13sem	12.7	Disminución del peso corporal
1h/d, 3d/sem X 35sem	82	Metaplasia / células escamosas
1h/d, 3d/sem X 11sem	161	Muerte

**Tabla 4.** Toxicidad subcrónica en ratas por exposición a inhalación de formaldehído. h= hora, d=día, sem=semana

Estas investigaciones muestran que el formaldehído es un agente irritante para el sistema respiratorio, disminuyendo la capacidad de defensa, así como la velocidad con que el sistema reacciona a diferentes estímulos (inflamación en el tejido pulmonar,

formación de carcinoma nasal y aumento de la mortalidad en ratas), lo que indica que a la concentración letal (LC<sub>50</sub>), estos son capaces de modificar los mecanismos bioquímicos de un individuo, cuando se está expuesto aguda o crónicamente. Tabla 5. (Woutersen *et al.*, 1987, Romieu, 1995)

Exposición	Especie	Dosis ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Respuesta
Inhalación	Ratas ( <i>Wistar</i> )	8200 x 30 min	LC <sub>50</sub>
Inhalación	Ratas ( <i>Fisher 344</i> )	4820 x 4 h	LC <sub>50</sub>
Inhalación	Ratones	4140 x 4 h	LC <sub>50</sub>

**Tabla 5.** Toxicidad aguda en ratas por exposición debido a formaldehído  
h= horas      min=minutos

#### 1.4. OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo de esta investigación es cuantificar y determinar las concentraciones en ambientes intramuros y extramuros del formaldehído, acetaldehído, propionaldehído y butiraldehído, en tres zonas diferentes de la Ciudad de México, distribuidas en zona norte, sur y centro, para la evaluación de la calidad del aire.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPÍTULO II**

### **MÉTODOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1 DISEÑO DEL MUESTREO**

De acuerdo al objetivo planteado en esta investigación, los muestreos se realizaron en forma simultánea en ambientes intramuros y extramuros en zonas localizadas en el norte, sur y centro de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) Se seleccionó la ciudad de Xalapa, Ver., como sitio de referencia, al tomarse en cuenta que la ciudad no tiene industrias y la densidad de tránsito vehicular es baja

La contaminación del aire en ambientes interiores es preocupante, debido a que las personas transcurren la mayor parte de su tiempo en estos sitios, el muestreo se realizó en casas habitación, oficinas y museos, bajo diferentes criterios de monitoreo ambiental

#### ***CASAS HABITACIÓN***

Se consideró la realización del muestreo en casas habitación, porque permite evaluar la calidad del aire donde se encuentran expuestas amas de casa y niños que pasan la mayor parte de su tiempo en estos ambientes, siendo estos últimos los más sensibles a los diversos contaminantes encontrados.

Es importante señalar que de inicio, se diseñó esta metodología pensando en monitorear casas con características similares de construcción, presentándose el problema de que en ocasiones el acabado y los materiales de construcción son seleccionados por los propietarios de estas. Como se mencionó anteriormente, las concentraciones de los contaminantes varían de acuerdo a las características de construcción, ubicación de los sitios de estudio, número de habitantes y de las fuentes internas existentes (alfombras, tipo de pintura dentro de la casa y tipo de muebles, etc ),

además de considerar las diversas actividades de los residentes (cocinan durante el día, fuman, si tienen suficiente y adecuada ventilación, etc )

## **MUSEOS**

El ambiente interior de los museos no es la excepción, existen fuentes internas de emisión de contaminantes que en conjunto con los del aire exterior, llegan a incrementar los niveles de contaminación hasta el grado en que pueden convertirse en un peligro para los empleados y las obras de arte que ahí se exhiben. Estudios realizados en la Galería Nacional de Londres (Brimblecombe, 1990), sobre atmósferas de museos, reportaron que la decoloración de los textiles está dada por la presencia de agentes oxidantes (Druzik *et al*, 1988) tales como formaldehído, ozono ( $O_3$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), además de que la temperatura y la humedad, que también provocan la decoloración en pigmentos de origen vegetal y sintético.

En nuestro país, no se han realizado estudios de la calidad del aire en ambientes intramuros, ni de los efectos que estos contaminantes causan sobre el patrimonio cultural de los museos. Por lo anterior, se realizó la medición de los niveles de aldehídos en museos

## **OFICINAS**

Se realizaron muestreos en oficinas tomando en cuenta que los empleados y trabajadores pasan en promedio 8 h en ambientes interiores, además de que las oficinas en general, carecen de un sistema de aire acondicionado o en caso de que éste exista, no se tiene un mantenimiento periódico que garantice el confort de los empleados, además de que no existe una área exclusiva para los empleados fumadores.

Como se mencionó anteriormente, el humo del tabaco es una fuente interna de emisión de aldehídos, que contribuye a las altas concentraciones de estos contaminantes, afectando a aquellas personas que no fuman o si fuman lo hacen en forma escasa.

Los contaminantes del aire exterior contribuyen al interior a través de puertas y ventanas, los materiales de construcción de los edificios en sí, son una fuente de contaminación, como por ejemplo, los materiales aislantes, la espuma de poliuretano, muebles de aglomerado de madera, fotocopiadoras, impresoras, sistemas de calentamiento de aire, materiales de limpieza y mantenimiento, etc. Otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta, es el uso continuo de productos de belleza utilizados por las empleadas: sprays, esmaltes, perfumes, etc.

### ***MUSEO DE ANTROPOLOGÍA, XALAPA, VERACRUZ***

El muestreo se realizó en el Museo de Antropología de Xalapa, Ver localizado al norte de la ciudad y a 5 km del centro de la capital, como sitio de referencia, ya que la ciudad está alejada de industrias y hay poco tránsito vehicular.

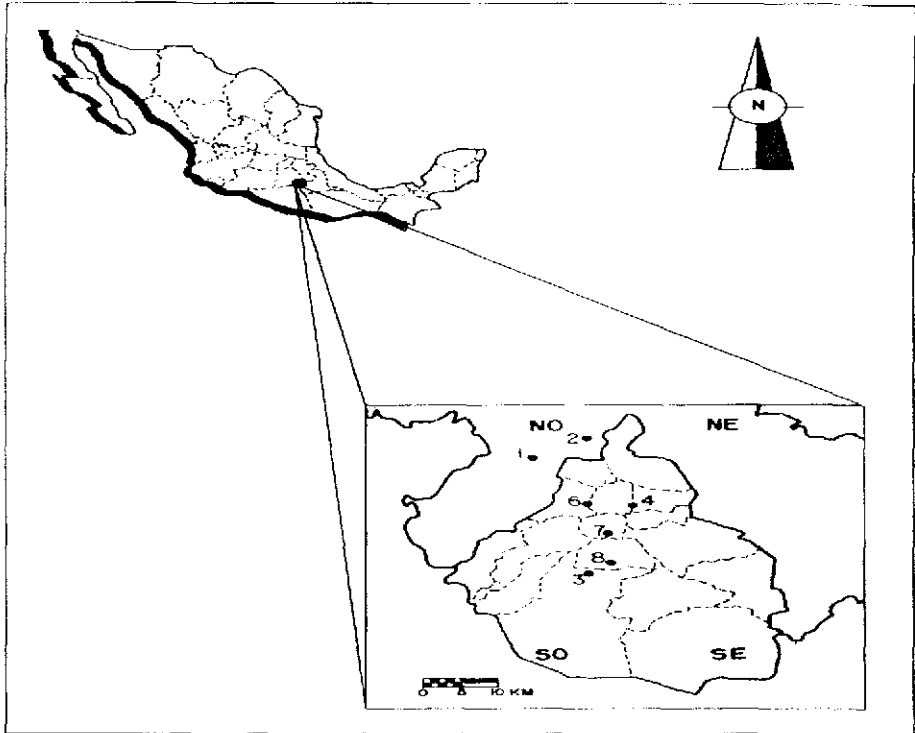
## 2.2 SITIOS DE MUESTREO

SITIO	VENTILACIÓN	CARACTERÍSTICAS	NÚMERO DE PERSONAS	HORARIO DE MUESTREO
Casa habitación Naucalpan, Edo de México (1)	Puertas y ventanas	2 niveles, paredes con pintura vinílica, pisos de granito, muebles de aglomerado de madera, cocina equipada con calentador y estufa (pilotos encendidos durante el día). No fuman.	8	8:00-18:00
Casa habitación Tlalnepantla, Edo. de México (2)	Puertas y ventanas	2 niveles, paredes con pintura vinílica, pisos de granito, muebles de aglomerado de madera y cocina equipada con calentador y estufa (pilotos encendidos durante el día). No fuman.	8	8:00-18:00
Museo Universum Cd Universitaria (3)	Puertas y ventanas	3 niveles, paredes con pintura vinílica, pisos alfombrados, vitrinas con paneles de madera No fuman	Variable, de 50 a 1000	9:00-17:00
Museo del Templo Mayor Zona Centro (4)	Puertas y ventanas	2 niveles, pisos de mármol, paredes con paneles de madera No fuman	Variable de 100 a 500	9:00-17:00
Museo de Antropología Xalapa, Ver (5)	Puertas y ventanas	2 niveles, pisos de mármol, paredes con paneles de madera No fuman	Variable de 500 a 750	9:00-17:00
Oficina pública Zona Centro (6)	Puertas y ventilas	3 niveles, paredes con paneles de madera, pisos alfombrados, muebles de aglomerado de madera Aproximadamente 11 personas fuman.	25	8:00-14:00
Oficina Pública Zona Sur (7)	Puertas	2 niveles, paredes y pisos de madera barnizada Si fuman	De 7 a 10	9:00-17:00
Centro de Investigación Cd. Universitaria (8)	Puertas y ventanas	2 niveles, paredes de granito, pisos de loseta vinílica, muebles de aglomerado de madera, hay 4 laboratorios, usan solventes y reactivos químicos No se fuma	Variable De 15 a 30	8:00-16:00

**Tabla 6.** Características de los sitios de muestreo

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) Figura 3, está localizada a una altitud promedio de 2240 m sobre el nivel del mar, a 19° 26' 13" latitud norte y 99° longitud oeste. Su extensión es de más de 2000 km<sup>2</sup> y se encuentra rodeada de complejos montañosos de origen volcánico, al oriente por la Sierra Nevada, sus cimas más elevadas sobrepasan los 5000 m, al sur por las serranías del Ajusco y Chichinautzin, que llegan a los 4000 m, al poniente la Sierra de las Cruces, que supera los 3000 m. La parte media de la cuenca bloqueada por la Sierra de Guadalupe, donde los cerros alcanzan los 2600 m

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Figura 3.** Localización de los sitios muestreados.

**A) Dos casas habitación:** ambas se seleccionaron al norte de la ZMVM, localizándose en Ciudad Satélite y Tlainepanitla, Edo de México (sitios 1 y 2 respectivamente). El muestreo se realizó de las 08.00 a 18.00 h, en intervalos de 2 h. Durante el día, el número de ocupantes fué variable, debido a que los residentes en general, salen a trabajar por las mañanas, regresando por la noche. Las cocinas están equipadas con estufas y calentadores que utilizan gas LP, los pilotos tanto de estufas como calentadores, permanecen encendidos todo el día, los alimentos son preparados 3 veces al día (por la mañana, tarde y noche). Las casas tienen pisos de vinilo y carecen de aire acondicionado,

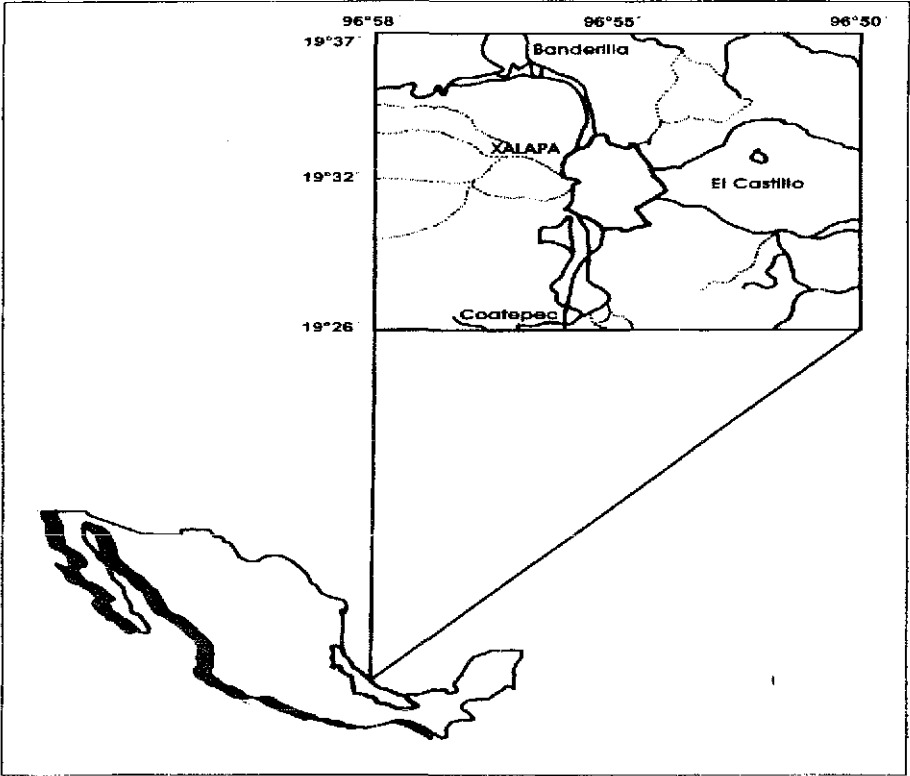
llevándose a cabo la ventilación a través de puertas y ventanas, como dato adicional los residentes no son fumadores

**B) Tres museos:** Universum (sitio 3), Templo Mayor (sitio 4), y de Antropología en Xalapa, Ver , (sitio 5) El muestreo se realizó de las 09:00 a 17:00 h., horario en que los museos permanecen abiertos a los visitantes. El Museo Universum está localizado al sur de la ZMVM en los campus de la Universidad Nacional, en un edificio con tres niveles, alfombrado en la mayoría de las salas, paredes pintadas con pintura vinílica y un gran número de vitrinas con paneles de madera. La ventilación en el edificio solo ocurre a través de puertas, ventanas y corredores. El museo está rodeado de jardines y cuenta con 2 estacionamientos con intenso tránsito vehicular.

El Museo del Templo Mayor es uno de los más importantes en México, localizado en el centro de la Ciudad de México, zona de densa actividad comercial y turística, se encuentra rodeado de calles con intenso tránsito vehicular. Es un edificio con dos niveles de gran superficie, los pisos son de mármol y carece de sistema de aire acondicionado, la ventilación se realiza a través de una sola puerta de acceso de aproximadamente 3 m de ancho. El museo posee grandes colecciones de cerámicas, piedras labradas, telas, pinturas y objetos que datan principalmente de la cultura Azteca, algunas de las telas y pinturas se encuentran en aparadores o vitrinas de cristal para la preservación y conservación de éstas obras, cuenta además con un área de mantenimiento en donde se almacenan y utilizan esmaltes, barnices, maderas y artículos de limpieza, necesarios para la conservación del museo



La Ciudad de Xalapa, Veracruz; Figura 4, presenta escasa actividad urbana, se localiza en las laderas orientadas de la Sierra Madre Oriental a 19.5° latitud norte y 96. 9° longitud oeste con una altitud promedio de 1427 metros sobre el nivel del mar. Debido en parte a su altitud, Xalapa tiene una precipitación pluvial anual promedio de 1454 mm, la cual es superior en un cuarta parte a la humedad de la planicie costera del Golfo de México



**Figura 4.** Localización del sitio de muestreo en Xalapa, Ver Museo de Antropología.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El Museo de Antropología de esta ciudad es un edificio con dos niveles, con pisos de mármol y paneles de madera, carece de sistema de aire acondicionado. El museo cuenta con grandes colecciones de cerámicas, piedras labradas, telas, pinturas y otros objetos que datan de la cultura Olmeca, algunas de las telas y pinturas se encuentran en aparadores o vitrinas de cristal para la preservación y conservación de éstas obras. La ventilación se realiza a través de las puertas de acceso al museo

**C) Dos oficinas:** la primera localizada en el centro (sitio 6) y la segunda en la zona sur (sitio 7) de la ciudad de México. Los muestreos se realizaron de las 08:00 a 14:00 h y de las 09:00 a 17:00 h, respectivamente. La primera, una casa habitación acondicionada para oficinas de tres niveles, ocupada por una agencia; la mayoría de los empleados son fumadores potenciales. Las paredes son de madera barnizada y los pisos alfombrados, la ventilación es por puertas y ventanas. Varias computadoras personales e impresoras son utilizadas para el desarrollo cotidiano de su trabajo.

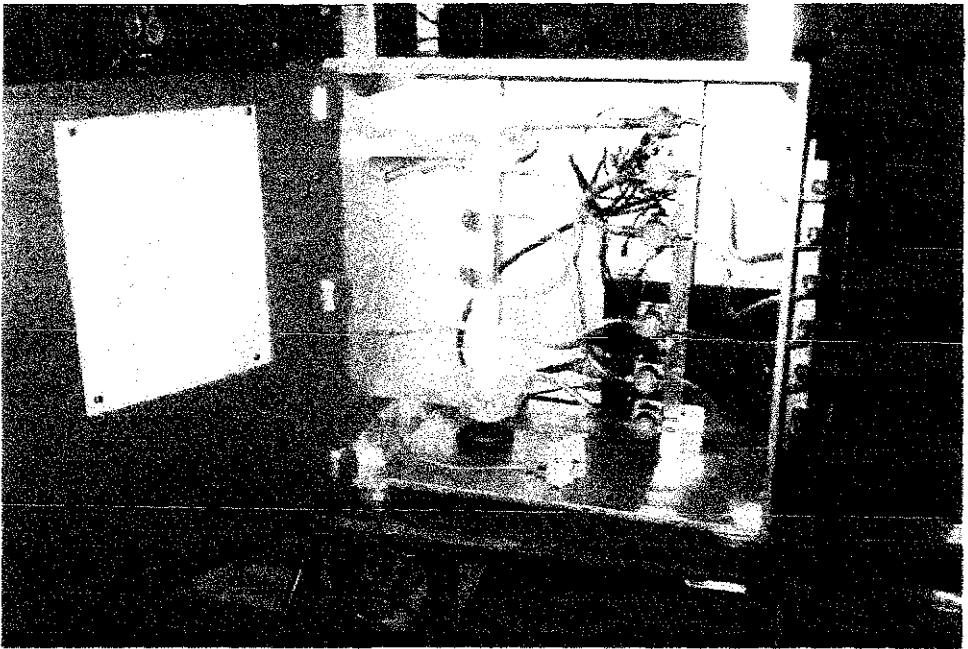
La segunda oficina, es una casa adaptada como oficina, sus paredes y pisos son de madera barnizada, no cuenta con sistema de aire acondicionado, la ventilación es a través de puertas y ventanas, está rodeada de avenidas de intenso tránsito vehicular y es una zona de gran actividad comercial. En esta oficina laboran 7 empleados de los cuales 5 empleados son fumadores potenciales, quienes estuvieron presentes durante el periodo de muestreo de las 09:00 a 17:00 h.

**D) Centro de Investigación:** se hizo un muestreo en el Centro de Ciencias de la Atmósfera al sur de la ciudad (sitio 8). Edificio con dos niveles, laboran 40 académicos y 30 administrativos, de los cuales sólo 11 fuman. La ventilación es sólo por puertas y ventanas. Existen cuatro laboratorios de físico-química, donde se manejan una gran variedad de disolventes y reactivos analíticos donde está prohibido fumar, un taller de electrónica y otro de mecánica, mas oficinas administrativas. En cada cubículo, oficina y laboratorio se tiene cuando menos una computadora personal y una impresora, los pisos son de loseta vinílica y las paredes de granito, el edificio carece de sistema de aire acondicionado. El muestreo se realizó de 08:00 a 16:00 h.

## 2.3 TÉCNICA DE MUESTREO

### 2.3.1 INSTRUMENTAL

Se utilizó para la campaña un muestreador automático con un mecanismo programable para 8 h de muestreo total, las mediciones se realizaron en periodos secuenciales de 2 h a un flujo de 1 L/min, el equipo está acoplado a dos bombas de vacío marca GAST las cuales se alternan cada 2 h al hacer pasar una corriente de aire a través de las válvulas solenoides por medio de la succión de éstas.



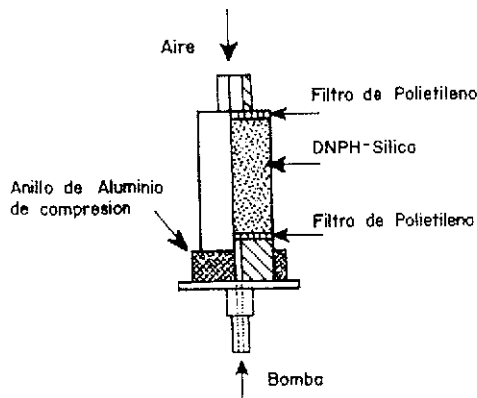
**Figura 5.** Analizador automático utilizado en la campaña de muestreo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 2.3.2 MÉTODO DE MUESTREO

Las muestras se colectaron de acuerdo al método certificado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), método TO-11A. El muestreo se realizó en el período comprendido entre 1996 y 1998, en diferentes meses de cada año.

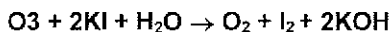
En casas habitación se hizo un muestreo en noviembre de 1996 y marzo de 1997 en museos en abril y julio de 1997 y en marzo de 1998, en oficinas en octubre de 1996, febrero de 1997, y octubre de 1998. Se tienen como antecedentes las investigaciones realizadas por Baez *et al*, 1995, 1995 y 1999. Para la colección de las muestras *in situ* se utilizaron cartuchos Sep-Pak DNPH-Silica



**Figura 6.** Cartuchos Sep-Pak DNPH-Silica, utilizados en el muestro de aldehídos.

Con el fin de evitar las interferencias causadas por el ozono ( $O_3$ ) y la degradación de los derivados de hidrazona, durante las determinaciones de los aldehídos, se colocó un tubo en espiral de cobre, impregnado internamente con solución de yoduro de potasio (KI) al 10%

## Reacción entre el O<sub>3</sub> y el KI

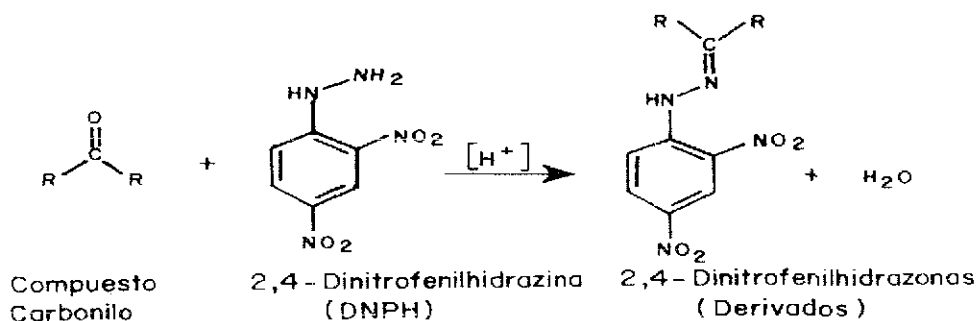


## 2.4 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

### 2.4.1 MÉTODO ANALÍTICO

#### *Análisis cromatográfico*

La reacción de derivación de los aldehídos con la 2,4-dinitrofenilhidrazina (2,4-DNPH) es una adición nucleofílica y eliminación de agua, la 2,4-DNPH reacciona con los aldehídos para formar 2,4-dinitrofenilhidrazonas



Los derivados formados (2,4-dinitrofenilhidrazonas) se eluyeron con 10 ml de acetonitrilo (ACN) grado-HPLC y 20  $\mu$ L se analizaron por Cromatografía Líquida de Alta Resolución o High Performance Liquid Chromatography (HPLC), con un instrumento Perkin-Elmer, equipado con una bomba isocrática, modelo 250 acoplado a una computadora personal PC Epson.

Las condiciones analíticas fueron: una columna analítica de fase reversa, modelo Spherisorb S5 de 15cm x 4.6mm ODS2 (las iniciales ODS se refiriere a que la columna cromatográfica usada tiene cadenas de octadecilsilano o C<sub>18</sub> ligadas a la superficie de las partículas de sílice del empaque de la columna). La cromatografía de fase reversa se caracteriza por una fase móvil polar y la fase estacionaria no polar, como fase móvil se utilizó una solución de 45% Agua/55% Acetonitrilo a un flujo de 1 ml/min.

Los derivados fueron detectados a 360 nm, teniendo como detector un GBC LC 1200 UV/VIS de alta sensibilidad, con bajo nivel de ruido y un rango de respuesta lineal. La calibración es por inyección directa de 20 µL, de mezclas de estándares externos, con cantidades conocidas de hidrazonas sólidas disueltas en acetonitrilo grado-HPLC

Un parámetro de Control de Calidad para determinar niveles de fondo de los derivados de la dinitrofenilhidrazina (DNPH), es analizar al azar cartuchos como blancos de laboratorio y de control de campo. Los valores promedio y desviaciones estándar de cinco diferentes blancos son:  $0.47 \pm 0.31$  y  $0.39 \pm 0.12$  µg/cartucho de formaldehído y acetaldehído. El propionaldehído y butiraldehído no fueron detectados.

En cartuchos Sep-Pak DNPH-Silica (Waters Corp ), el límite de detección analítico para los derivados de formaldehído, acetaldehído, propionaldehído y butiraldehído, de acuerdo al método descrito por Miller and Miller (1993) son 0.043, 0.033, 0.009 y 0.015 µg/mL, respectivamente (valores promedio de cinco determinaciones). Estos límites de detección corresponden a 0.54, 0.56, 0.2 y 0.33 µg/m<sup>3</sup> para formaldehído, acetaldehído, propionaldehído y butiraldehído, respectivamente, si se considera un volumen de muestra de 120 L (el muestreo se desarrolló a intervalos de 2 h, a razón de 1 L/min), correspondiente a las condiciones de muestreo.

Para determinar la eficiencia de colección de los cartuchos se conectaron 2 cartuchos en serie, obteniendo valores > 95% para todos los aldehídos. El muestreo y la precisión analítica se determinó a partir de los resultados obtenidos de 4 muestreos operados simultáneamente durante seis ocasiones, bajo las mismas condiciones de muestreo (Báez *et al.*, 1995) El rango de los resultados obtenidos es de 0.30 a 12.14 % de desviación estándar relativa (RSD)

#### **2.4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para la interpretación de los datos obtenidos en el muestreo, se utilizó la media aritmética, desviación estándar, mínimas y máximas concentraciones de los aldehídos. En general, se utilizaron métodos estadísticos como la elaboración e interpretación de gráficas de correlación entre datos, gráficas de autocorrelación o dispersión lineal, aplicación de la prueba paramétrica *t de Student* y la estimación de la dosis de exposición (Zhang *et al.*, 1994) La aplicación de métodos paramétricos constituye una buena opción, de manera que a pesar de no ser tan estrictos como otros métodos estadísticos, no se requiere conocer previamente la distribución de los datos.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS

#### 3.1 AMBIENTES INTRAMUROS

En el presente capítulo, se presentan los resultados de análisis químico de los aldehídos estudiados. Los resultados obtenidos muestran una amplia variación en la concentración de los aldehídos en los diferentes ambientes

El universo de estudio estuvo constituido por un total de 155 muestras (que corresponde al número de días muestreados), sin incluir los blancos de campo y de laboratorio, utilizados para obtener los parámetros de control de calidad y límites de detección

En la Tabla 7 se presenta la media aritmética, desviación estándar, mínima y máxima concentración de cada uno de los aldehídos, también se consideró la suma total de las concentraciones de los aldehídos en los distintos ambientes, aplicando su estadística correspondiente

Las variaciones de las concentraciones promedio fueron muy grandes a lo largo del periodo de muestreo, los valores máximos de concentración para el formaldehído y el acetaldehído fluctuaron entre 19.6 y 122  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y de 7.7 a 73.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Propionaldehído y butiraldehído, estuvieron presentes en cantidades por arriba del límite de detección analítico.

Las concentraciones promedio de formaldehído en los sitios 1 y 2 (casas habitación) Satélite y Tlalnepantla fueron 37.5 y 46.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una desviación estándar de 8.6 y 17.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , para el acetaldehído se obtuvieron concentraciones promedio de 19.4 y 26.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con una desviación estándar de 5.4 y 12.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.



En los sitios 3 y 4 (Museo Universum y Templo Mayor) las concentraciones promedio fueron 34.4 y 27.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una desviación estándar de 9.38 y 8.17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , para el acetaldehído las concentraciones promedio obtenidas fueron de 11.9 y 16.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con desviaciones estándar de 5.2 y 7.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

En el interior del Museo de Xalapa, Ver. (sitio 5), las concentraciones máximas de formaldehído y acetaldehído fueron de 19.6 y 7.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; propionaldehído y butiraldehído estuvieron presentes en concentraciones máximas de 7.7 y 1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

Las concentraciones promedio de formaldehído en las oficinas sitios 6 y 7 fueron 122 y 106  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con una desviación estándar de 11.6 y 13.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Para el acetaldehído se obtuvieron concentraciones promedio de 47.2 y 23.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una desviación estándar de 15.7 y 5.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

<b>FORMALDEHÍDO</b>	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Media Aritmética	37.52	46.80	34.44	27.16	11.45	96.92	88.18	26.24
Desviación Estándar	8.66	17.41	9.38	8.17	4.50	11.63	13.65	4.65
Mínimo	19.38	12.22	19.80	13.80	4.55	79.35	68.75	16.88
Máximo	49.74	81.35	59.26	43.42	19.67	122	106	36.15
<b>ACETALDEHÍDO</b>								
Media Aritmética	19.41	26.98	11.95	16.81	5.05	47.26	23.47	19.29
Desviación Estándar	5.40	12.33	5.29	7.47	1.04	15.70	5.63	7.03
Mínimo	6.67	8.25	4.40	6.69	3.76	27.48	14.80	8.54
Máximo	28.34	52.13	22.44	33.71	7.70	73.91	33.87	37.66
<b>PROPIONALDEHÍDO</b>								
Media Aritmética	5.73	6.13	3.53	4.51	0.92	11.84	3.59	3.96
Desviación Estándar	2.58	3.54	1.68	1.97	0.44	4.17	0.89	4.21
Mínimo	0.47	2.22	0.25 <sup>a</sup>	1.73	0.25 <sup>a</sup>	5.00	2.68	0.25 <sup>a</sup>
Máximo	11.90	14.55	6.16	9.39	1.58	17.86	5.70	15.53
<b>BUTIRALDEHÍDO</b>								
Media Aritmética	5.49	7.81	5.34	3.09	3.62	12.39	2.81	14.94
Desviación Estándar	4.50	3.31	2.18	1.97	1.22	3.11	0.63	13.57
Mínimo	0.97	3.45	0.21 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	1.40	7.78	1.96	3.36
Máximo	17.51	15.22	10.50	6.55	7.17	17.17	3.64	42.75
<b>ALDEHÍDOS TOTALES</b>								
Media Aritmética	68.15	87.71	55.25	51.58	3.62	168.42	118	64.43
Desviación Estándar	14.30	33.29	17.43	18.53	6.26	30.63	19.53	21.89
Mínimo	36.70	28.97	31.10	23.06	12.90	123.16	92.52	31.91
Máximo	93.33	147.54	96.48	86.29	35.02	226.77	149.12	54.19

**Tabla 7.** Media aritmética, desviación estándar, mínimas y máximas concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de los aldehídos determinados en ambiente intramuros

<sup>a</sup> ½ límite de detección.

- (1) Casa habitación Zona norte
- (2) Casa habitación Zona norte
- (3) Museo Universum. Zona sur
- (4) Museo del Templo Mayor. Zona centro
- (5) Museo Antropología Xalapa, Ver
- (6) Oficina Zona Centro
- (7) Oficina Zona Sur
- (8) Centro de Investigación (CCA) Zona sur

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Las Figuras 7 a 14 muestran la variación horaria promedio y la concentración relativa de los aldehídos muestreados.

Para las casas habitación se puede apreciar que el formaldehído y el acetaldehído presentan pequeña variación, con valores máximos de concentración entre las 10:00 y las 14:00 h, en la casa de Satélite (Figura 7) En la casa de Tlaine pantla, el formaldehído y el acetaldehído muestran el mismo patrón de variación. Las concentraciones promedio más bajas para estos aldehídos se observaron de 12:00 a 14:00 h (Figura 8).

Para el caso del Museo Universum (Figura 9), se puede observar que los valores máximos para el formaldehído y el acetaldehído se encuentran de las 13:00 a 15:00 h. Para el Museo Templo Mayor (Figura 10) se puede apreciar que la máxima concentración para el formaldehído se presenta en la mañana de 09:00 a 11:00 h Para el Museo de Antropología de Xalapa, Ver (Figura 11) se observan valores máximos de concentración para el formaldehído de 15:00 a 17:00 h

Con respecto a las oficinas, se puede apreciar que la oficina cercana al centro de la Ciudad de México (Figura 12), presentó las concentraciones promedio más altas de 10:00 a 12:00 h, excepto para el formaldehído donde se obtuvieron valores de concentración prácticamente constantes (sin variación). Es importante considerar que el tiempo de muestreo en este sitio fue el más corto. Similar fue el comportamiento observado en el Centro de investigación (Figura 14), donde se observa que la variación horaria para todos los aldehídos fue de 10:00 a 12:00 h.

La oficina del sur (Figura 13) presenta las concentraciones promedio más altas de 13:00 a 15:00 h, la concentración de formaldehído varió de 68.8 a 106.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y de acetaldehído de 14.8 a 33.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

También se aprecia la concentración relativa de cada uno de los aldehídos determinados en los 8 sitios y de acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que el formaldehído presenta los mayores porcentajes que van de 41 % a 75 %, seguido del acetaldehído

### **3.2 AMBIENTES EXTRAMUROS**

En la Tabla 8 se muestra un resumen estadístico de las concentraciones de los aldehídos estudiados

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron una amplia variación en la concentración de los aldehídos determinados con respecto a las concentraciones observadas en intramuros. En general, los valores obtenidos fueron menores a los registrados en ambientes intramuros, durante todo el período de muestreo.

La variación en las concentraciones máximas en los sitios 1 y 2 (Satélite y Tlalnepantla) de formaldehído fueron 20.2 y 49.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. En el exterior de la casa de Satélite se observó ligera variación horaria obteniendo valores máximos de concentración de 10:00 a 14:00 h, para el exterior de la casa de Tlalnepantla las concentraciones máximas de formaldehído y acetaldehído se presentaron de 08:00 a 12:00 h. La concentración máxima de aldehídos totales en el exterior de la casa de Tlalnepantla zona norte fué de 122.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el aporte máximo de concentración es referida a formaldehído y acetaldehído

En el exterior de los Museos Universum y Templo Mayor los resultados obtenidos para todo los aldehídos muestran el mismo patrón de comportamiento, es importante señalar que el muestreo en estos sitios se realizó con un año de diferencia. Siendo los valores promedio de formaldehído de 13.9 y 14.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una desviación estándar de 5.3 y 7.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el acetaldehído en ambos sitios presentó valores promedio de 11.7 y 15.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente

<b>FORMALDEHÍDO</b>	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Media Aritmética	10.64	17.30	13.91	14.65	4.45	32.29	7.97	21.71
Desviación Estándar	4.95	13.20	5.38	7.50	0.82	16.65	3.06	8.76
Mínimo	2.40	4.69	5.65	5.94	3.05	7.16	4.57	6.12
Máximo	20.27	49.69	26.18	32.14	6.11	63.10	13.94	38.19
<b>ACETALDEHÍDO</b>								
Media Aritmética	9.17	13.96	11.75	15.33	6.01	27.96	5.76	17.03
Desviación Estándar	4.77	12.54	4.69	6.84	3.36	15.36	2.45	7.59
Mínimo	2.08	2.53	5.67	7.85	3.59	5.87	2.35	4.79
Máximo	17.81	46.93	22.94	30.34	15.65	59.95	10.21	32.15
<b>PROPIONALDEHÍDO</b>								
Media Aritmética	2.28	3.39	3.19	3.59	0.46	7.58	1.17	4.13
Desviación Estándar	1.39	3.39	1.22	1.91	0.37	4.43	0.75	2.41
Mínimo	0.47	0.25 <sup>a</sup>	1.39	1.66	0.25 <sup>a</sup>	1.44	0.25 <sup>a</sup>	0.25 <sup>a</sup>
Máximo	4.74	12.10	5.71	8.04	1.31	15.90	2.60	8.82
<b>BUTIRALDEHÍDO</b>								
Media Aritmética	5.56	6.11	5.47	2.94	2.56	9.14	1.48	6.07
Desviación Estándar	2.33	3.97	2.08	2.45	0.80	4.08	1.25	2.57
Mínimo	0.97	1.74	2.94	0.21 <sup>a</sup>	1.78	2.84	0.21 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>
Máximo	11.54	15.94	10.28	7.79	4.57	16.66	3.41	10.03
<b>ALDEHIDOS TOTALES</b>								
Media Aritmética	27.65	40.76	34.32	36.50	13.47	76.96	16.38	48.94
Desviación Estándar	12.96	32.63	12.98	17.43	3.24	40.29	7.21	20.87
Mínimo	8.68	9.42	16.08	17.21	9.81	19.60	7.38	11.36
Máximo	53.75	122.4	64.52	74.05	21.42	155.61	28.97	88.76

**Tabla 8.** Media aritmética, desviación estándar, mínimas y máximas concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de los aldehídos determinados en ambiente Extramuros.

<sup>a</sup> ½ límite de detección

- (1) Casa habitación Zona norte
- (2) Casa habitación Zona norte
- (3) Museo Universum Zona sur
- (4) Museo del Templo Mayor. Zona centro
- (5) Museo Antropología Xalapa, Ver.
- (6) Oficina Zona Centro
- (7) Oficina Zona Sur
- (8) Centro de Investigación (CCA) Zona sur

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

En el Museo de Xalapa, Ver. los valores reportados de formaldehído y acetaldehído, estuvieron muy por de bajo a los observados en los otros dos museos, estando presentes en cantidades significativas

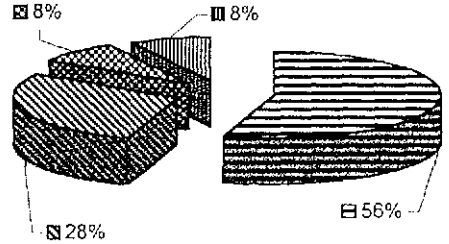
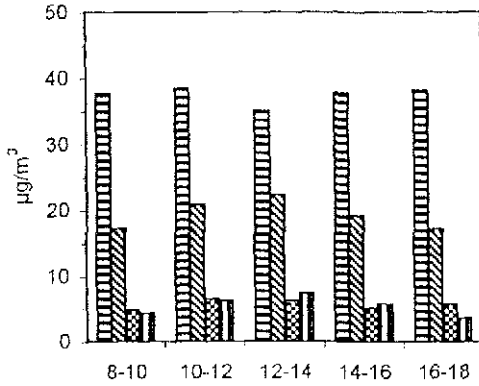
En los Museos Universum y Templo Mayor (Figura 9 y 10) la variación fue también similar para todos los aldehídos con concentraciones máximas de 13:00 a 15:00 h y de 09:00 a 11:00 h respectivamente. En el Museo de Xalapa, Ver (Figura 11), las concentraciones en extramuros presentan una variación continua desde las primeras horas de muestreo de 09 00 a 17 00 h. Es importante señalar que las concentraciones máximas para el acetaldehído se observaron de las 15 00 a las 17 00 h, el caso contrario sucedió para el propionaldehído, el cual fué disminuyendo desde las primeras horas de la mañana hasta el atardecer

Para el caso de las oficinas se aprecia que la variación horaria máxima de formaldehído y acetaldehído fué de 10 00 a 12 00 h, tanto para la oficina cercana al centro de la Ciudad como para la oficina del Centro de Investigación (Figuras 12 y 14) Es importante mencionar que en particular, las concentraciones más altas de ambos aldehídos se presentaron en los días de mayor estabilidad atmosférica. Durante los diferentes periodos de muestreo estudiados, esta variación en los niveles diarios de los cuatro aldehídos fueron substanciales, presentando el formaldehído las concentraciones más altas

La Figura 13 también muestra que para el formaldehído y el acetaldehído, los valores máximos se presentaron de 13 00 a 15 00 h, la concentración de formaldehído varió de 4.57 a 13.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , para el acetaldehído de 3.6 a 10.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un pequeño incremento por las tardes

Se aprecia también la concentración relativa de cada uno de los aldehídos determinados y de acuerdo a los datos reportados en este trabajo, se demuestra que las concentraciones de formaldehído y acetaldehído son más altas que los otros aldehídos

### INTERIOR



### EXTERIOR

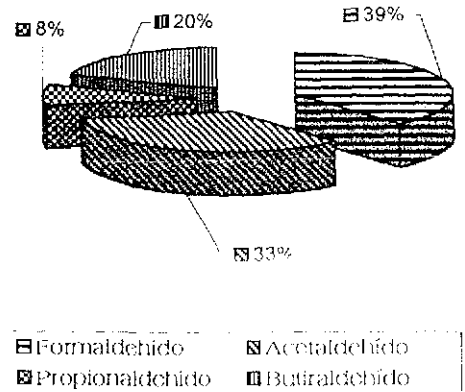
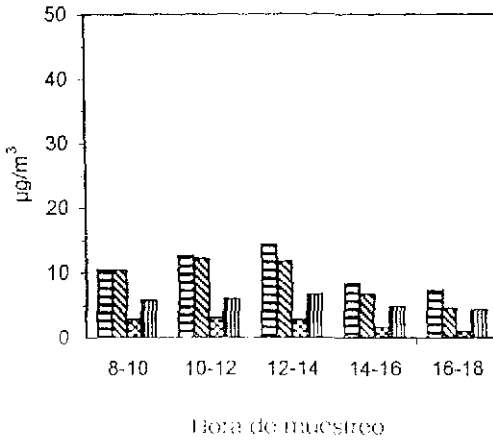
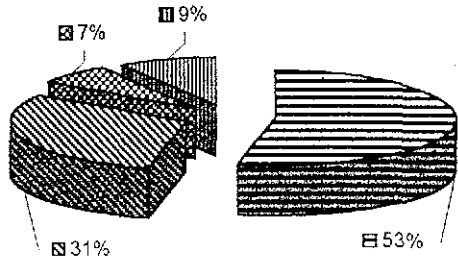
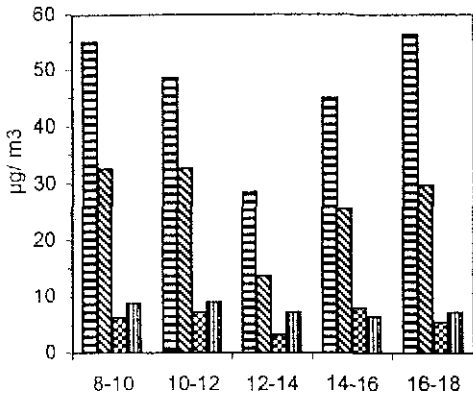


Figura 7.- Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados Sitio 1 (casa habitación) Satélite.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### INTERIOR



### EXTERIOR

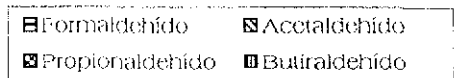
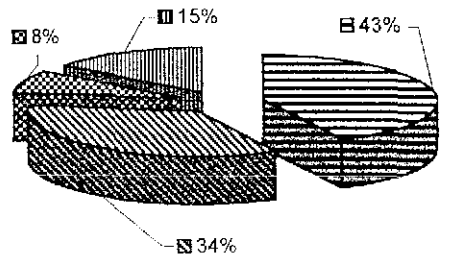
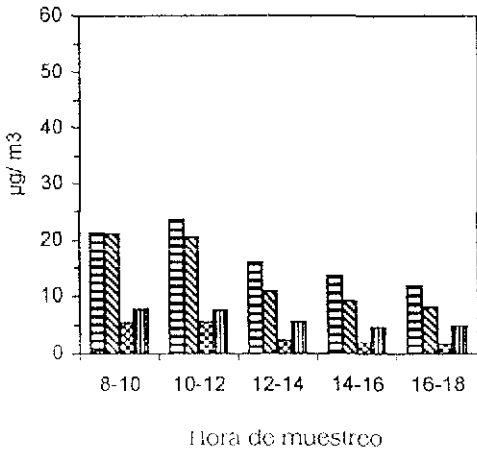
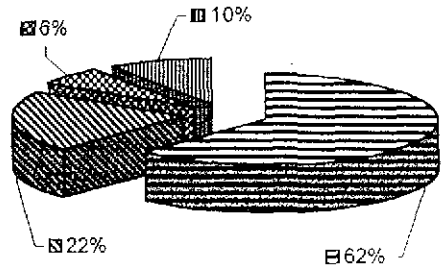
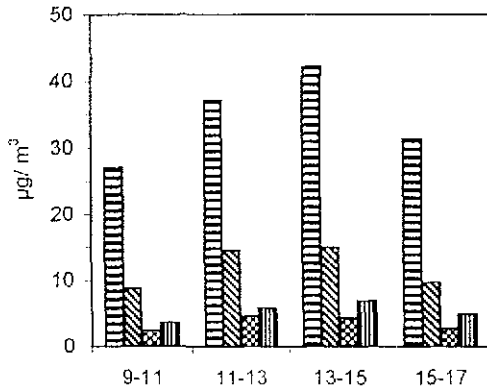


Figura 8 - Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados Sitio 2 (casa habitación) Tlalhepantla

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### INTERIOR



### EXTERIOR

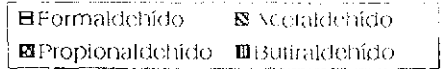
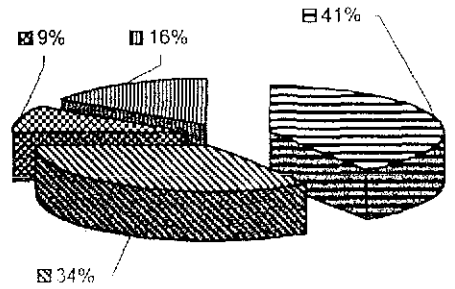
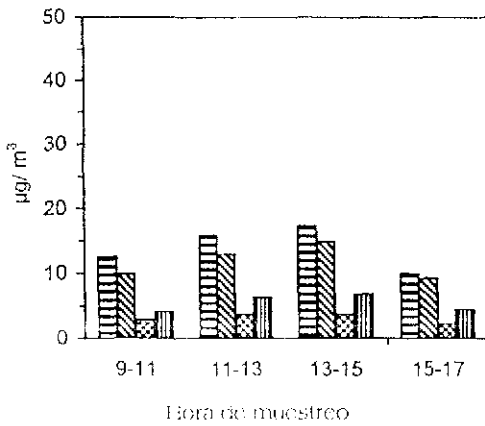
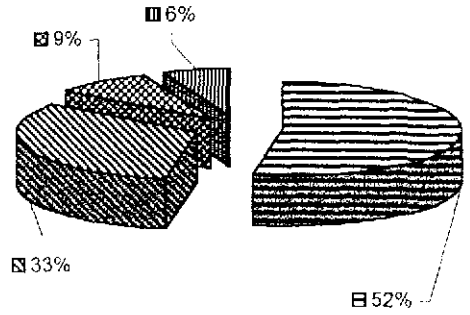
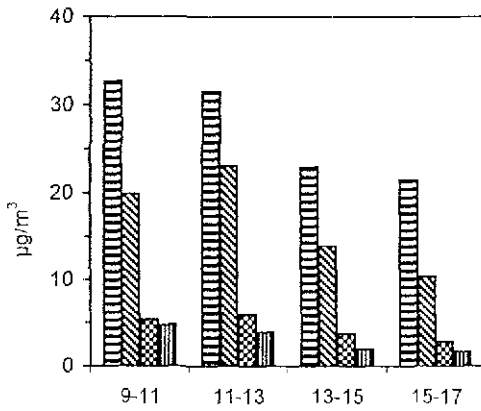


Figura 9 - Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados Sitio 3 (Museo Universum)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### INTERIOR



### EXTERIOR

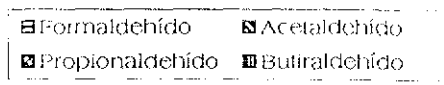
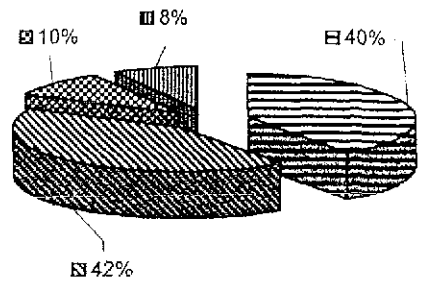
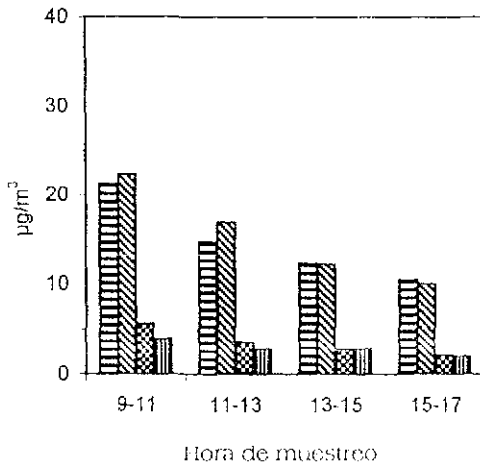
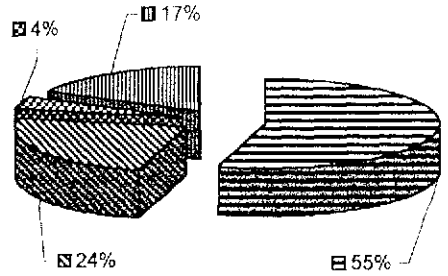
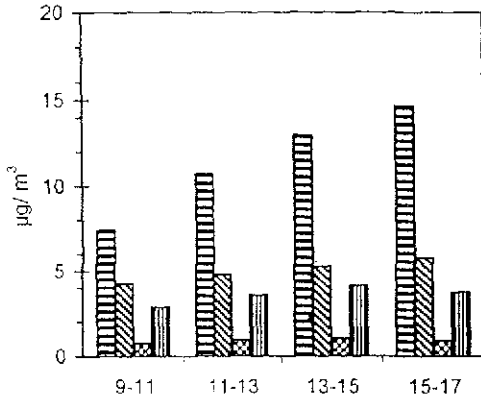


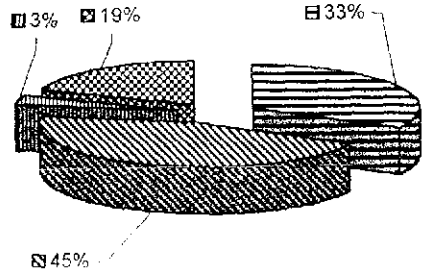
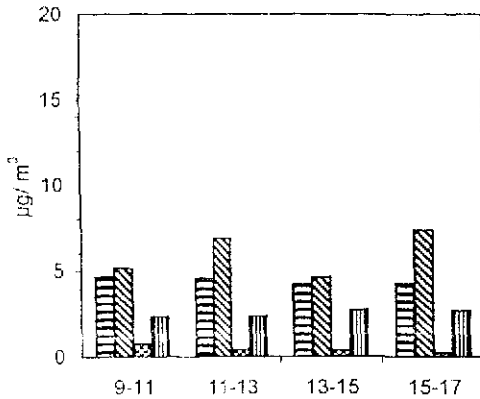
Figura 10 - Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados Sitio 4 (Museo Templo Mayor)

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

### INTERIOR



### EXTERIOR



Flora de muestreo

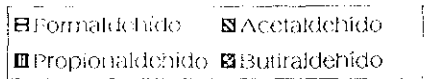
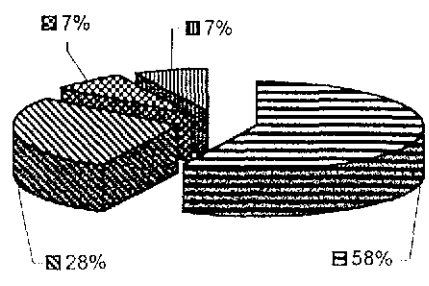
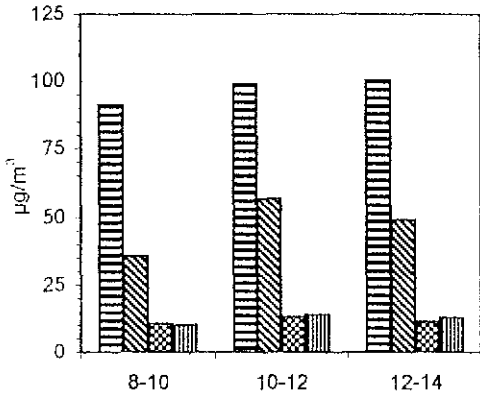


Figura 11 - Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados Sitio 5 (Museo Xalapa, Ver.)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

INTERIOR



EXTERIOR

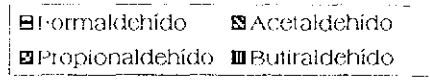
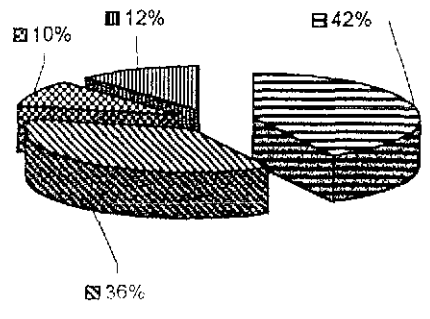
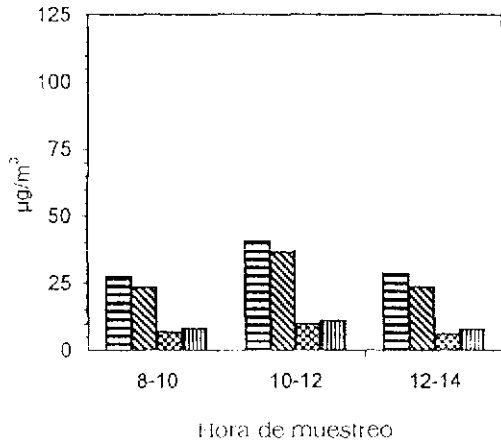
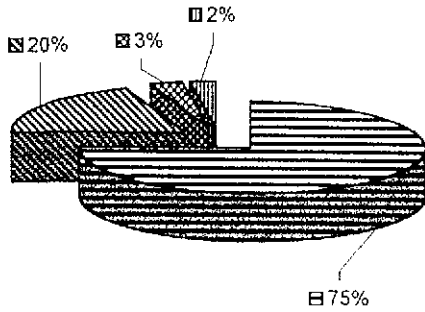
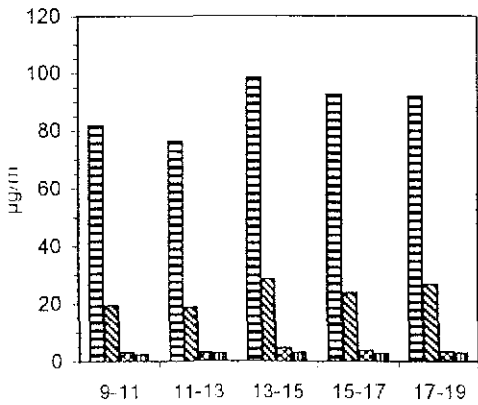


Figura 12 - Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados Sillio 6 (Oficina centro).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### INTERIOR



### EXTERIOR

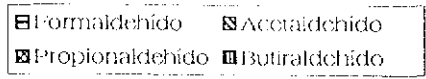
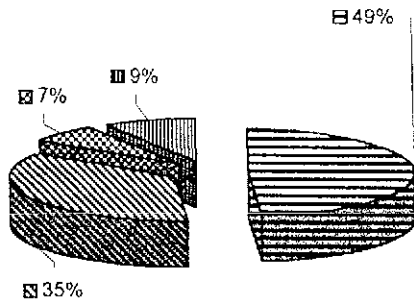
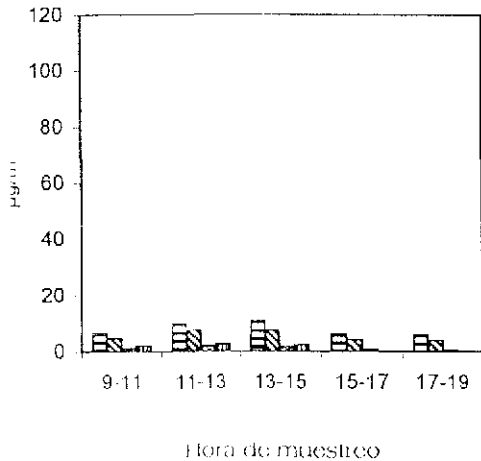
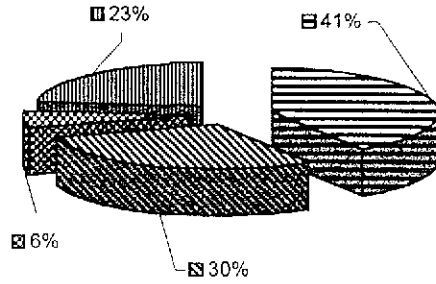
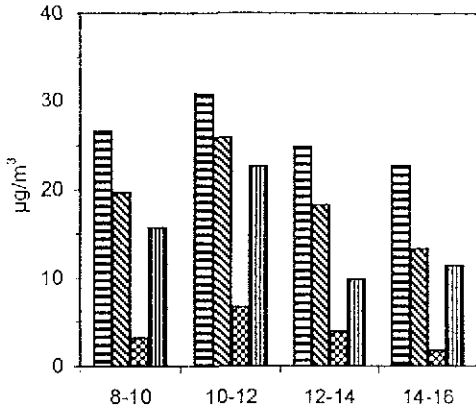


Figura 13 - Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados. Sitio 7 (Oficina sur)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### INTERIOR



### EXTERIOR

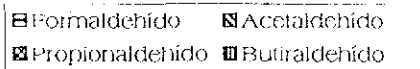
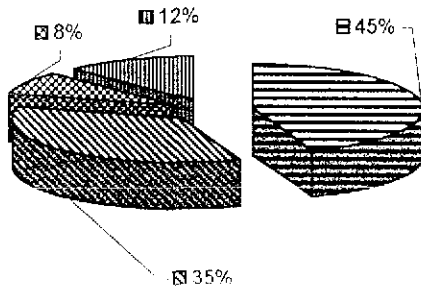
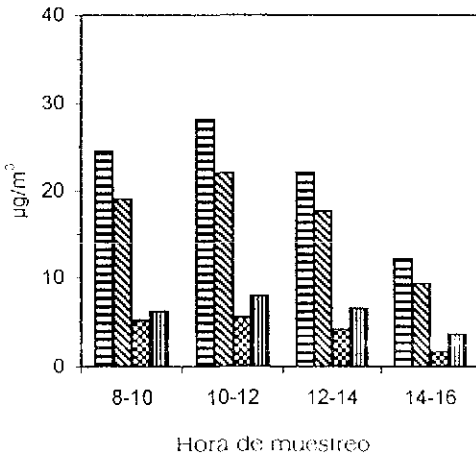


Figura 14.- Variación horaria promedio y concentración relativa de los aldehídos muestreados. Sitio 8 (Centro de investigación)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **3.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE FORMALDEHÍDO Y ACETALDEHÍDO EN INTRAMUROS Y EXTRAMUROS.**

En las figuras 15 a 17, se presenta la correlación entre ambientes intramuros y extramuros

Las Figuras 15a y 15b presentan correlación positiva, el coeficiente de correlación de estas gráficas es estadísticamente significativo ( $r^2 < 1$ ).

Para el caso del formaldehído (Figura 15a), la dispersión de los datos hace que el coeficiente de correlación sea muy pequeño (0.1318), indicando que existe una posibilidad mayor de que las fuentes internas de emisión sean las que contribuyen principalmente a las altas concentraciones de formaldehído en el interior de las casas (sitios 1 y 2)

Es interesante ver que cuando se tiene  $0.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de formaldehído en el exterior, ya se tiene un nivel de fondo de  $35.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el interior. Para el caso del acetaldehído (Figura 15b) con una concentración de  $0.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en exterior, ya tenemos  $14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en interior, con coeficiente de correlación mayor (0.5255).

En la Figura 16a y 16b también se presentan los datos del formaldehído y acetaldehído en Museos (Universum y Templo Mayor). En ambos casos se puede observar una correlación positiva, para el acetaldehído el valor de correlación es mayor que para el formaldehído.

En la gráfica de la Figura 16a, se aprecia que cuando se tiene  $0.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en exterior, tenemos un nivel de fondo de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el interior para formaldehído, con una correlación de 0.2533.



Como se observa en la Figura 16b, sí existe una correlación entre el exterior y el interior para acetaldehído con  $0.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un nivel de fondo de  $2.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con una diferencia significativa de  $p < 0.05$

En las gráficas de la Figura 17, se presentan las correlaciones entre interior y exterior para los mismos aldehídos en los sitios 6 y 7 (oficina centro y sur). A cada una de las gráficas de dispersión, Figura 17a y 17b, se les ajustó una recta con el propósito de mostrar la tendencia de la correlación entre ambientes

La Figura 17a muestra un coeficiente de correlación de 0.1932 entre las concentraciones de formaldehído interior y exterior. La Figura 17b presenta una correlación de 0.6417 con una pendiente alta, lo que indica una correlación directa entre el interior y el exterior para el acetaldehído

Es importante mencionar que aproximadamente el 70 % de los empleados son fumadores en estos lugares (sitios 6 y 7).

Se detectó al aplicar la correlación por rangos de **Spearman**, diferencias estadísticas significativas entre intramuros y extramuros, a un nivel de confianza de  $p < 0.05$

### FORMALDEHIDO

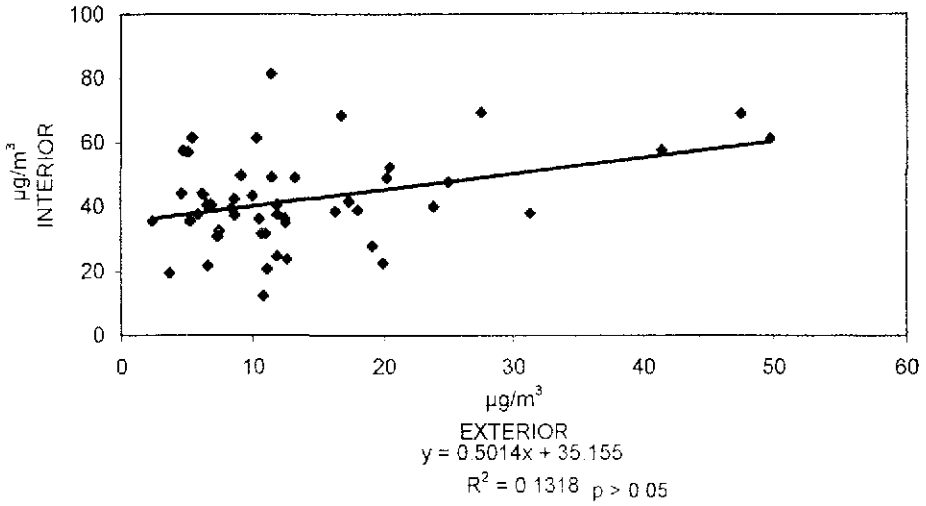


Figura 15a

### ACETALDEHIDO

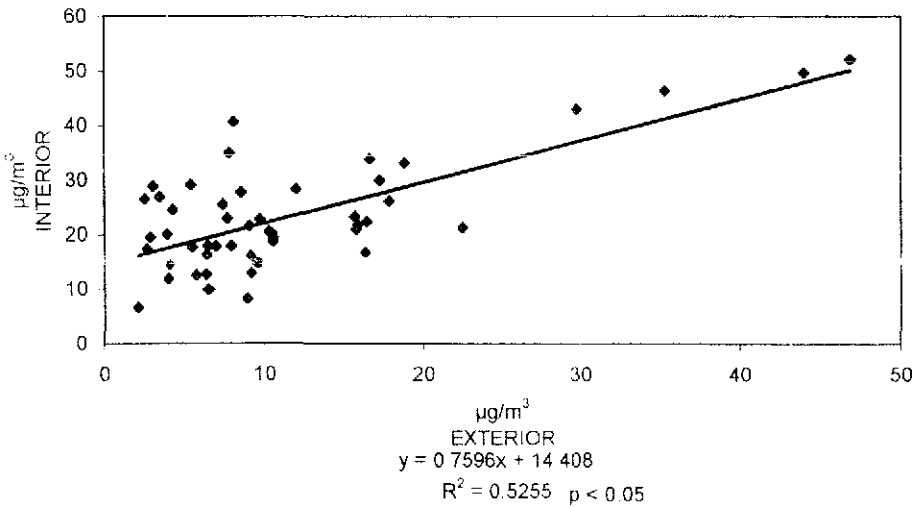


Figura 15b

Figura 15 - Diagramas de dispersión para los datos de casas en ambientes intra y extramuros sitios 1 y 2 (Satélite y Tlalnepanlla)

### FORMALDEHIDO

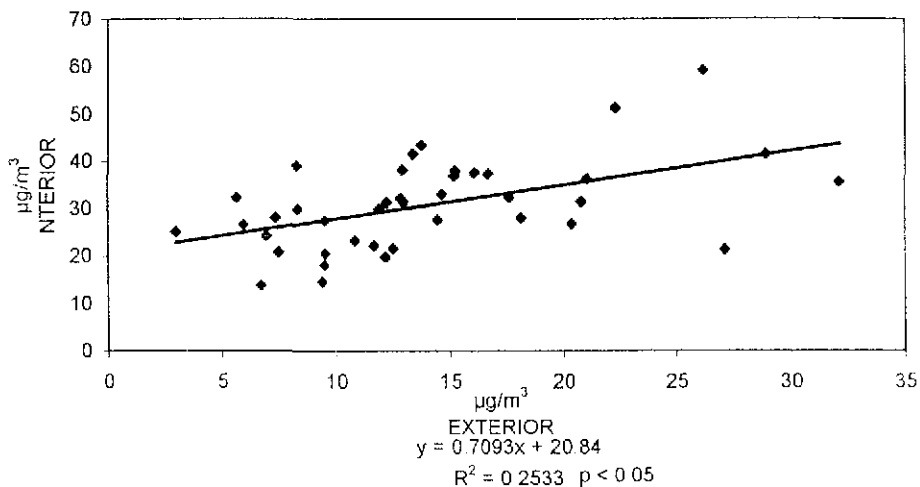


Figura 16a

### ACETALDEHIDO

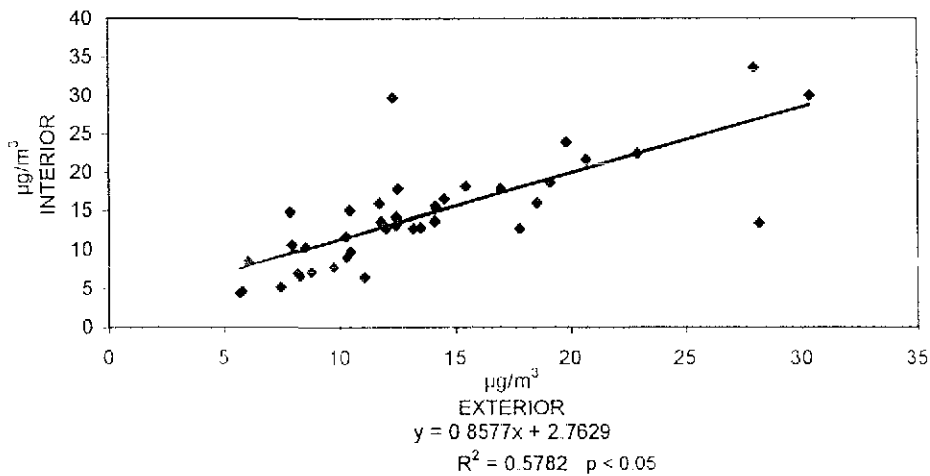


Figura 16b

Figura 16.- Diagramas de dispersión para los datos de museos en ambientes intra y extramuros sitios 3 y 4 (Universum y Templo Mayor).

### FORMALDEHIDO

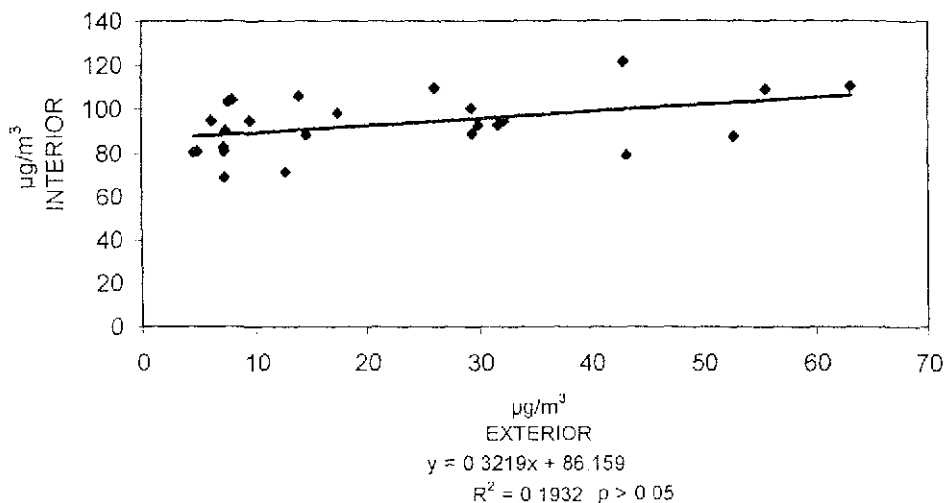


Figura 17a

### ACETALDEHIDO

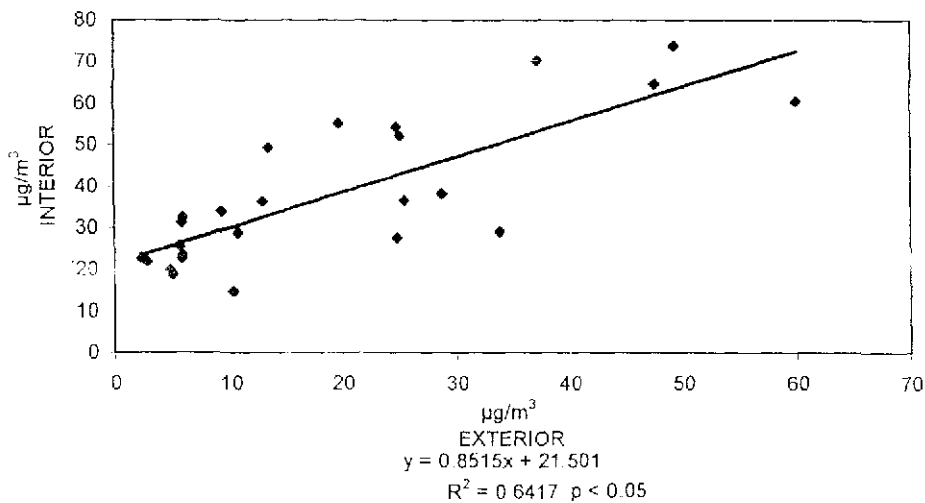


Figura 17b

Figura 17 - Diagramas de dispersión para los datos de oficinas en ambientes intra y extramuros sitios 6 y 7 (Oficina centro y Oficina sur)

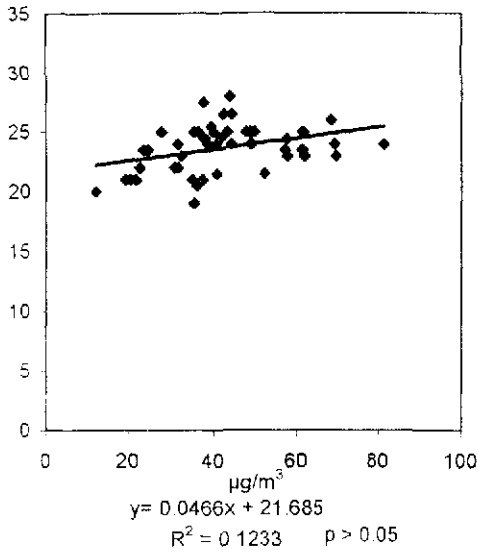
### **3.4 CORRELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN DE ALDEHÍDOS Y TEMPERATURA AMBIENTE**

En las figuras 18 a 20, se presentan las correlaciones entre la temperatura y concentración de formaldehído, acetaldehído, propionaldehído y butiraldehído, para todos los sitios de muestreo.

A cada una de las gráficas de dispersión se le ajustó una recta con el fin de mostrar la tendencia de la correlación entre estas dos variables y de ese modo determinar si la temperatura tiene influencia sobre la concentración. Se consideró que una correlación positiva con una pendiente mayor de 0.05 implicaría una relación directa con la temperatura. El coeficiente de correlación de **Spearman** únicamente mostró una correlación significativa entre la temperatura y la concentración de acetaldehído en extramuros, en las oficinas centro y sur (Figura 20), influenciada ésta correlación por los valores obtenidos en la oficina cercana al centro de la Ciudad de México.

FORMALDEHIDO

INTERIOR



EXTERIOR

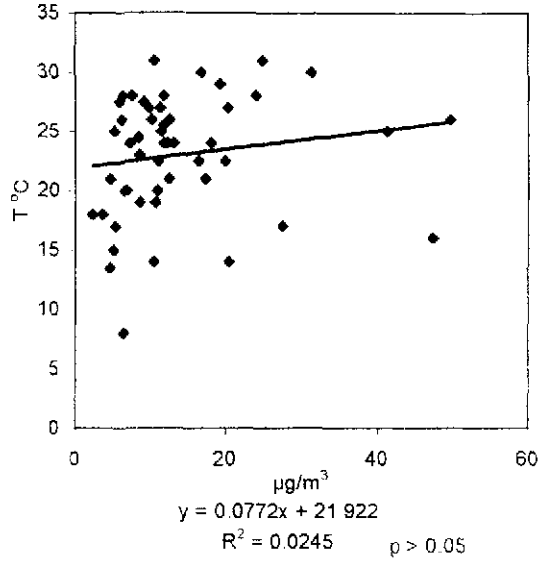


Figura 18a

ACETALDEHIDO

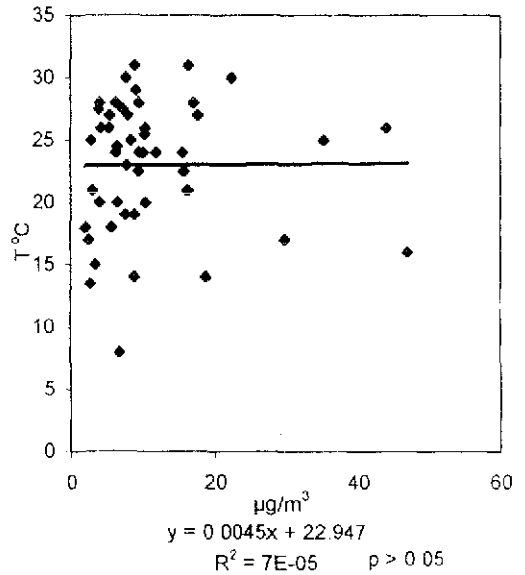
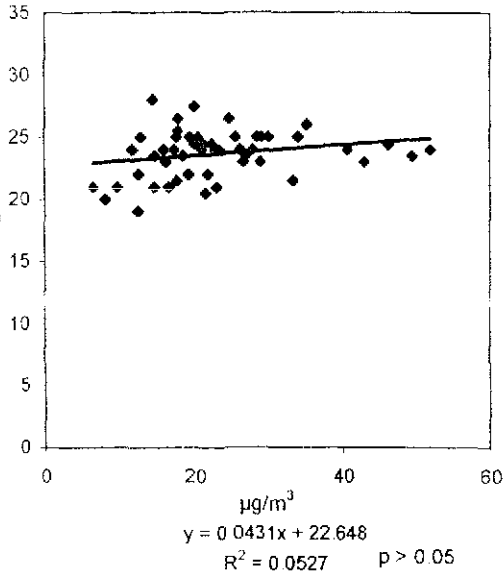
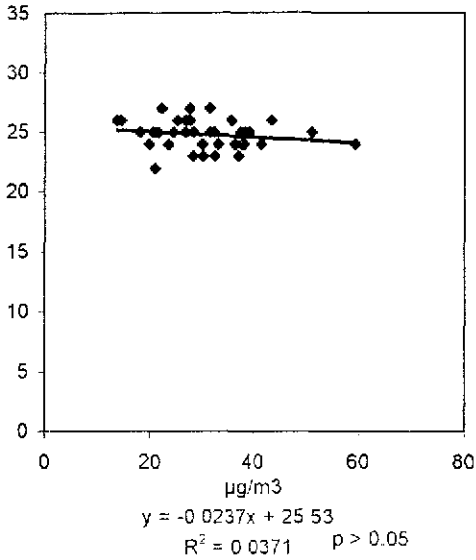


Figura 18b

Figura 18 - Diagramas de dispersión entre concentración de aldehídos y temperatura ambiente en casas sitio 1 y 2 (Satélite y Tlalnepantla)

FORMALDEHIDO

INTERIOR



EXTERIOR

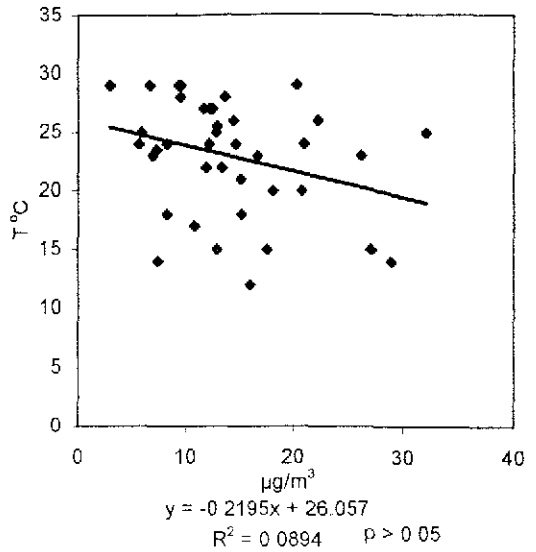


Figura 19a

ACETALDEHIDO

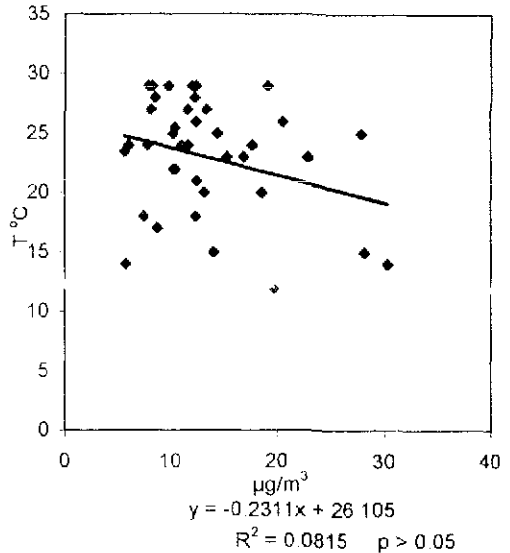
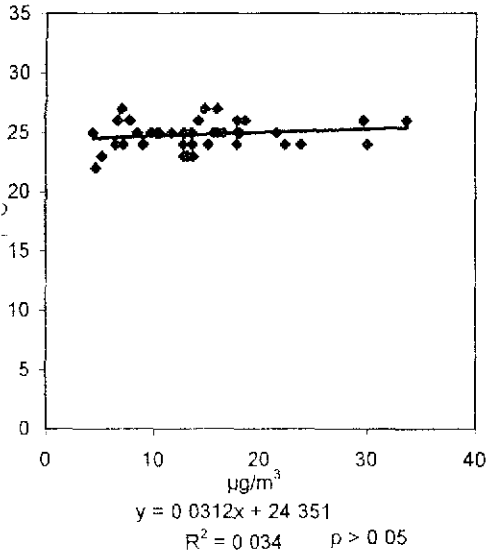
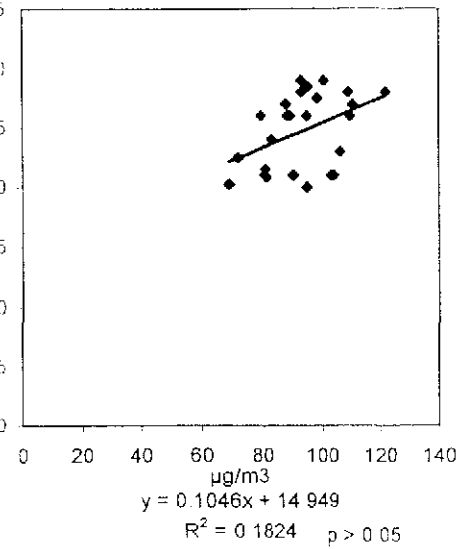


Figura 19b

Figura 19 - Diagramas de dispersión entre concentración de aldehídos y temperatura ambiente en museos sitio 3 y 4 (Universum y Templo Mayor).

FORMALDEHIDO

INTERIOR



EXTERIOR

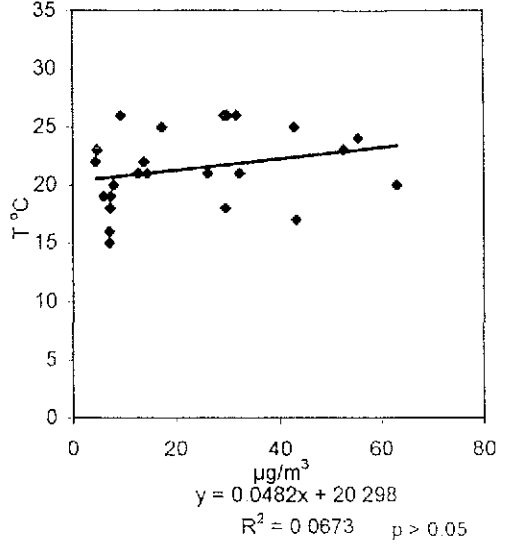


Figura 20a

ACETALDEHIDO

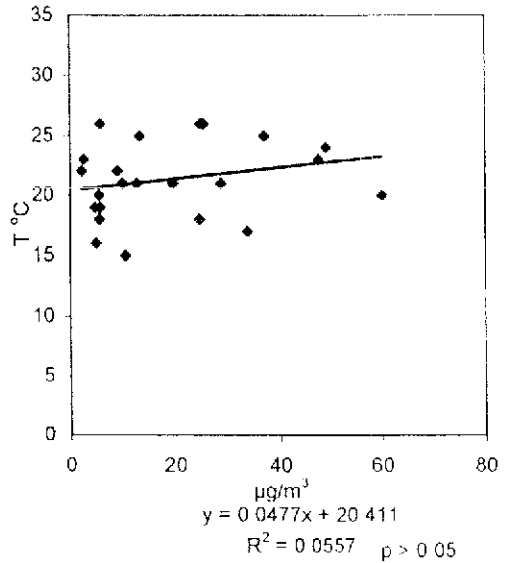
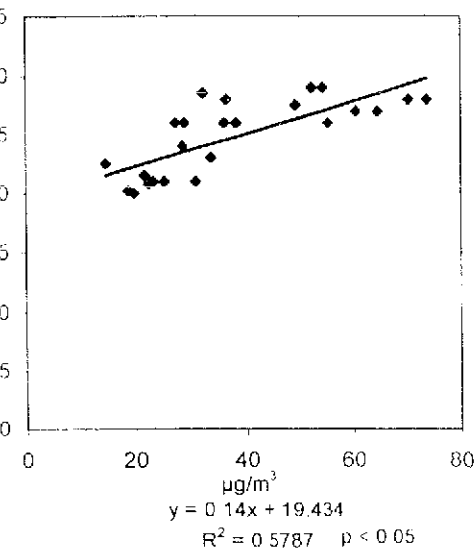


Figura 20b

Figura 20 - Diagramas de dispersión entre concentración de aldehídos y temperatura ambiente en oficinas sitio 6 y 7 (Oficina centro y Oficina sur)



### **3.5 RAZONES ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE ALDEHÍDOS DE INTRAMUROS Y EXTRAMUROS**

La Tabla 9, muestra los valores de las razones de concentración (I/E) para formaldehído, acetaldehído, propionaldehído y butiraldehído, calculadas para los ocho sitios muestreados. En el 90% de los sitios, las concentraciones presentaron una relación Intramuros / Extramuros mayor a 1, excepto para el acetaldehído en el Museo de Antropología, Xalapa, Ver (sitio **5**), con un valor de (I/E = 0.84).

Por ejemplo, la razón I/E para el formaldehído en casas habitación (sitios **1** y **2**), y museos (sitios **3**, **4** y **5**), donde fumar no está permitido, presentó una variación de 1.85 a 3.5; a diferencia de las oficinas (sitios **6** y **7**), donde es permitido fumar, esta razón mostró una variación de 3 a 11. Al analizar los resultados de las razones I/E se encuentra que la máxima razón de 11, correspondió precisamente a la oficina del sur (sitio **7**), donde está permitido fumar.

En esta Tabla se obtuvo para cada sitio su desviación estándar, donde se observa claramente una discrepancia entre los datos de cada uno de los aldehídos para cada sitio, sobre todo de formaldehído y butiraldehído en el sitio **7**, donde las desviaciones estándar son las más altas (3.9 a 7.0), respectivamente.

Sitios de muestreo	Formaldehído	Acetaldehído	Propionaldehído	Butiraldehído
Casa Satélite (1)	3.5 ± 2.7	2.0 ± 1.4	4.2 ± 3.9	1.2 ± 1.1
Casa Tlalnepantla (2)	2.7 ± 3.4	2.0 ± 3.0	5.4 ± 3.9	1.5 ± 0.5
Museo Universum (3)	2.5 ± 1.0	1.0 ± 0.3	1.1 ± 0.4	1.0 ± 0.4
Templo Mayor (4)	1.9 ± 0.9	1.1 ± 0.4	1.4 ± 0.4	2.5 ± 4.3
Museo Xalapa Ver (5)	2.6 ± 1.0	0.8 ± 0.3	3.0 ± 2.0	1.4 ± 0.2
Oficina Centro (6)	3.0 ± 1.4	1.7 ± 1.2	2.1 ± 1.5	1.6 ± 0.6
Oficina Sur (7)	11.0 ± 3.9	4.0 ± 2.3	5.0 ± 4.0	6.4 ± 7.0
CCA (8)	1.0 ± 0.6	1.1 ± 0.3	1.0 ± 0.7	3.5 ± 4.8

**Tabla 9.** Valores de las razones de la concentración de los aldehídos en Intramuros/Extramuros (I/E)

### 3.6 ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN POR INHALACIÓN

En este punto, se muestra a manera de ejemplo, los resultados correspondientes para la determinación de la exposición por inhalación de las personas en diferentes microambientes. A la fecha, se han establecido diferentes modelos matemáticos que establecen la exposición de una persona a un contaminante en ambientes intramuros y extramuros. Lioy (1990), publicó una serie de ecuaciones sobre la evaluación de los riesgos a la exposición, lo que define como dosis potencial (PD)

En este trabajo se tomaron en cuenta los factores de exposición publicados en la U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA, 1990), en el Exposure Factors Handbook

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

<b>Microambiente</b>	<b>Tiempo promedio (h) en diferentes micro ambientes</b>
<b>Intramuros</b>	<b>20.4</b>
<b>Extramuros</b>	<b>1.77</b>
<b>En transportación Vehicular</b>	<b>1.77</b>

**Tabla 10.** Fuente: Environmental Protection Agency (U.S.EPA, 1990).

Las mediciones de los aldehídos en este trabajo se han efectuado en dos microambientes intramuros y extramuros ( j ) Para compuestos gaseosos en aire, la inhalación es la ruta de exposición, siendo el riesgo mayor.

**Tasa de ventilación:** es el movimiento de un volumen de aire hacia adentro y hacia afuera de los pulmones (Astrand, 1970) Se representa generalmente por el volumen mínimo de gas aspirado en L/min, a la temperatura normal del cuerpo y a la presión barométrica del ambiente, saturado por vapor de agua, varía con el esfuerzo de inhalación, edad, peso, sexo, nivel de actividad y en general a la condición física del individuo. Los patrones de actividad, indican el nivel de esfuerzo para diferentes períodos de tiempo

**Volumen mínimo:** es el volumen de gas que se mueve durante cada ciclo respiratorio y frecuencia respiratoria (Astrand and Rodahl, 1977) Esto también varía de acuerdo a los siguientes parámetros edad, peso, sexo, nivel de actividad y condición física del individuo

La tasa de ventilación se utiliza para evaluar el nivel de exposición en promedio, para calcular la dosis de exposición de un individuo ( i ) en un microambiente ( j ).

Puede ser calculada por la ecuación de U S. EPA (1992).

$$PD = C_j (CR)_i T_{ij}$$

Donde

PD = dosis de exposición ( $\mu\text{g}/\text{día}$ )

C = concentración del contaminante ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

CR= tasa de ventilación ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

T = tiempo de exposición ( $\text{h}/\text{día}$ , 8 h)

La selección de la tasa de ventilación depende de la edad de la población expuesta y del nivel de actividad de la población durante la exposición. Por ejemplo, si la población expuesta es adulta y realiza poca actividad en el hogar, se deberá utilizar una tasa de ventilación de  $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$

Si consideramos 16 horas de actividad, se toman 8 h/día en un nivel de actividad ligero y 8 h/día en descanso. La Comisión Internacional de Protección Radiológica reporta  $23 \text{ m}^3/\text{día}$  para un hombre adulto y  $21 \text{ m}^3/\text{día}$  para una mujer adulta, obteniendo un valor promedio para ambos sexos adultos de  $22 \text{ m}^3/\text{día}$ . En la Ambient Water Quality Criteria (U.S. EPA, 1980) se toma un valor promedio de  $20 \text{ m}^3/\text{día}$

Cuando se calcula el promedio de la tasa de inhalación para un individuo que realiza actividades en extramuros, se considera que el 37% del tiempo, tiene un nivel de actividad moderado, el 28% descansa y realiza actividad ligera y el 7% de su tiempo actividad pesada. Se estima una tasa de inhalación promedio horario en ambientes exteriores de  $1.4 \text{ m}^3/\text{h}$ , para un caso extremo de actividad (natación, atletismo, etc.) la tasa de inhalación es  $3.0 \text{ m}^3/\text{h}$  (Tablas 11, 12 y 13). Se utilizó para el cálculo de la dosis de exposición, el valor de  $1.4 \text{ m}^3/\text{h}$

Para un individuo que realiza actividades en extramuros, se considera que el 48% de su tiempo descansa y realiza actividad ligera, el 30% de su tiempo realiza actividad moderada y el 1% de su tiempo actividad pesada. Se estima una tasa de inhalación promedio horario en ambientes interiores de 0.63 m<sup>3</sup>/h, para un caso extremo de actividad pesada, la tasa de inhalación promedio es de 0.89 m<sup>3</sup>/h (Tablas 11, 12 y 13).

La inhalación es la primera ruta de exposición a los compuestos gaseosos, por lo tanto, (CR) corresponde a la tasa de ventilación (Zhang *et al.*, 1994). La tasa de ventilación fue estimada para individuos sobre la base de un factor máximo de exposición (EPA, 1990).

Para el cálculo de la dosis de exposición por inhalación (PD), se seleccionaron dos casas y tres oficinas. Los empleados y residentes permanecieron presentes durante todo el periodo de muestreo. El tiempo de exposición (T) en ambientes intramuros, está basado en un tiempo de permanencia de 20.4 h en casas y 8 h en ambientes ocupacionales.

Se consideró un tiempo total de 3.54 h en ambientes exteriores para niveles de actividad de descanso, ligero, moderado y pesado. La U.S. EPA (1990) considera que una persona pasa un promedio de 1.77 h en transportarse. La relación de exposición por inhalación (EI) de formaldehído y aldehídos totales para el interior y exterior, en casas y oficinas se presenta en las (Tabla 11, 12 y 13).

El promedio de la dosis de exposición (PD) para el formaldehído y aldehídos totales en casas en ambientes intramuros, basado en un tiempo de permanencia de 20.4 h, fué de 541.8 µg/día y 1001 µg/día, respectivamente, el tiempo de permanencia para exterior fué de 3.54 h, obteniendo el valor promedio de 69.23 y 169.5 µg/día, respectivamente, valores de PD mucho más bajos comparados con los valores de intramuros (Tabla 11).

Con respecto a las oficinas, sitios 6 y 7 (Tabla 12), se consideró un tiempo de permanencia de 8.0 h, en ambientes ocupacionales. Los valores promedios de PD en intramuros para el formaldehído y los aldehídos totales son 470.8 y 747 µg/día,

respectivamente, los valores de PD en extramuros son de 111.8 y 261.32  $\mu\text{g}/\text{día}$ , respectivamente. Se observa que el grado de exposición (PD) en ambientes intramuros rebasa los límites permisibles por las distintas Organizaciones Mundiales de la Salud (ACGIH, WHO, U.S. EPA), los valores de dosis de exposición, indican que las fuentes internas de emisión, como se mencionó anteriormente son en gran parte, responsables de los valores altos de PD en intramuros, observando amplia diferencia con los obtenidos en extramuros.

**Tabla 11.** - Valores promedio de la dosis de exposición de formaldehído y aldehídos totales para adultos en ambientes intramuros y extramuros sitios 1 y 2 (Casa Satélite y Tlalnepantla). Casa habitación.

Parámetros	Formaldehído						Aldehídos Totales					
	Intramuros			Extramuros			Intramuros			Extramuros		
	Media	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior
<b>C (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	42.16	38.07	46.25	13.97	11.01	16.93	77.93	70.20	85.66	34.21	26.97	41.44
<b>CR (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)<sup>a</sup></b>	0.63	0.63	0.63	1.4	1.4	1.4	0.63	0.63	0.63	1.4	1.4	1.4
<b>T (h/día)<sup>a</sup></b>	20.4	20.4	20.4	3.54	3.54	3.54	20.4	20.4	20.4	3.54	3.54	3.54
<b>PD (<math>\mu\text{g}/\text{día}</math>)</b>	641.84	489.27	594.40	69.23	54.51	84.0	1001	902.21	1100.9	169.5	133.66	205.37

<sup>a</sup> Valor promedio de la tasa de inhalación por persona (datos tomados de USEPA, 1985). Los valores de concentración inferior y superior fueron calculados aplicando la t de Student con límites de confianza de 95%.

C = concentración del aldehído ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

CR = tasa de ventilación ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

T = tiempo de exposición (h/día)

PD = dosis de exposición ( $\mu\text{g}/\text{día}$ )

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Tabla 12.-** Valores promedio de la dosis de exposición de formaldehído y aldehídos totales para adultos en ambientes intramuros y extramuros sitio 6 y 7 (Oficina Centro y Oficina Sur). Ambientes ocupacionales

Parámetros	Formaldehído						Aldehídos Totales					
	Intramuros			Extramuros			Intramuros			Extramuros		
	Media	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior
<b>C (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	93.42	88	98.77	22.56	15.26	29.87	148.2	133.24	163.29	52.73	34.81	70.65
<b>CR (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)<sup>a</sup></b>	0.63	0.63	0.63	1.4	1.4	1.4	0.63	0.63	0.63	1.4	1.4	1.4
<b>T (8h/día)<sup>a</sup></b>	8.0	8.0	8.0	3.54	3.54	3.54	8.0	8.0	8.0	3.54	3.54	3.54
<b>PD (<math>\mu\text{g}/\text{día}</math>)</b>	470.8	443.5	497.8	111.8	75.62	148.0	747	671.5	823	261.3	172.51	350.14

<sup>a</sup> Valor promedio de la tasa de inhalación por persona (datos tomados de USEPA, 1985). Los valores de concentración inferior y superior fueron calculados aplicando la t de Student con límites de confianza de 95%.

C = concentración del aldehído ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

CR = tasa de ventilación ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

T = tiempo de exposición (8h/día)

PD = dosis de exposición ( $\mu\text{g}/\text{día}$ )

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



**Tabla 13.-** Valores promedio de la dosis de exposición de formaldehído y aldehídos totales para adultos en ambientes intramuros y extramuros sitio 8 (Centro de Ciencias de la Atmósfera). Ambientes ocupacionales.

Parámetros	Formaldehído						Aldehídos Totales					
	Intramuros			Extramuros			Intramuros			Extramuros		
	Media	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior
<b>C (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	26.24	24.14	28.33	21.71	17.61	25.80	154	113	194	62.69	49.84	75.54
<b>CR (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)<sup>a</sup></b>	0.63	0.63	0.63	1.4	1.4	1.4	0.63	0.63	0.63	1.4	1.4	1.4
<b>T (8h/día)<sup>a</sup></b>	8.0	8.0	8.0	3.54	3.54	3.54	8.0	8.0	8.0	3.54	3.54	3.54
<b>PD (<math>\mu\text{g}/\text{día}</math>)</b>	132.2	121.6	142.7	107.6	87.27	127.8	776	569.5	998	310.7	247	374.37

<sup>a</sup> Valor promedio de la tasa de inhalación por persona (datos tomados de USEPA, 1985). Los valores de concentración inferior y superior fueron calculados aplicando la t de Student con límites de confianza de 95%.

C = concentración del aldehído ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

CR = tasa de ventilación ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

T = tiempo de exposición (8h/día)

PD = dosis de exposición ( $\mu\text{g}/\text{día}$ )



## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN

#### 4.1 AMBIENTES INTRAMUROS

En el presentes estudio, las diferencias existentes entre los tres ambientes estudiados (casas, museos y oficinas) se reflejaron en las concentraciones y en el patrón de comportamiento de los aldehídos durante el período de estudio

Un factor que influyó posiblemente en la variación de las concentraciones fué la ventilación, todos los sitios estudiados presentaron ventilación natural, a través de puertas y ventanas

Teóricamente, en una construcción normal no deben existir las condiciones que propicien la acumulación y generación de aldehídos, de tal manera que la concentración presente en intramuros, está balanceada por la ventilación natural y las fuentes internas de emisión que exista en cada microambiente

La presencia de fumadores, la gran variedad de fuentes internas que los generan y la ausencia de ventilación, puede causar el deterioro de la calidad del aire en intramuros (Preuss *et al* , 1985, Zweing, 1992; Grosjean *et al.*, 1996).

De acuerdo a estudios epidemiológicos reportados en la literatura, concentraciones mayores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de formaldehído, provocan alteraciones a nivel tisular (Romieu, 1992), esto significa que a las concentraciones obtenidas en estos ambientes y a períodos de exposición prolongados, los habitantes de estas casas probablemente sufran daños

La diferencia en los resultados depende de varios factores, entre los que se encuentran las características de la vivienda, ubicación geográfica, así como las actividades de los ocupantes durante el muestreo. Cabe señalar que los niveles de concentración variaron durante el día y en la mayoría de los casos, se incrementaron como resultado de las actividades de los que ahí residían o laboraban, según el caso.

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que las concentraciones de formaldehído y acetaldehído en ambientes intramuros son más altas que en extramuros (se encontró diferencia estadística significativa entre sitios), lo que puede ser reflejo de las fuentes internas de cada lugar, por ejemplo, las máximas concentraciones de formaldehído detectadas en la casa de Tlalnepantla pueden deberse a que en este sitio preparan alimentos durante todo el día, usando Gas LP

Es interesante mencionar que las concentraciones de formaldehído en las casas de Satélite y Tlalnepantla, fueron más bajas que las observadas en casas de la ciudad de Atlanta, donde las concentraciones promedio estuvieron por arriba de los  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , los valores fluctuaron entre 80 y  $2280 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Anderson *et al.*, 1996). Se reportaron valores similares en casas de los Angeles, Finlandia y Alemania (Muramatsu *et al.*, 1990, Williams, *et al.*, 1996), sin embargo las concentraciones promedio reportadas en estos lugares fueron similares a las obtenidas en esta investigación.

Las concentraciones promedio obtenidas en un estudio de 10 casas en los Estados Unidos, fueron: 16, 16.2 y  $2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de formaldehído, acetaldehído y propionaldehído, respectivamente (Lewis and Zweidinger, 1992), En Hong Kong, los niveles promedio de formaldehído en 6 edificios residenciales, variaron de 6 a  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , aproximadamente (Leahmann and Roffael, 1992).

Explicar por qué las concentraciones promedio de los aldehídos a veces son más altas o por qué son similares, no es fácil sin embargo, es posible que esta variabilidad observada en ambientes intramuros comparada con otras regiones se deba al tipo de materiales de construcción, es decir, en la Ciudad de México los materiales utilizados para

la construcción de casas en las áreas urbanas son de cemento y ladrillo, en los Estados Unidos y Europa se utiliza con mayor frecuencia madera y algunas espumas sintéticas (espuma urea-formaldehído), debido a las condiciones extremas de temperatura.

En el Museo Universum, las concentraciones en ambientes intramuros no presenta una variación definida. Los valores de concentración obtenidos para formaldehído, se puede asociar al humo del tabaco, ya que en las oficinas administrativas del museo no está prohibido fumar (Hileman, 1984; Acheson *et al* , 1984c; Muramatsu *et al* ., 1990)

Para el Museo Templo Mayor, los valores de concentración se podrían asociar a los materiales de limpieza y al tipo de pinturas utilizadas para la restauración de piezas prehispánicas, como lo reportado por Zhang *et al* , 1994, donde destaca la formación de ácido fórmico por la reacción vía fase-gas involucrando formaldehído, ozono y dióxido de nitrógeno, esto debido al uso de productos químicos empleados para la limpieza y mantenimiento de los museos.

La oxidación de formaldehído a ácido fórmico y otros productos en ambientes de museos no ha sido plenamente investigado (Brimblecombe, 1990).

Como se mencionó anteriormente, el museo se ubica en una zona comercial, turística y de intenso tránsito vehicular, donde los trabajos de bacheo son constantes, además de las condiciones meteorológicas que se presentaron durante el muestreo (vientos ligeros) permitiendo la dispersión de los contaminantes.

En el interior del Museo de Xalapa, Ver. (sitio 5), hubo muy poca variación, las máximas concentraciones obtenidas se pueden deber a la quema de zacate (práctica cercana al museo) y a las actividades de limpieza

La oficina cercana al centro de la Ciudad de México es el sitio donde la variación en la concentración se observó mejor, esto sugiere que la ventilación natural es más efectiva en este lugar. Para el Centro de Investigación (zona sur), las variaciones en la

concentración son muy pequeñas. Con relación a propionaldehído y butiraldehído no se presenta una diferencia marcada entre el interior y el exterior, esto posiblemente se debe a que los valores de concentración estuvieron por debajo del límite de detección.

En estos sitios está permitido fumar y la mayoría de los empleados son fumadores, el humo del cigarro representa una fuente de emisión muy importante de formaldehído y de los otros aldehídos, todos los sitios carecen de sistema de aire acondicionado y la ventilación es natural a través de puertas y ventanas (Gérin *et al.*, 1989; Merletti *et al.*, 1991; Goldoft *et al.*, 1993)

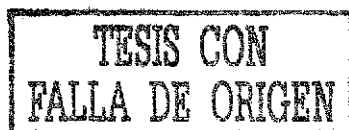
Por último, es importante mencionar que la diferencia en los resultados depende de varios factores, entre los que se encuentran las condiciones de las viviendas, situación geográfica, así como los períodos de actividad o inactividad durante el muestreo

## 4.2 AMBIENTES EXTRAMUROS

Es importante resaltar que la variación de la concentración de los aldehídos en ambientes exteriores, se debe atribuir a los siguientes factores que modifican los niveles de concentración

1. Las condiciones meteorológicas, velocidad y dirección del viento, temperatura y fenómenos de convección
2. La intensidad del flujo actínico, siendo éste un parámetro importante en la fotólisis de formaldehído y acetaldehído.

Por otro lado, cuando se consideran como fuente principal las emisiones antropogénicas, como los procesos de combustión y las emisiones industriales, la variación depende de la cantidad en que son emitidos a la atmósfera, lo que explica por qué las concentraciones son significativamente diferentes de un sitio a otro.



La casa de Tlalnepantla se localiza en una zona con alto desarrollo industrial y con intenso tránsito vehicular, próximo a la entrada a la autopista México-Querétaro, donde transitan en forma continua camiones de carga y autobuses turísticos. En este sitio se encontraron concentraciones muy altas

La casa de Satélite, se ubica en una zona residencial, donde sólo existe tránsito vehicular de transporte urbano y particular durante la mayor parte del día, por otro lado, las condiciones meteorológicas que prevalecieron durante el muestreo (vientos ligeros), permitieron la dispersión de los contaminantes en el ambiente, disminuyendo así el tiempo de permanencia, lo que podría explicar por qué se obtuvieron valores de concentración menor con respecto a Tlalnepantla.

Para el caso de los museos, las concentraciones obtenidas en el Museo Universum (zona sur) pueden ser de origen antropogénico, principalmente de emisiones vehiculares, esto debido a que esta zona presenta una baja densidad de fábricas y en donde además predominan las áreas verdes. Es una zona bien ventilada y es el área menos afectada por las tolvaneas. El museo está rodeado de grandes estacionamientos con tránsito vehicular constante

En el Museo Templo Mayor (zona centro) se registraron concentraciones similares a las del Museo Universum (zona sur), sin embargo los valores máximos para ambas zonas se presentaron a diferentes horas

Como se indicó anteriormente, el factor velocidad del viento y/o estabilidad atmosférica permiten establecer por qué los resultados de concentración variaron de un lugar a otro. En esta área se registran las concentraciones de gases contaminantes ( $\text{SO}_2$ , CO y óxidos de nitrógeno, entre otros) más altos de la ciudad, debido principalmente al intenso tráfico vehicular. Así mismo, la elevada densidad de edificios hace de esta zona la menos ventilada del área urbana

En el Museo de Antropología de Xalapa, la densidad de tráfico vehicular es elevada y constante, cerca del museo se lleva a cabo la quema de zacate de caña de azúcar y otro tipo de vegetación. En estudios realizados por Hernández *et al*, 1986, indican que los incendios forestales y la práctica de la quema de pastizales emiten al ambiente compuestos orgánicos como el acetaldehído y otros aldehídos.

El caso de las oficinas en exteriores, es similar al planteado en los sitios anteriores, en donde las condiciones meteorológicas permiten la dispersión de los contaminantes. Los resultados muestran que las máximas concentraciones encontradas son de origen antropogénico, las emisiones industriales y la actividad vehicular son un factor determinante en los resultados obtenidos, estas concentraciones en general, se presentaron en el transcurso de la mañana (08 00 a 12 00 h), este período se considera "**horas pico**", en donde la mayoría de las personas se transportan hacia sus lugares de trabajo y por consiguiente, el parque vehicular y la actividad industrial se encuentra al máximo.

Estadísticamente, no se encontró una asociación significativa entre temperatura y concentración de formaldehído y acetaldehído, tanto en ambientes intra como extramuros, con excepción de la oficina cercana al centro de la Ciudad de México, en donde se comprueba con el coeficiente de correlación de **Spearman**, una correlación significativa entre temperatura y concentración para el acetaldehído ( $p < 0.05$ ). En este trabajo, la temperatura no es un factor determinante en las concentraciones observadas de los aldehídos. Cabe señalar que en intramuros se presentó menor variación en la temperatura, con respecto a extramuros.

En esta investigación no fué posible realizar la comparación entre sitios, ya que el muestreo no fué simultáneo y se realizó en años y fechas distintas.

### **4.3 RAZONES INTRAMUROS / EXTRAMUROS**

El aporte de aldehídos al interior de las casas, depende del tipo de ventilación de las mismas, las concentraciones de aldehídos en intramuros fueron de 1 a 5 veces más altas que en exteriores.

Los resultados soportan la hipótesis de que las concentraciones en intramuros son más altas que las concentraciones en extramuros. Las fuentes de aldehídos en intramuros representan aportaciones significativas en los niveles de concentración. Cuando existe una fuente puntual de emisión en intramuros, la relación I/E es mayor a la unidad ( $I/E > 1$ ).

Resultados similares fueron obtenidos por Spiro y colaboradores (1996), durante el muestreo de diversas casas urbanas y suburbanas en Finlandia, donde se obtuvo una razón  $I/E > 1$ , en el 90% de los muestreos.

En nuestro caso en particular, el hecho de haberse presentado una mayor concentración en intramuros, nos indican la presencia de fuentes generadoras de aldehídos, que deben ser cuantificadas para su control.

### **4.4 EXPOSICIÓN**

En este estudio los resultados obtenidos rebasan los límites máximos permisibles para formaldehído en intramuros, este contaminante no debe rebasar  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.10 ppm) durante un período de exposición de 5 minutos en áreas ocupacionales de acuerdo a lo recomendado por The Federal-Provincial Advisory Committee On Environmental and Occupational Health, Canada (Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality, 1989).

Estudios en ambientes ocupacionales han mostrado estadísticamente que si hay asociación significativa entre la exposición de formaldehído y cáncer de garganta y nasofaríngeo. Esto se puede considerar como una medida de riesgo de cáncer por la U.S. EPA, 1990.



La EPA clasificó al formaldehído en el grupo B1, como un agente carcinogénico, con un nivel medio de riesgo por inhalación de  $1.3 \times 10^{-5} / \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y acetaldehído en el grupo B2, con un nivel medio de riesgo de cáncer por inhalación de  $2.2 \times 10^{-6} / \mu\text{g}/\text{m}^3$  (U S EPA, 1990)

Es importante tomar en cuenta que los resultados de exposición obtenidos, deben tomarse con mucha precaución para estudios posteriores, ya que para realizar un estudio de exposición y riesgo, deben considerarse las siguientes variables: la concentración del contaminante en cada microambiente, la razón de ventilación, la tasa de inhalación para cada individuo, además de contar con la aplicación de un cuestionario tiempo-actividad.

Otro aspecto que debe mencionarse, es que no se cuantificaron las fuentes internas de emisión de formaldehído y acetaldehído en intramuros y por lo tanto su contribución exacta no se conoce, además de que el período de muestreo fué muy corto

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

El análisis de las mediciones obtenidas permite llegar a las siguientes conclusiones.

1. En general, las concentraciones promedio horarias de formaldehído fueron más altas en ambientes intramuros que en extramuros. Los resultados obtenidos en la oficina del centro y sur donde existe fumadores compulsivos, sugieren que el humo del tabaco es una fuente importante de aldehídos.
2. El comportamiento temporal de los aldehídos mostró niveles de concentración variables en ambientes intramuros, durante el día, esta variabilidad puede deberse a la combinación de las actividades de los ocupantes, las fuentes internas de emisión, emisiones vehiculares, condiciones meteorológicas y localización del sitio de muestreo.
3. Las altas concentraciones de formaldehído y acetaldehído en las zonas norte y centro en exteriores, tienen influencia fotoquímica.
4. Con relación a los resultados obtenidos, la razón intramuros / extramuros (I/E) fue mayor a 1, en el 90% de los sitios, existiendo la posibilidad de que en ambientes intramuros las fuentes internas de emisión son las que contribuyen a los niveles de concentración obtenidos.
5. El aspecto de mayor importancia de este trabajo son los valores de exposición determinados en ambientes intramuros. Estos valores indican que los habitantes experimentan niveles de exposición que están por arriba de lo recomendado por la (Committee on Environmental and Occupational Health) Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality, 1989; que indica lo siguiente: para ambientes

intramuros residenciales donde se detecte más de un aldehído (formaldehído, acetaldehído etc.), la suma de las concentraciones obtenidas de cada uno de estos compuestos no debe ser  $> 0.75$  ppm, en un periodo de medición de ocho horas. Lo que significa que un estudio de exposición, debe considerar esta información para evaluar cuando se tiene un ambiente óptimo, además de que permite conocer el espectro completo de los efectos y las condiciones de la exposición.

- 6 La concentración de los contaminantes atmosféricos y el grado de exposición a los mismos, puede presentar variaciones importantes, dependiendo de las fuentes y del sitio donde se encuentran las personas. Los monitoreos en ambientes intramuros son una herramienta indispensable que nos permite establecer estudios de riesgo y la evaluación de la exposición de la población a los aldehídos.

En resumen, el objetivo planteado en este trabajo para evaluar la calidad del aire en ambientes intramuros y extramuros se logró. Por último, con base en los resultados y en la experiencia adquirida durante este estudio, considero que en la actualidad es necesario profundizar en el estudio de estos compuestos, realizando de ser posible un muestreo simultáneo temporal (época de secas y lluvia), ya sea en casas o en ambientes ocupacionales, para lograr entender el comportamiento de los aldehídos en ambientes intramuros.

## BIBLIOGRAFIA

- Alexandersson, R and Hedenstierna, G., 1989. Pulmonary function in wood workes exposed to formaldehyde. a prospective study *Aech. Environ. Health.* **44**, 5-11
- Altshuler, A.P., 1993. Production of aldehydes as primary emission and from secondary atmospheric reactions of alkenes an alkanes duting night and early morning hours. *Atmospheric Environment* **27a**, 21-32
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1991. Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH. **2**, 664-668
- American Industrial Hygiene Association. 1998. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J* **29**, 502.
- Anderson, L.G., J.A. Lanning, R. Barrel, J. Miyagishima, H.H. Jones and P. Wolfe. 1996. Sources and sinks of formaldehyde and acetaldehyde. An analysis of Denver's ambient concentration data. *Atmospheric Environment* **30**, 2113-2123
- Archeson, E. D., Barnes, H. R., Gardner, M.J., Osmond, C., Pannett, B. and Taylor, C., 1984c. Formaldehyde process workers and lung cancer. *Lancet*, 1066-1067
- Astrand, I. 1970. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Phsyssiologicala Scandinavica*. **49**, 169-173
- Báez, A.P., Padilla, H.G., and Belmont, D.R. 1995. Scavenging of atmospheric formaldehyde by precipitation. *Environ. Pollut.* **79**, 271-275.
- Báez, A.P., R. Belmont and H. Padilla. 1995. Measurements of formaldehyde and acetaldehyde in the atmosphere of Mexico city. *Environ. Pollut.* **89**, 163-167.
- Brimblecombe P. 1990. The composition of Museum Atmospheres. *Atmos Environ.* **24B**, 1-8
- Bravo A.H., C.R. Camacho, E.R. Sosa, J.G. Torres, and J.R. Torres. 1990. Indoor formaldehyde concentrations into office building in Mexico city. *Proceedings in indoor air 90 5<sup>th</sup> International Conference on indoor Air Quality and Climate. Canada*, **2**, 689-694.
- Boreiko, C.J., Regan, D.L. In 1983. Formaldehyde Toxicity. Gibson, J., De, Hemisphere. Washington, D.C. 63-71

- Calvert J.G., Heywood J.B., Sawyer R.F. y Seinfeld J.H. 1993. Achieve acceptable air quality. some reflection on controlling vehicle emission. *Science* **261**, 37-45
- Carlier P., H. Hannachi, and G. Mouvier. 1986. The chemistry of carbonyl compounds in the atmosphere -A review. *Atmos. Environ.* **20**, 2079-2099
- Casanova, M., Morgan, K.T., Steinhagen, W.H., Everitt, J.I., Popp, J.A. and Heck, H.A., 1991. Covalent binding of inhaled formaldehyde to DNA in the respiratory tract of rhesus monkeys. pharmacokinetics, rat-to-monkey interspecies scaling, and extrapolation to man. *Fundam. Appl. Toxicol.* **17**, 409-428
- Casanova, M., Morgan, K.T., Gross, E.A., Moss, O.R., and Heck, H.A., 1995. DNA-protein cross-links and cell replication at specific site in the nose of F344 subchronically to formaldehyde. *Fundam. Appl. Toxicol.*
- Comisión Metropolitana para la Prevención y el Control de la Contaminación en el Valle de México, 1995
- Dalbey, W.E. 1982. Formaldehyde and tumors in hamster respiratory tract. *Toxicology* **24**, 9-14.
- Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Ecología, Subdirección de inventario de emisiones y atención a contingencias, 1994
- Drewitt, G.B., Current, K., Steyn, D.G., Gillespie, T.J. and Niki, H. 1998. Measurement of biogenic hydrocarbon emissions from vegetation in the lower Fraser Valley, British Columbia. *Atmos. Environ.* **32**, 3454-3466.
- Druzik, C.M., Grosjean, D., Van Neste, A., and Parmar, S.S. 1990. Sampling of ambient carbonyls with DNPH-coated cartridges and liquid chromatography analysis with ultraviolet detection. *Int. J. Envir. Analyt. Chem.* **38**, 495-512
- Finlayson-Pitts, B.J. and J.N.P. Jr., 1986. *Atmospheric Chemistry. Fundamentals and Experimental Techniques.* John Wiley and Sons, Inc
- Fleisher J.M. y Nayerin K., 1991. Mortality and air pollution in London. a time series analysis. *Am. J. Epidemiol.* **133**, 631-633.
- Friedman, G.D. and Ury, H.K., 1983. Screening for possible drug carcinogenicity. second reporte of findings. *J. natl. Cancer Inst.* **71**, 1165-1175.

- Giese, M., Bauer-Doranth, U., Langebartels, C., and Sandermann, H., 1995 Detoxification of formaldehyde by the spider plant (*Chlorophytum comosum* L.) and by soybean (*Glycine max* L.) cell-suspension cultures. *Plant Physiol.* **104**, 1301-1309.
- Gérin, M., Siemiatycki, J., Nadon, L., Dewar, R. and Krewski, D., 1989 Cancer risks due to occupational exposure to formaldehyde results of a multi-site case-control study in Montreal. *Int. J. Cancer* **44**, 53-58.
- Goldoft, M., Weiss, N., Vaughan, T. and Lee, J., 1993 Nasal melanoma *Br J ind Med* , **50**, 767-768
- Grafstrom, R. C., Curren, R. D., Yang, L. L. and Harris, C. C., 1985. Genotoxicity of formaldehyde cultured human bronchial fibroblast. *Science*. **228**, 89-91.
- Grimaldi, F., Taibi, R., Bongrand, M. C., Timon-David, P. and Vialo, A. 1997. Risk assessment of exposure to aldehydic compounds in an hospital environment.
- Grosjean, D. 1982 Formaldehyde and other carbonyls in Los Angeles ambient air *Environ Sci Technol.* **16**, 254-262.
- Grosjean, E., and Grosjean, D. 1996 Carbonyl products of gas phase reaction of ozone with symmetrical alkenes. *Environ. Sci Technol* **30**, 2036-2044.
- Grosjean, E., Grosjean, D., Fraser, M.P. and Cass, G.R. 1996 Air quality model evaluation data for organics, 2 C<sub>1</sub>-C<sub>14</sub> carbonyls in Los Angeles air. *Environ Sci Technol.* **30**, 2687-2703
- Grosjean, E., Grosjean, D., Gunawardena, R. and Rasmussen, R.A. 1998. Ambient levels of ethanol and methyl-ter-butyl ether in Porto Alegre, Brazil. *Environ. Sci. Technol* **32**, 736-742
- Green, D. J., Bacom, R., Healey, E. M., Hebel, J. R., Sauder, L. R. and Kulle, T. J., 1989. Acute pulmonary response in healthy, nonsmoking adults to inhalation of formaldehyde and carbon. *J Toxicol Environ Health*, **28**, 261-275
- Guenther, A., Zimmerman, P. and Wildermuth, M. 1994 Natural volatile organic compound emission rate estimates for U.S. woodland landscapes *Atmos Environ* **28**, 1197-1210.
- Harris, J. C., B.H. Rumack, and F.D. Aldrich. 1991 Toxicology of urea formaldehyde and polyurethane foam insulation. *J. Am. Med. Assoc* **245**, 243-246.

- Haszpra, L.L., Szilagy, A.A., Demeter, T. Trany, and T. Berces. 1991 Non-methane hydrocarbon and aldehyde measurements in Budapest, Hungary. *Atmos. Environ* **25A**, 2103-2110
- Hernandez, T.T., and Bauer, L.I., 1986 Photochemical oxidant damage on *Pinus hartwegii* at the Desierto de los Leones, D.F. *Phytopathology* **76**, 377.
- Heck, H.A. and Casanova, M., 1995 Nasal dosimetry of formaldehyde modeling site-specificity and the effects of pre-exposure. *Inhal. Toxicol.* **89**, 122-134.
- IMP, 1994. Mexico city air quality research initiative Characterization and measurement Estudio global de la calidad del aire Instituto Mexicano del Petróleo IV México
- Isidorov, V.A., I.G. Zenkevich and B.V. Ioffe. 1985. Volatile organic compounds in the urban atmosphere of forest. *Atmos. Environ.* **19**, 1-8
- IUPAC, Analytical Chemistry Division, Commission of Analytical Nomenclature for Chromatography. *Pure Apply. Chem.* **37**, 447.
- Kerns, W.A., Paukov, K.L., Donofrio, D.J., Gralla, E.J. and Swenberg, J.A., 1983<sup>a</sup> Carcinogenicity of formaldehyde in rats and mice after long-term inhalation exposure *Cancer Res.* **43**, 4382-4392.
- Kimbell, J.S., Gross, E.A., Joyner, D.R., Godo, M.N. and Morgan, K.T., 1993 Application of computational fluid dynamics to regional dosimetry of inhaled chemicals in the upper respiratory tract of the rat. *Toxicol. appl. Pharmacol.*, **121**, 253-263.
- Kimmerer, T.W. And MacDonald, R.C., 1987. Acetaldehyde and ethanol biosynthesis in leaves of plant. *Plant Physiol.* **84**, 1204-1209
- Kreuzwieser, J., Schnitzler, J.-P., and Steinbrecher, R. 1999 Biosynthesis of organic compounds emitted by plants. *Acta Botanica.* **1**, 149-159
- Leaderer, B.P., W.S. Cain, R. Isseroff and L.G. Berglund, 1994 Ventilation required in building ii Particulate matter and carbon monoxide from cigarette smoking. *Atmos. Environ* **18**, 99-106
- Leahmann, W.F. and Roffael, E. 1992. International guidelines and regulations for formaldehyde emissions. In: *Proceeding of the 26<sup>th</sup> Washington State University International Particleboard/Composite Materials Symposium*, Pullman, WA Washington State University, 124-150

- Lioy J.P., 1990. Assessing total human exposure to contaminants. *Environ Sci Technol.* **24**, 938-945.
- Luce, D., Gérin, M, Leclerc, A, Morcet, J F., Brugere, J. and Goldberg, M., 1993. Sinusal cancer and occupational exposure to formaldehyde and other substances. *Int. J. Cancer*, **53**, 225-231.
- McMurry, P.H. and Grojean, D. 1985. Photochemical formation of organic aerosols: growth laws and mechanisms. *Atmos. Environ.* **19**, 1445-1451
- Merletti, F. Boffetta, P. Ferro, G., Pisani, P. and Terracini, B., 1991. Occupation and cancer of the oral cavity or oropharynx in Turin, Italy. *Saund J Work Environ. Health*, **17**, 248-254
- Miksch, R.R., 1981. *Analyt. Chem.* **60**, 622-626
- Miller J.C. and J.N. Miller 1993. *Estadística para química analítica*. Addison –Wesley Iberoamericana, Wilmington, Delaware.
- Morgan, K.T., Kimbell, J.S., Monticello, T.M., Patra, A.L. and Fleishman, A., 1991. Studies of inspiratory airflow patterns in the nasal passages of the F344 rat and rhesus monkey using nasal mold: relevance to formaldehyde toxicity. *Toxicol appl. Pharmacol.*, **110**, 223-240
- Muramatsu S., Matsumura T. and Okamoto, 1990. The ratio of indoor and outdoor measurements of nitrogen dioxide and formaldehyde. In *indoor air 90 Proceedings of the Air Quality and Climate Canada*, **2**, 561-654
- Paustenbach, D.J., Jernigan, J.D., Finley, B.L., Ripple, S.R. and Keenan, R.E. 1990. The current practice of health risk assessment. Potential impact on standards for toxic air contaminants. *J. Air Waste Manage Assoc.* **40**, 1620
- Preuss P.W., Dailey, R.L. and Lehman, E.S. 1985. Exposure to formaldehyde. In: Turoski, V., ed, *Formaldehyde. Analytical Chemical Toxicology* **210**, 247-259.
- Priha, E., Vuorinen, R. and Schimberg, R. 1988. *Textile finishing agent*, Helsinki. Finnish Institute of Occupational Health
- Romieu, I. 1992. Epidemiological studies of health effects of air pollution due to motor vehicles. Mage, D. y Zali, O. (eds) *Motor Vehicle Air Pollution. Public Health Impact and Control Measures*. World Health Organization (WHO). Geneva



- Romieu, I. 1995 Effects of urban air pollutants on emergency visits for child-hood asthma in Mexico City 1995. *Am. J. Epidemiol* **141**, 1524-1531
- Rosas I., Yela A., Arreguín R. Y Rodriguez-Romero A., 1995. Preliminary assessment of protein associate with airborne particles in Mexico City *Aerobiologia*, **11**, 81-86
- Risby, T H., Sehnert, S S., Jakab, G.J and Hemenway, D.R., 1990. Model to estimate effective doses of adsorbed pollutants on respirable particles and their subsequent release into alveolar su-factant I Validation of the model for the adsorption and release of formaldehyde on a respirable carbon black. *Inhal. Toxicol.*, **2**, 223-239.
- Roussel A , 1983. Impact medical des pollutions d'origine automobile (rapport) *Revue Pollution Atmospherique* 99 july-september
- Schmid, E , Goggelmann, W and Bauchinger, M 1986. Formaldehyde- induce cytotoxic, genotoxic and mutagenic response in human lymphocytes and Salmonella typhimurium *Mutagenesis* **1**, 427-431
- Schuetzele, D , Siegl, W O., Jensen, E.T, Dearth, M.A Kaiser, E.W , Gorse, E.R., Kreucher, W., Kulik, E., 1992 The relationship between gasoline composition and vehicle hydrocarbon emission: a review of current, studies and future research needs. *Environmental Health Perspectives*. pp 3-12.
- Sosa E R. (Tesis de Maestría), 1991. Evaluación de la calidad del aire en el interior de un edificio en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México
- Stewart, P A., Herrick, R.F., Feigley, C.E , Utterback, D F., Hornung, R , Mahar, H., Hayes, R., Douthit, D.E and Blair, A. 1992. Study design for assessing exposures of embalmers for a case- control study Part I. Monitoring results. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* **7**, 532-540
- Sturges W.T., Schenell R C y Larndsberger S , 1991 Bromine and surface ozone atmospheric chemistry at Barrow, Alaska during Spring 1989. En *International conference on the role of the popular regions in global change: Proceedings* Vol **2**, 751-755
- Stupfel, M 1976. Resent advances in investigations of toxicity of automotive exhaust. *Environ Healt Prespectives*. **17**, 258-79.
- Thompson, A.M. 1980 Wet and dry removal of tropospheric formaldehyde at a coastal site. *Tellu* **32**, 376-383

- Tingey, D , Turner, D and Weber, J. 1991. Factors controlling the emission of monoterpenes and other volatile organic compounds. Trace gas emissions by plants 93-115. Academic Press, San Diego.
- Uotila, L and Koivusalo, M , 1979 Purification of formaldehyde and formate dehydrogenase from pea seeds by affinity chromatography, and S-formylglutathione as the intermediate of formaldehyde metabolism. Arch Biochem Biophys **196**, 33-45.
- United States National Institute of Occupational Safety and Health. 1992. NIOSH Recommendations for Occupational Safety and Health Compendium of policy Documents and Statements, Cincinnati, OH, Division of Standards Development and Technology Transfer. **84**, 92-100
- U.S. EPA (Environmental Protection Agency), 1980. Human Exposure to Formaldehyde Draft report (contract no 68-01-5791) by Versar, Inc for Office of Pesticides and Toxic Substances, pp. 70-72, 103, 107
- U.S. EPA (Environmental Protection Agency), 1990 Sampling of ambient carbonyls with DNPH-coated cartridges and liquid chromatography analysis with ultraviolet detection, in Compendium Method TO-11
- Waters, 1994 Waters Sep-Pak DNPH-Silica cartridge Care and use Manual Waters Corporation, Milford, MA
- World Health Organization (WHO), 1989 Formaldehyde Environmental Health Criteria **89**, Geneva
- Williams, D.M Revitt, R.S. Hamilton , 1996. A comparison of carbonyl compound concentrations at urban roadside and indoor sites. The Sci. of the Tot Environ., 475-483
- Woutersen, R.A , Appelman, L.M , Wilmer, J.W.G.M , Falke, H.E and Feron, V.J , 1987. Subchronic (13 week) inhalation toxicity study of formaldehyde in rats J. appl Toxicol., **7**, 43-49
- Yager, J.W , Cohn, K.L., Spear, R.C Fisher, J.M. and Morse, L.M. 1996 sister-chromatid exchanges in lymphocytes of anatomy students exposed to formaldehyde-embalming solution. Mutat Res **174**, 135-139.

- Zafiriou, O C , Alford, G , Herrera, M , Peltzer, E.T. and Gagosian, R. B., 1980. Formaldehyde in remote marine and rain Flux measurements and estimates Geophys Res. Lett **28**, 341-344.
- Zhang Junfeng, He Qingci and Liou Paul, 1994. Characteristics of Aldehydes Concentrations, Sources and Exposures for Indoor and Outdoor Residential Microenvironments. Environ Sci Technol , **28**, 146-152
- Zweing R M., 1992 Pollution solution/revisited. Int J Hydrogen Energy , **17**, 219-225

**ANEXO 1. BASE DE DATOS DE LOS ALDEHÍDOS MUESTREADOS**

DIA	HORA	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR
		CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO
22	8-10	35.58	12.52	1.90	4.65	2.40	5.77	1.34	0.97
23	8-10	30.78	12.71	11.90	0.97	7.41	6.37	1.74	4.05
24	8-10	38.57	21.00	0.47	0.97	16.41	15.74	4.39	7.70
25	8-10	41.68	22.38	5.95	8.47	17.38	16.45	4.74	8.87
26	8-10	42.44	17.89	4.11	6.86	8.66	7.97	2.04	7.25
22	10-12	34.93	16.69	3.88	11.05	12.55	16.33	4.27	6.87
23	10-12	32.49	16.25	9.51	0.97	7.51	6.42	1.51	3.12
24	10-12	38.95	23.34	7.53	0.97	18.08	15.66	4.15	8.49
25	10-12	48.91	28.34	7.49	8.59	13.26	11.99	3.13	4.41
26	10-12	37.55	20.14	4.32	9.60	11.87	10.44	2.51	6.95
22	12-14	22.56	21.87	5.98	17.51	19.97	15.85	4.46	7.06
23	12-14	23.61	18.62	7.57	0.97	12.62	10.51	2.34	5.57
24	12-14	36.41	20.49	6.03	0.97	12.46	10.28	2.44	6.57
25	12-14	44.22	24.55	5.68	7.16	6.24	4.31	0.47	3.09
26	12-14	48.90	26.13	6.00	10.36	20.27	17.81	4.13	11.54
22	14-16	21.73	9.94	2.37	8.08	6.66	6.55	1.74	4.33
23	14-16	40.46	22.80	8.07	0.97	11.84	9.72	2.29	5.82
24	14-16	39.56	17.91	4.99	0.97	8.42	6.52	1.89	4.99
25	14-16	37.77	20.04	4.48	10.02	5.95	3.96	0.47	3.32
26	14-16	49.74	25.49	5.85	8.99	9.15	7.38	1.98	6.14
22	16-18	19.38	6.67	6.56	4.09	3.71	2.08	0.47	2.42
23	16-18	49.09	27.78	9.89	0.97	11.50	8.54	2.03	6.17
24	16-18	35.60	19.48	5.52	0.97	5.32	2.90	0.47	3.77
25	16-18	43.80	14.51	3.14	5.77	6.34	4.13	0.47	3.73
26	16-18	43.32	17.66	4.03	6.31	9.99	5.52	1.59	5.90

**Tabla 14.-** Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) muestreados en ambientes intramuros y extramuros, sitio 1. (Casa Satélite) Zona norte, Marzo de 1997.

Formaldehído (CH<sub>2</sub>O)

Acetaldehído (CH<sub>3</sub>CHO)

Propionaldehído (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>CHO)

Butiraldehído (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CHO)

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

DIA	HORA	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR
		CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO
5	840	52.27	33.21	6.32	7.45	20.41	18.79	5.09	6.60
6	840	69.40	43.00	8.03	10.93	27.52	29.77	7.52	10.19
7	840	69.01	52.13	11.17	15.22	47.43	46.93	12.10	15.94
8	840	44.21	17.36	3.25	4.78	4.89	2.88	0.25	1.80
9	840	40.73	17.78	3.02	5.65	6.60	6.98	1.99	4.13
5	1042	31.60	19.30	4.33	6.32	10.98	10.54	4.44	4.83
6	1042	61.20	49.69	11.43	14.50	49.69	44.09	11.56	15.08
7	1042	57.50	46.44	10.91	14.12	41.39	35.30	8.95	11.97
8	1042	57.03	26.87	4.13	4.55	5.13	3.46	0.25	2.67
9	1042	36.14	21.53	5.57	5.97	10.51	9.03	2.37	3.53
5	1244	24.56	14.78	3.41	7.55	11.85	9.66	2.47	7.73
6	1244	37.97	21.28	5.84	11.02	31.34	22.49	5.10	8.97
7	1244	27.76	12.95	2.71	6.00	19.17	9.18	1.95	5.07
8	1244	40.65	11.87	2.43	5.83	6.92	4.06	0.25	2.59
9	1244	12.22	8.25	2.22	6.27	10.79	8.94	2.13	3.26
5	1446	31.58	16.05	3.97	6.64	10.74	9.12	2.04	7.25
6	1446	47.76	33.90	14.55	9.61	24.97	16.59	3.85	7.16
7	1446	68.35	35.01	13.30	7.15	16.84	7.80	1.70	3.32
8	1446	57.51	28.86	5.72	4.74	4.75	3.06	0.25	2.49
9	1446	20.51	14.78	3.13	4.25	11.10	9.55	1.89	3.39
5	1648	81.35	40.68	7.34	11.24	11.42	8.08	2.49	7.62
6	1648	40.10	30.03	6.66	9.27	23.87	17.19	3.86	8.83
7	1648	61.37	29.11	4.84	6.29	10.27	5.44	0.25	3.37
8	1648	61.63	26.53	3.38	3.45	5.46	2.53	0.25	1.74
9	1648	37.52	22.98	5.52	6.49	8.70	7.68	1.71	3.34

**Tabla 15.-** Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) muestreados en ambientes intramuros y extramuros, sitio 2. (Casa Tlalnepantla) Zona norte, Noviembre de 1996.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIA	HORA	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR
		CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO
8	941	23.41	7.23	2.19	2.47	10.85	8.78	2.34	2.94
9	941	30.04	5.20	0.25	0.21	8.30	7.45	2.15	3.82
10	941	20.95	4.61	1.43	4.12	7.48	5.77	1.55	4.87
11	941	32.33	13.68	4.44	6.00	17.63	14.12	4.28	4.91
14	941	28.10	12.80	4.02	5.44	18.16	13.19	3.96	4.50
8	1143	38.00	17.80	5.54	5.80	15.19	12.51	3.72	6.04
9	1143	36.34	12.77	4.01	4.42	21.05	17.79	4.89	7.24
10	1143	36.95	13.23	4.19	7.15	15.17	12.45	3.83	5.69
11	1143	41.57	15.08	4.56	6.38	13.39	10.45	2.96	7.84
14	1143	33.13	13.62	4.71	5.48	14.65	11.77	3.43	4.78
8	1345	59.26	22.44	6.16	8.62	26.18	22.94	5.71	9.69
9	1345	51.31	21.67	5.75	10.50	22.33	20.67	5.09	10.28
10	1345	30.05	9.05	2.85	4.99	11.89	10.31	2.91	5.35
11	1345	38.30	9.81	3.15	5.29	12.92	10.49	2.71	4.55
14	1345	32.22	11.74	3.47	5.30	12.87	10.26	2.63	4.12
8	1547	37.38	18.19	5.21	7.28	16.68	15.43	3.87	6.37
9	1547	19.80	6.50	2.24	3.87	12.18	11.09	2.75	6.81
10	1547	28.16	4.40	0.25	3.18	7.34	5.67	1.56	3.42
11	1547	32.35	8.55	2.78	4.81	5.65	6.04	1.39	3.01
14	1547	39.12	10.59	3.34	5.47	8.25	7.90	2.05	3.14

**Tabla 16.**- Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) muestreados en ambientes intramuros y extramuros, sitio 3. (Museo Universum) Zona sur, Abril de 1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIA	HORA	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR
		CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO
17	941	31.48	15.64	4.27	4.45	12.97	14.14	3.32	4.34
18	941	21.39	13.53	3.68	4.42	27.12	28.18	7.31	7.79
19	941	37.63	23.95	6.59	2.95	16.05	19.83	4.63	1.09
20	941	41.44	30.05	8.26	6.55	28.91	30.34	8.04	2.04
21	941	31.53	16.03	4.03	5.31	20.80	18.57	4.91	4.45
17	1143	26.69	16.54	5.08	3.86	5.94	14.52	2.80	3.16
18	1143	24.32	17.92	4.25	4.10	6.97	16.97	2.68	3.04
19	1143	27.67	17.85	5.01	1.45	14.47	12.53	3.01	0.68
20	1143	35.71	33.71	9.39	6.08	32.14	27.98	6.86	7.08
21	1143	43.42	29.71	6.29	4.13	13.72	12.31	2.73	0.21
17	1345	21.61	12.89	3.42	3.36	12.54	13.48	3.65	4.19
18	1345	20.61	12.80	3.61	0.21	9.56	12.00	2.32	2.30
19	1345	18.11	10.40	2.80	0.62	9.51	8.49	1.90	0.21
20	1345	26.77	18.64	5.79	3.42	20.37	19.13	4.84	7.29
21	1345	27.56	14.76	3.34	2.48	9.52	7.85	1.66	0.59
17	1547	31.45	15.93	4.25	3.89	12.25	11.70	2.68	2.68
18	1547	14.63	7.83	2.35	0.21	9.39	9.74	2.04	2.54
19	1547	13.80	6.69	1.97	0.59	6.72	8.26	2.02	0.21
20	1547	25.20	14.22	4.20	3.54	3.00	12.44	2.51	4.63
21	1547	22.27	7.05	1.73	0.21	11.68	8.17	1.85	0.21

**Tabla 17.-** Concentración de los aldehidos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) muestreados en ambientes intramuros y extramuros, sitio 4. (Museo Templo Mayor) Zona centro, Marzo de 1998.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



DÍA	HORA	INTERIOR		INTERIOR		INTERIOR		EXTERIOR		EXTERIOR		EXTERIOR	
		CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO
4	9-11	9.25	4.96	1.29	4.60	4.97	4.31	1.01	4.31	1.01	4.31	1.01	3.11
7	9-11	5.74	4.55	1.04	2.53	4.87	6.85	1.31	6.85	1.31	6.85	1.31	2.19
8	9-11	6.48	3.83	0.25	3.27	4.13	5.43	0.25	5.43	0.25	5.43	0.25	2.55
9	9-11	8.68	3.76	0.25	2.77	4.15	4.31	0.25	4.31	0.25	4.31	0.25	2.00
10	9-11	6.93	4.42	0.99	1.40	5.20	4.90	0.98	4.90	0.98	4.90	0.98	2.03
4	11-13	14.97	5.67	1.31	5.15	5.09	5.43	0.25	5.43	0.25	5.43	0.25	3.85
7	11-13	9.14	5.63	1.34	3.52	6.11	6.42	1.16	6.42	1.16	6.42	1.16	2.08
8	11-13	5.73	4.06	0.25	3.03	3.47	15.17	0.25	15.17	0.25	15.17	0.25	1.78
9	11-13	13.44	4.20	0.88	3.27	3.57	3.90	0.25	3.90	0.25	3.90	0.25	2.10
10	11-13	10.45	4.52	0.97	3.11	4.70	3.59	0.25	3.59	0.25	3.59	0.25	2.08
4	13-15	19.16	7.12	1.58	7.17	5.39	5.43	0.25	5.43	0.25	5.43	0.25	4.57
7	13-15	11.60	5.13	1.16	3.61	3.58	4.81	0.25	4.81	0.25	4.81	0.25	2.16
8	13-15	4.55	4.75	1.05	2.55	3.05	4.81	0.25	4.81	0.25	4.81	0.25	2.08
9	13-15	15.54	4.51	0.25	3.93	3.95	4.05	0.25	4.05	0.25	4.05	0.25	2.45
10	13-15	14.09	4.97	1.10	3.60	5.31	4.02	0.89	4.02	0.89	4.02	0.89	2.61
4	15-17	14.35	4.55	0.94	5.16	4.12	7.03	0.25	7.03	0.25	7.03	0.25	4.38
7	15-17	10.71	5.39	0.25	2.59	3.61	15.65	0.25	15.65	0.25	15.65	0.25	1.92
8	15-17	11.44	6.45	1.30	3.68	4.02	5.56	0.25	5.56	0.25	5.56	0.25	2.29
9	15-17	19.67	4.83	0.92	3.51	4.22	4.14	0.25	4.14	0.25	4.14	0.25	2.50
10	15-17	17.14	7.70	1.38	4.02	5.39	4.42	0.25	4.42	0.25	4.42	0.25	2.49

**Tabla 18.-** Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) muestreados en ambientes intramuros y extramuros, sitio 5 (Museo Xalapa, Ver). Julio de 1997

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

DIA	HORA	INTERIOR		INTERIOR		INTERIOR		EXTERIOR		EXTERIOR		EXTERIOR	
		CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO
14	8-10	82.9	28.8	17.6	9.8	7.16	10.70	2.77	4.13				
15	8-10	94.8	38.2	14.1	10.6	32.16	28.81	7.44	9.95				
16	8-10	89.2	27.5	8.4	9.3	29.36	24.81	6.35	8.08				
17	8-10	79.4	29.2	5.4	9.3	43.12	33.79	12.49	13.08				
18	8-10	109.8	55.1	8.6	12.3	26.06	19.74	5.22	6.24				
14	10-12	88.4	36.3	12.4	10.9	14.59	12.91	3.42	5.71				
15	10-12	109.1	73.9	17.1	15.9	55.50	49.23	13.43	13.75				
16	10-12	87.9	64.6	14.6	17.2	52.72	47.57	13.41	14.11				
17	10-12	110.7	60.4	13.5	15.4	63.10	59.95	15.90	16.66				
18	10-12	98.3	49.2	8.2	10.4	17.46	13.44	3.22	5.51				
14	12-14	92.9	36.5	9.8	10.7	29.89	25.50	6.51	7.83				
15	12-14	93.0	54.3	13.5	14.5	31.62	24.81	6.26	8.60				
16	12-14	100.6	52.2	11.6	15.0	29.30	25.11	6.14	8.02				
17	12-14	121.8	70.3	17.9	16.8	42.84	37.13	9.70	12.54				
18	12-14	95.1	32.5	5.0	7.8	9.44	5.87	1.44	2.84				

**Tabla 19.-** Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) muestreados en ambientes intramuros y extramuros, sitio 6. (Oficina Centro), Octubre de 1996.

DIA	HORA	INTERIOR		INTERIOR		INTERIOR		EXTERIOR		EXTERIOR		EXTERIOR	
		CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO
19	9-11	94.8	20.0	3.5	2.6	6.12	4.81	1.04	2.07				
20	9-11	68.8	18.8	2.9	2.1	7.23	5.08	1.10	2.39				
19	11-13	71.7	14.8	2.7	3.3	12.74	10.21	2.60	3.41				
20	11-13	81.1	22.6	3.3	2.2	7.28	5.82	1.00	1.49				
19	13-15	106.3	33.9	5.7	3.3	13.94	9.25	2.25	3.11				
20	13-15	90.3	23.4	3.6	2.9	7.37	5.83	1.17	1.48				
19	15-17	80.9	21.8	3.4	2.0	4.87	2.79	0.25	0.21				
20	15-17	104.3	25.5	4.2	3.6	8.00	5.68	1.10	0.21				
19	17-19	80.5	22.7	2.7	3.6	4.57	2.35	0.25	0.21				
20	17-19	103.3	31.2	3.9	2.4	7.62	5.78	0.91	0.21				

**Tabla 20.-** Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) muestreados en ambientes intramuros y extramuros, sitio 7 (Oficina Sur), Octubre de 1998.

DIA	HORA	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR
		CH <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	CHO	CH <sub>3</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO
3	8-10	26.1	20.3	5.4	5.4	24.2	24.2	26.65	23.03	6.26	6.26	8.12
25	10-12	32.6	26.3	0.2	0.2	10.5	10.5	28.28	22.04	5.81	5.81	7.30
26	10-12	23.8	14.4	0.2	0.2	42.7	42.7	13.52	8.52	0.25	0.25	6.36
27	10-12	36.2	37.7	15.5	15.5	13.2	13.2	38.19	32.15	8.82	8.82	9.61
28	10-12	29.1	23.6	7.9	7.9	7.8	7.8	24.84	18.73	4.92	4.92	6.45
3	10-12	32.0	27.6	9.6	9.6	39.0	39.0	35.89	28.81	7.70	7.70	9.95
25	12-14	22.9	17.6	0.2	0.2	8.2	8.2	24.31	18.56	4.29	4.29	8.26
26	12-14	24.0	16.7	0.2	0.2	8.0	8.0	18.88	13.22	3.30	3.30	4.19
27	12-14	27.2	22.0	7.3	7.3	8.5	8.5	25.17	23.28	5.32	5.32	10.03
28	12-14	22.2	13.3	5.0	5.0	6.6	6.6	12.89	9.75	2.34	2.34	3.08
3	12-14	28.1	21.6	7.1	7.1	18.2	18.2	29.15	23.27	5.60	5.60	7.06
25	14-16	30.4	24.0	0.2	0.2	4.7	4.7	18.04	15.41	3.26	3.26	6.97
26	14-16	21.5	9.5	0.2	0.2	4.5	4.5	6.12	4.79	0.25	0.25	0.21
27	14-16	20.3	8.9	0.2	0.2	4.3	4.3	8.10	6.25	0.25	0.25	3.79
28	14-16	16.9	8.5	3.1	3.1	3.4	3.4	9.39	6.59	1.38	1.38	2.13
3	14-16	24.6	15.7	5.4	5.4	40.7	40.7	18.93	13.89	3.22	3.22	5.17

**Tabla 21.** - Concentración de los aldehídos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) muestreados en ambientes intramuros y extramuros, sitio 8. (Centro de Ciencias de la Atmosfera) Zona sur, Marzo de 1998.

## **ANEXO 2. CROMATOGRAMAS DE RESULTADOS**

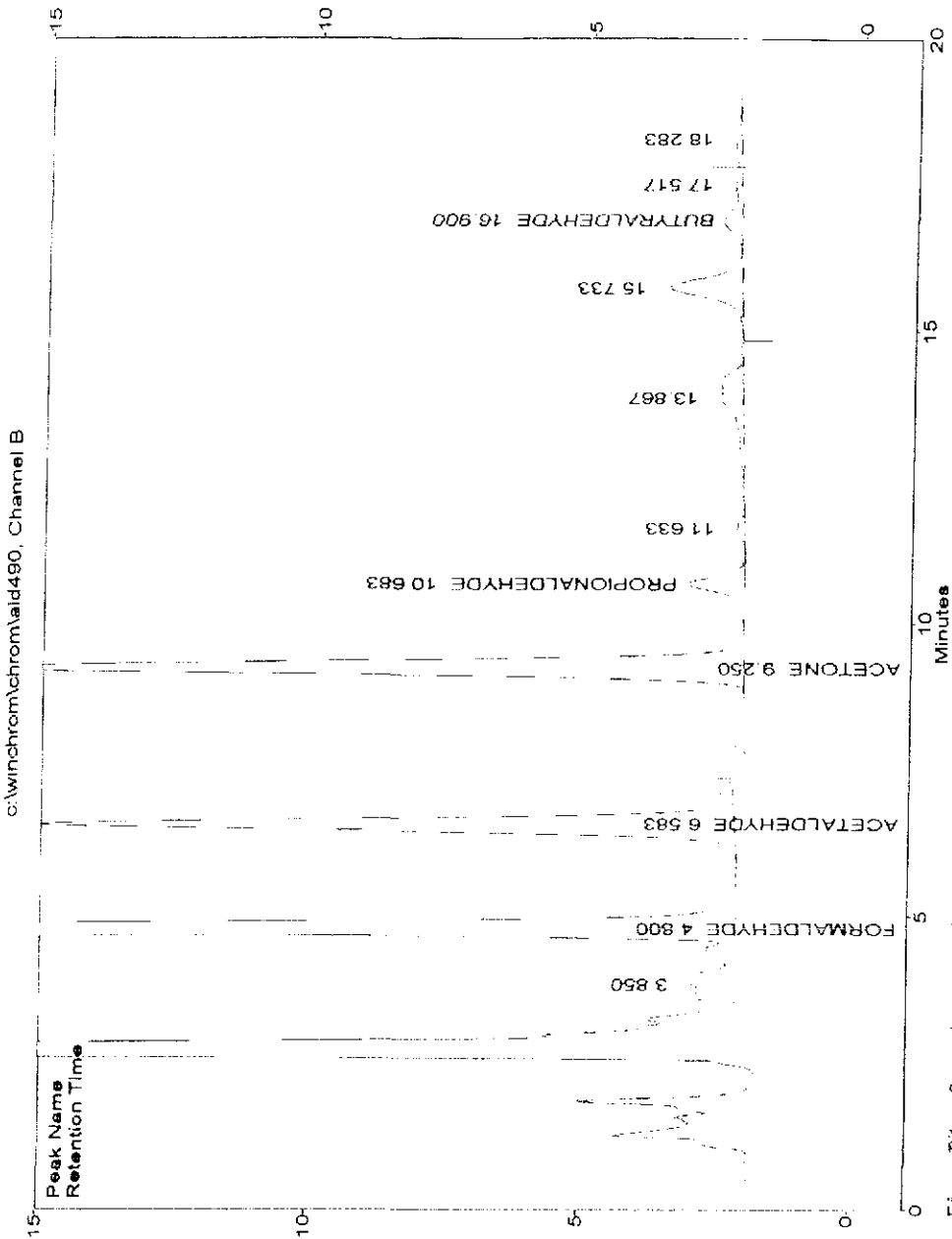


Fig. 21.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 1 (casa Satélite), zona norte, de 10:00 a 12:00 horas del 24 de marzo en intramuros.

C 23

C 23

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

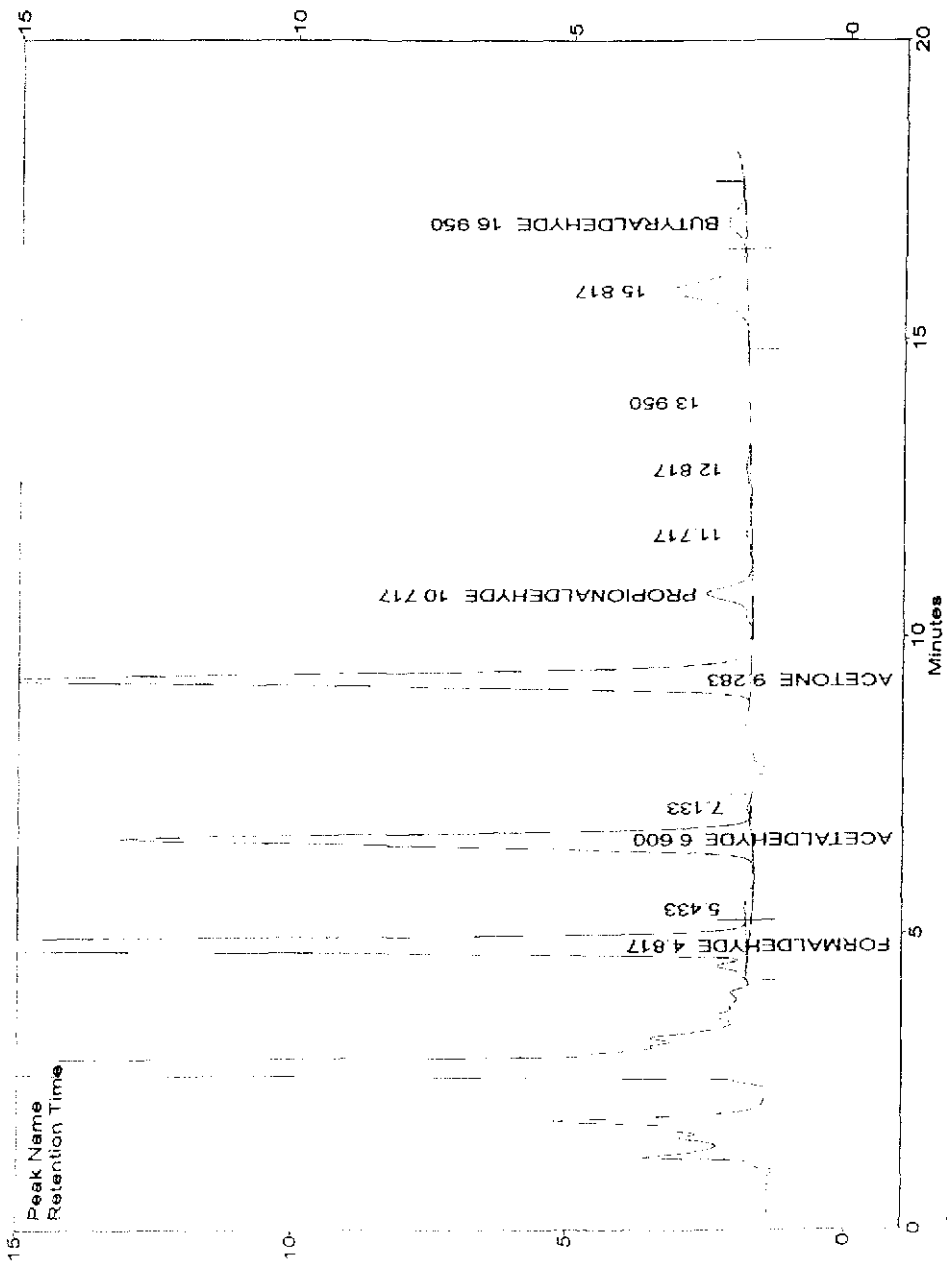


Fig. 42.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 1 (casa Satélite), zona norte, de 10:00 a 12:00 horas del 24 de marzo en extrámos.

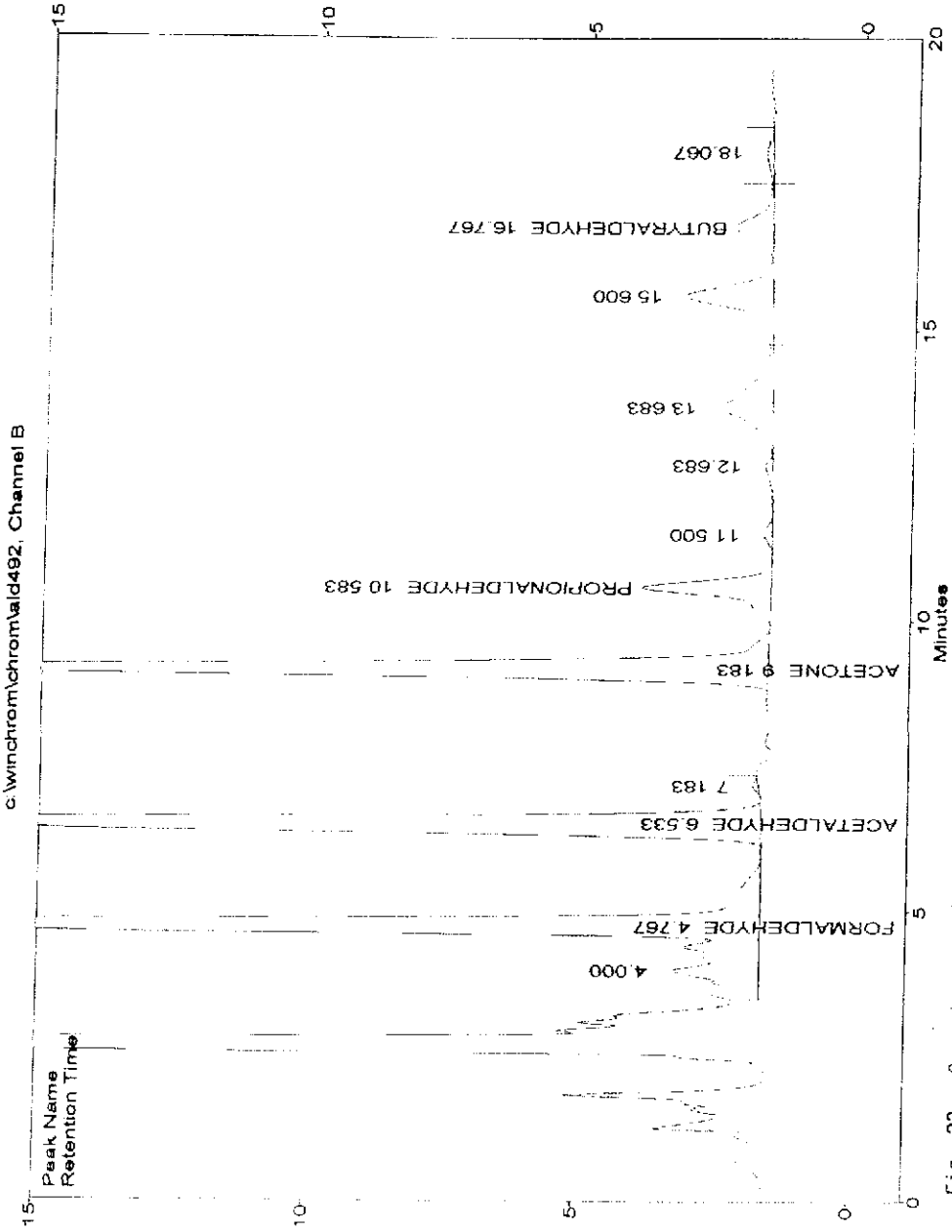


Fig. 23.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 2 (casa Tlaineptla), zona norte, de 12:00 a 14:00 horas del 6 de noviembre en intramuros.

CAD

97

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CAD

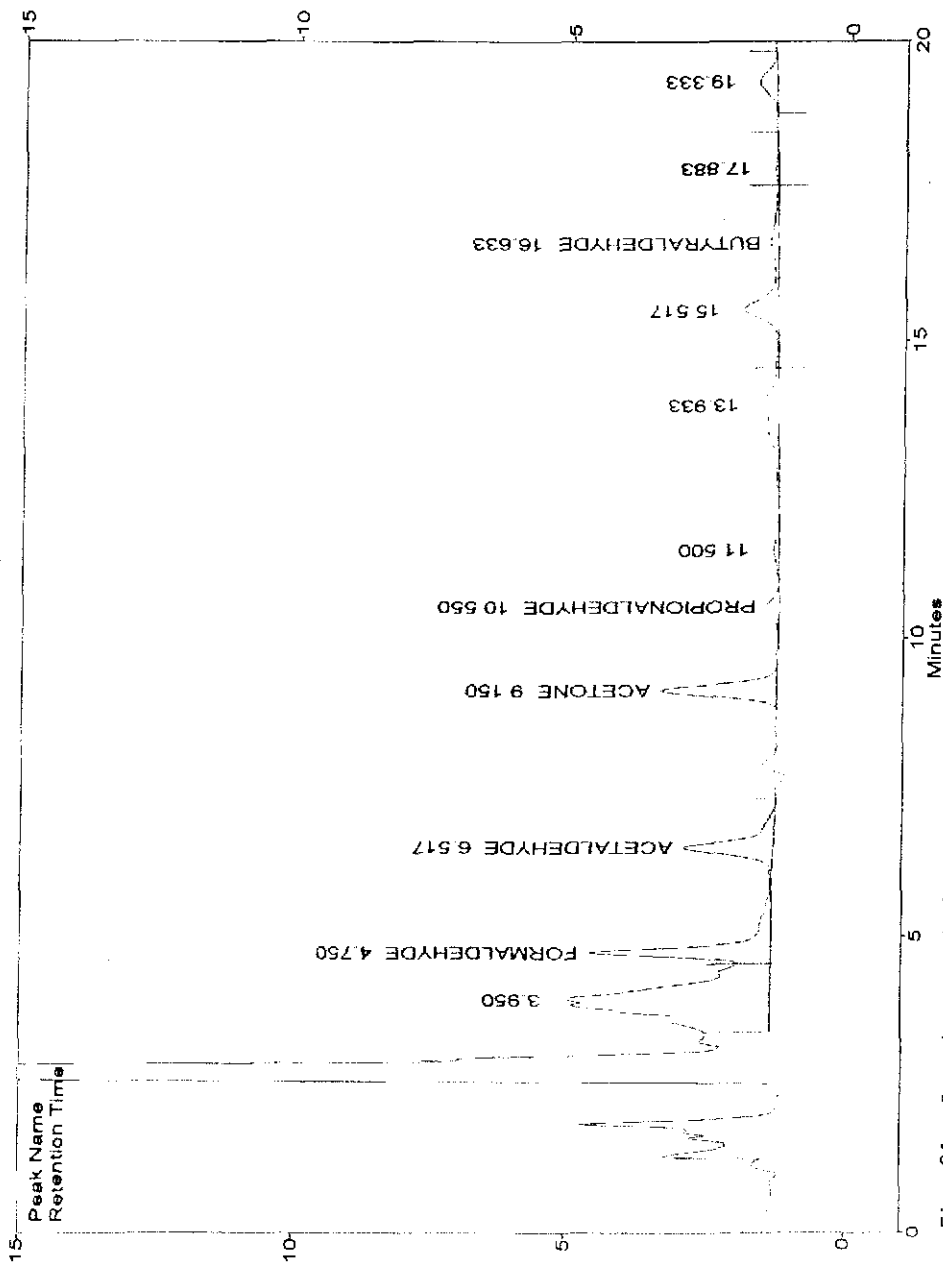


Fig. 24.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 2 (casa Tlalnepantla), zona norte, de 12:00 a 14:00 horas del 6 de noviembre en extramuros.

CAD

CAD

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



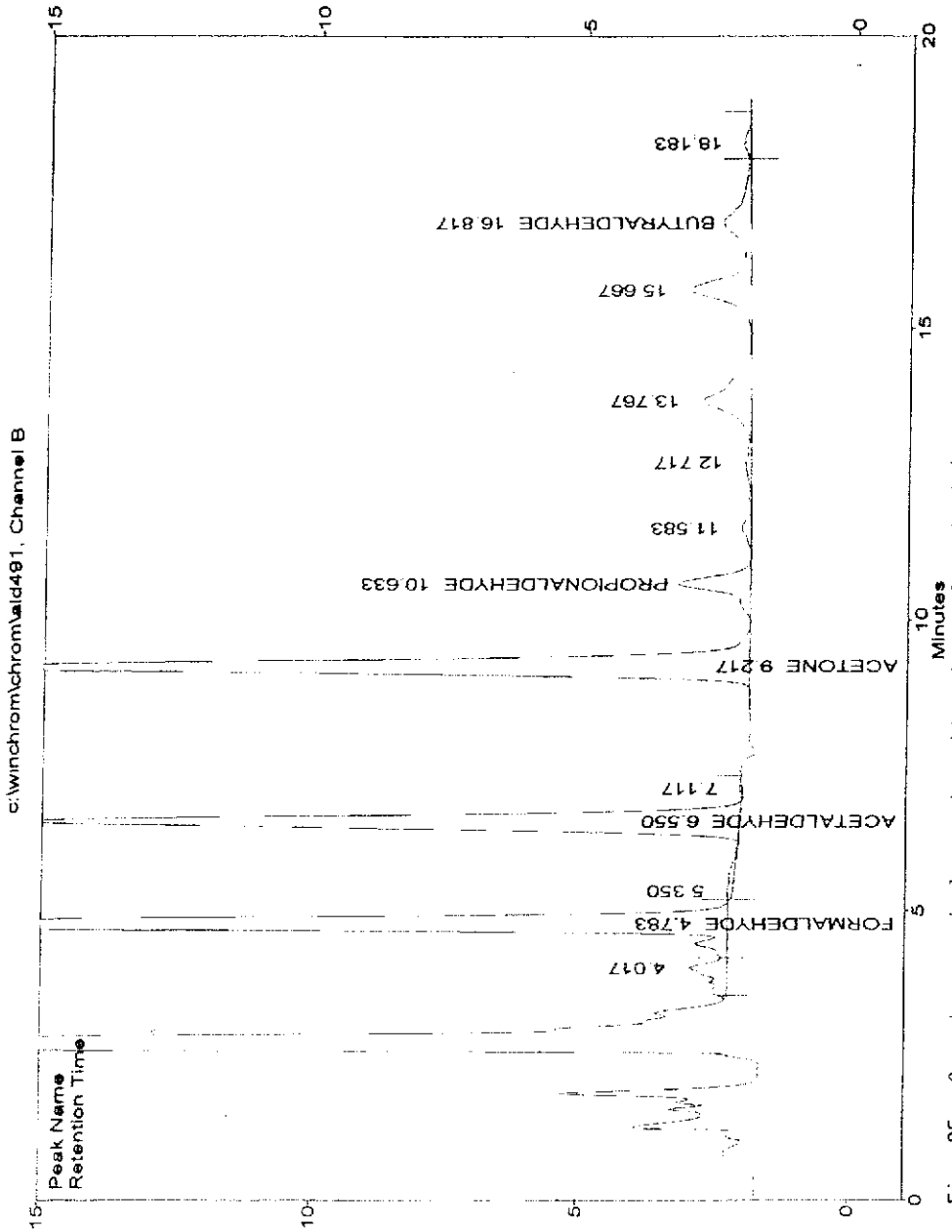


Fig. 25.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 3 (Museo Universum), de 11:00 a 13:00 horas del 14 de abril en intramuros.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

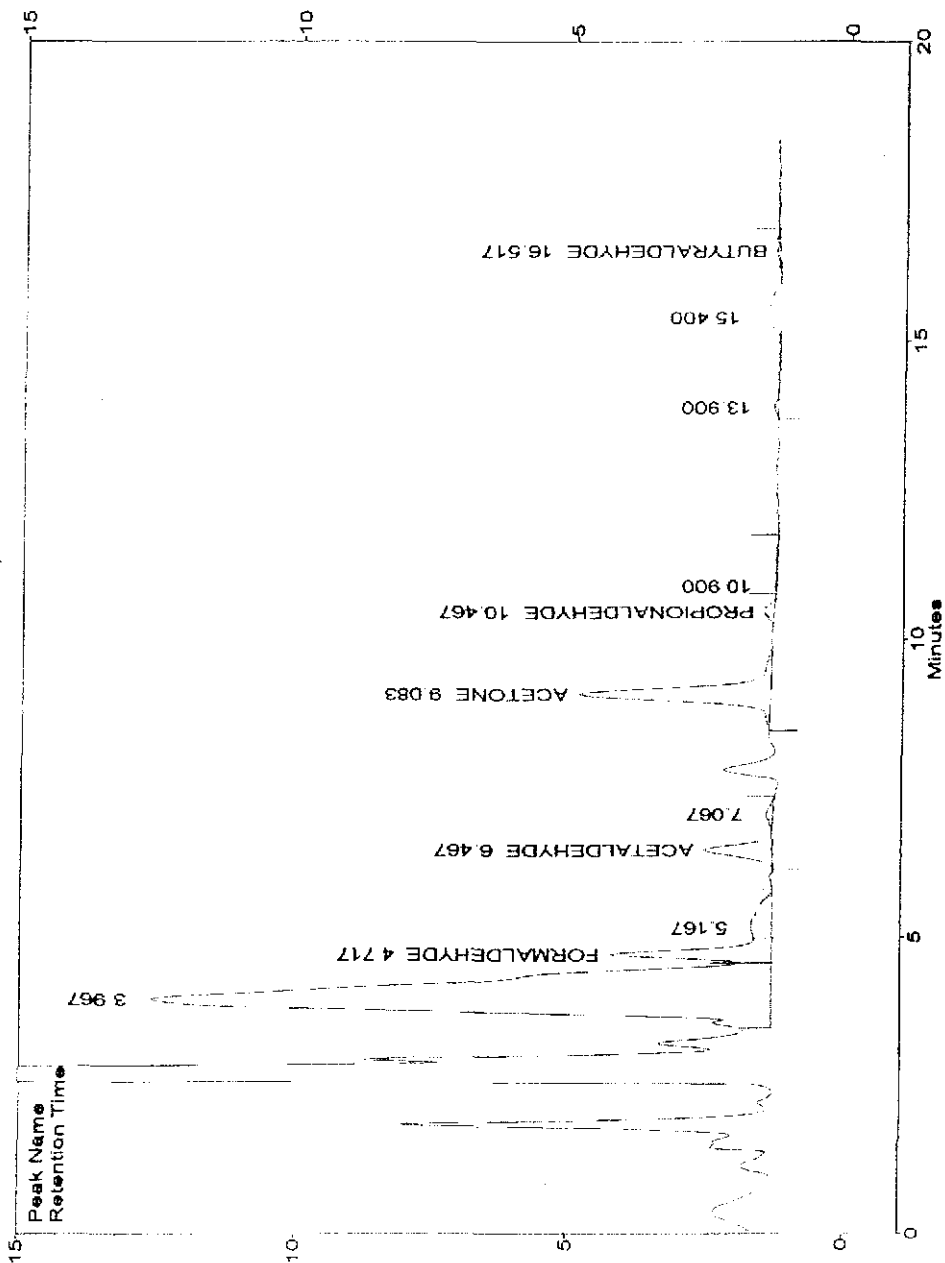


Fig. 26.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 3 (Museo Universum), de 11:00 a 13:00 horas del 14 de abril en extramuros.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

c:\winchrom\chrom\aid4488, Channel B

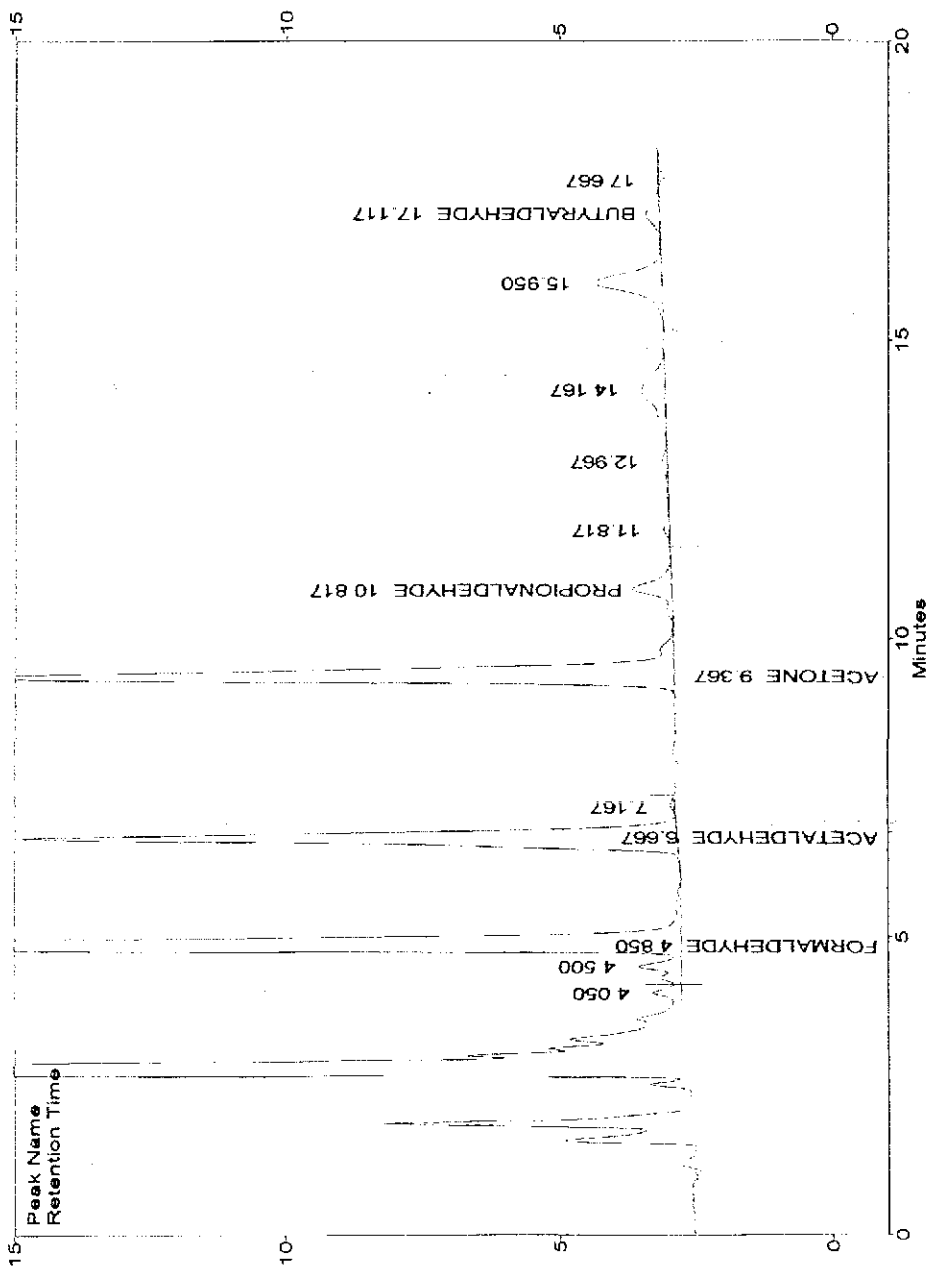


Fig. 27.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 4 (Museo Templo Mayor), de 11:00 a 13:00 horas del 21 de marzo en intramuros.

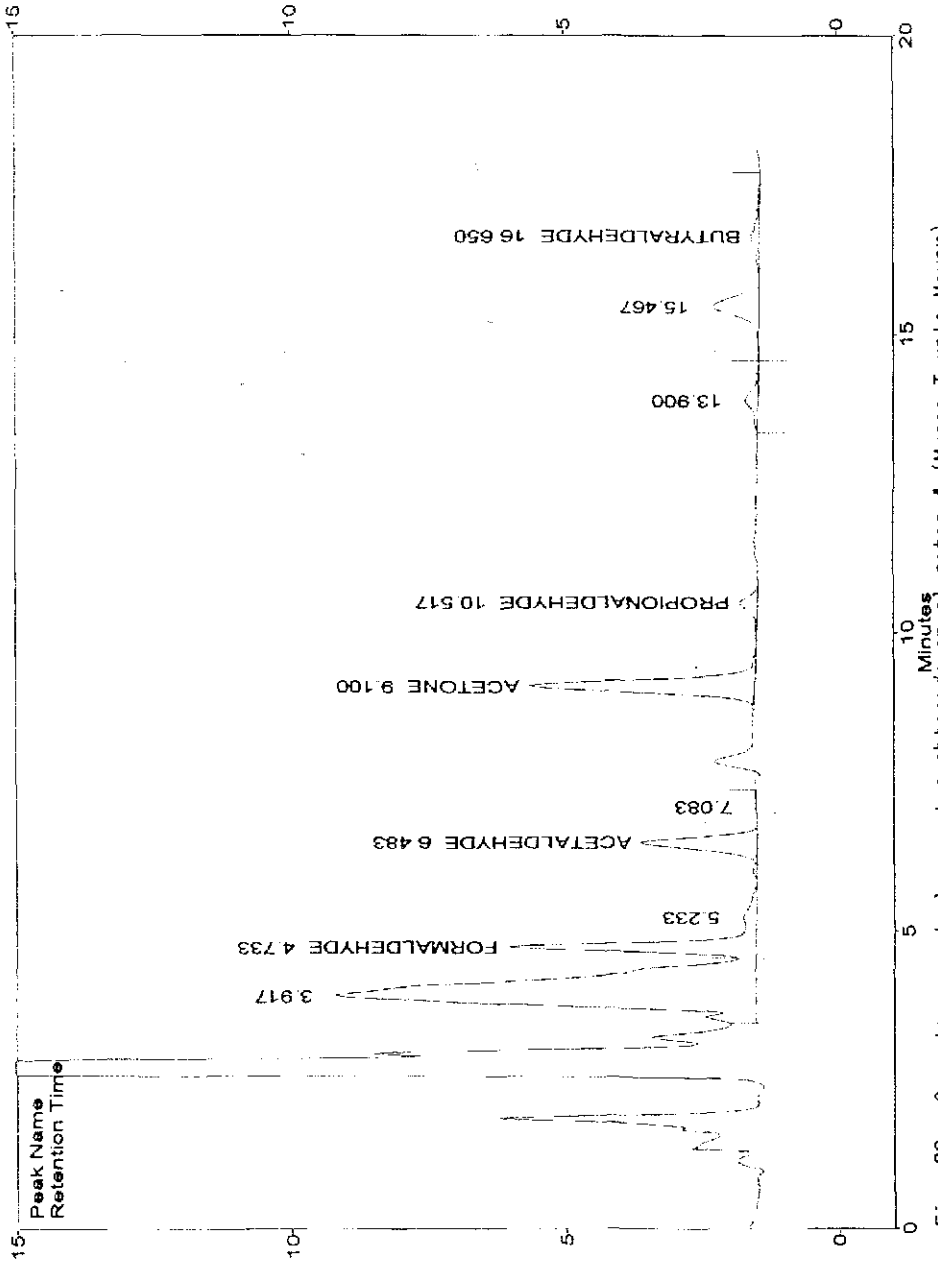


Fig. 28.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 4 (Museo Templo Mayor), de 11:00 a 13:00 horas del 21 de marzo en extramuros.

CY 3

CY 3

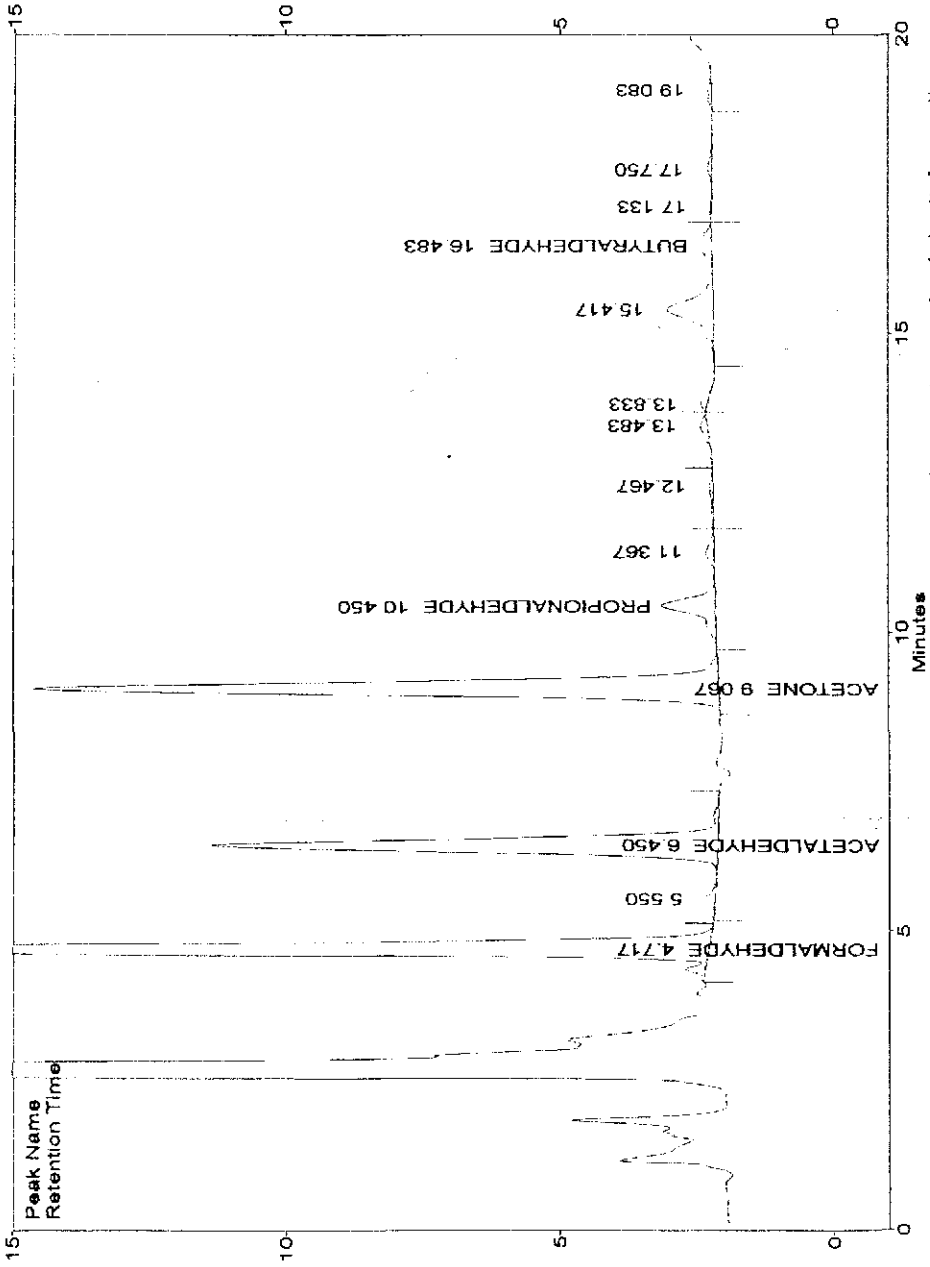


Fig. 23.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 5 (Museo Antropología), Xalapa, Ver., de 11:00 a 13:00 horas del 10 de julio en intramuros.

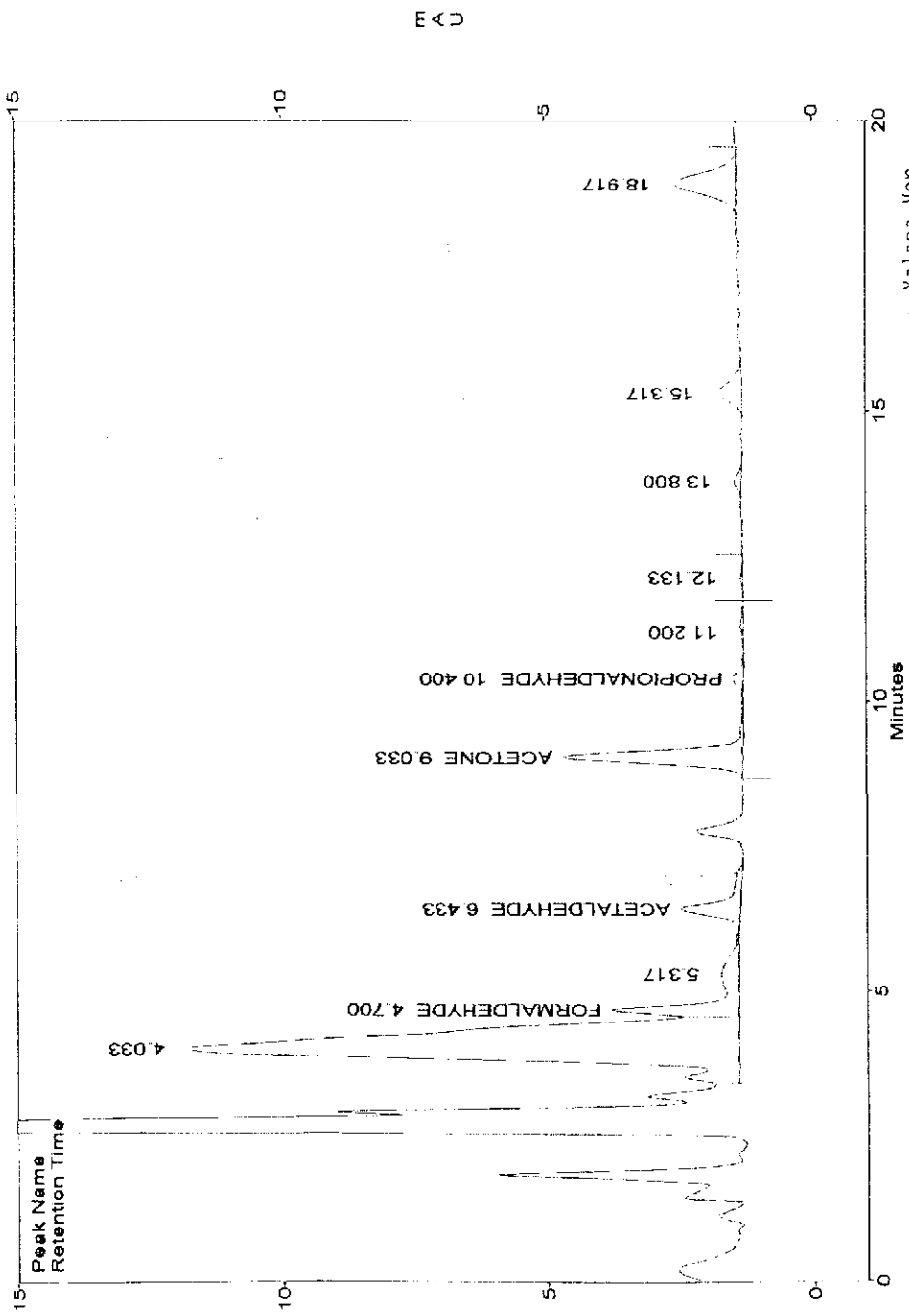


Fig. 30.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 5 (Museo Antropología), Xalapa, Ver., de 11:00 a 13:00 horas del 10 de julio en extramuros.

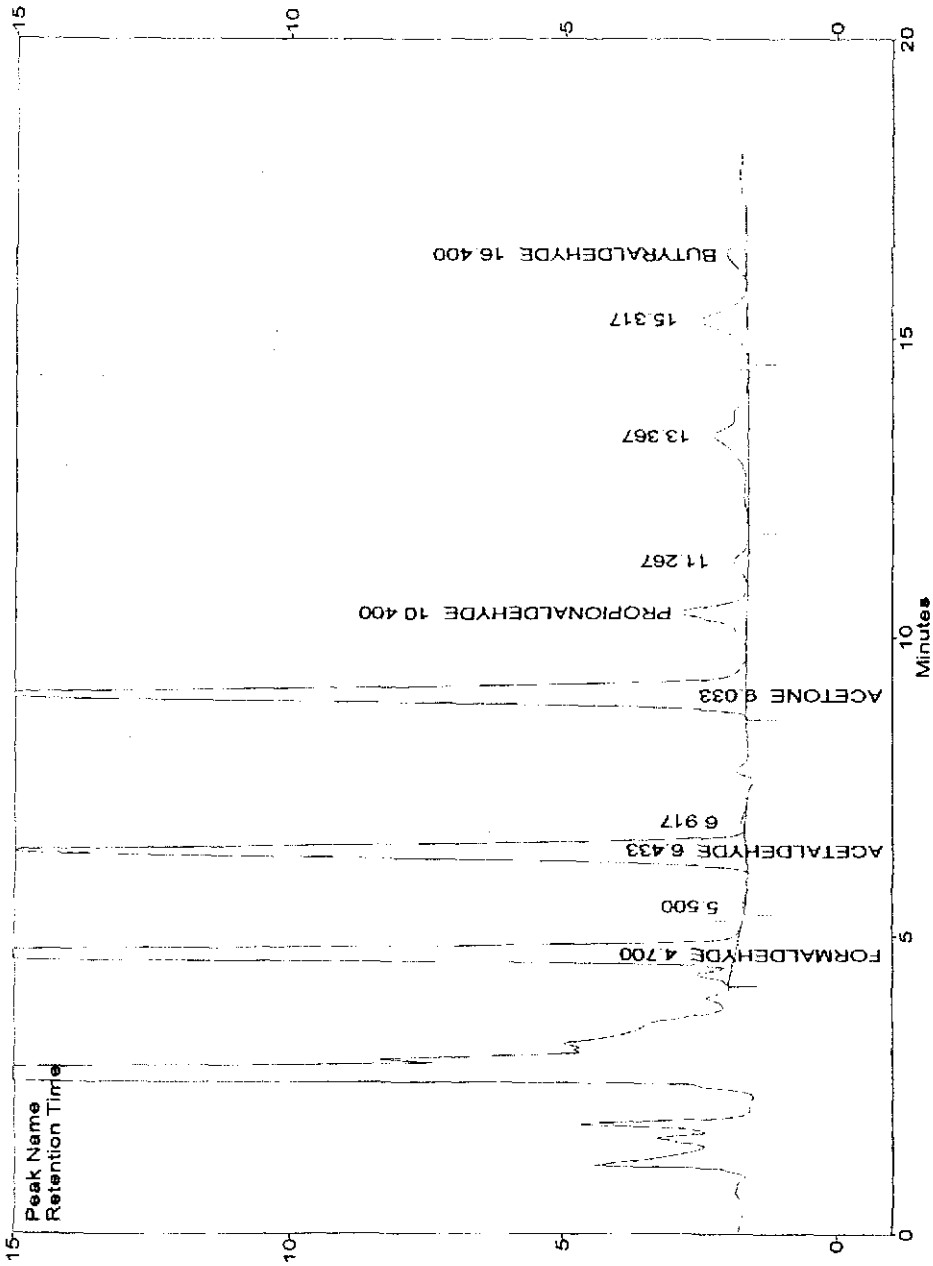


Fig. 31.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 6 (oficina centro), de 10:00 a 12:00 horas del 14 de octubre en intramuros.

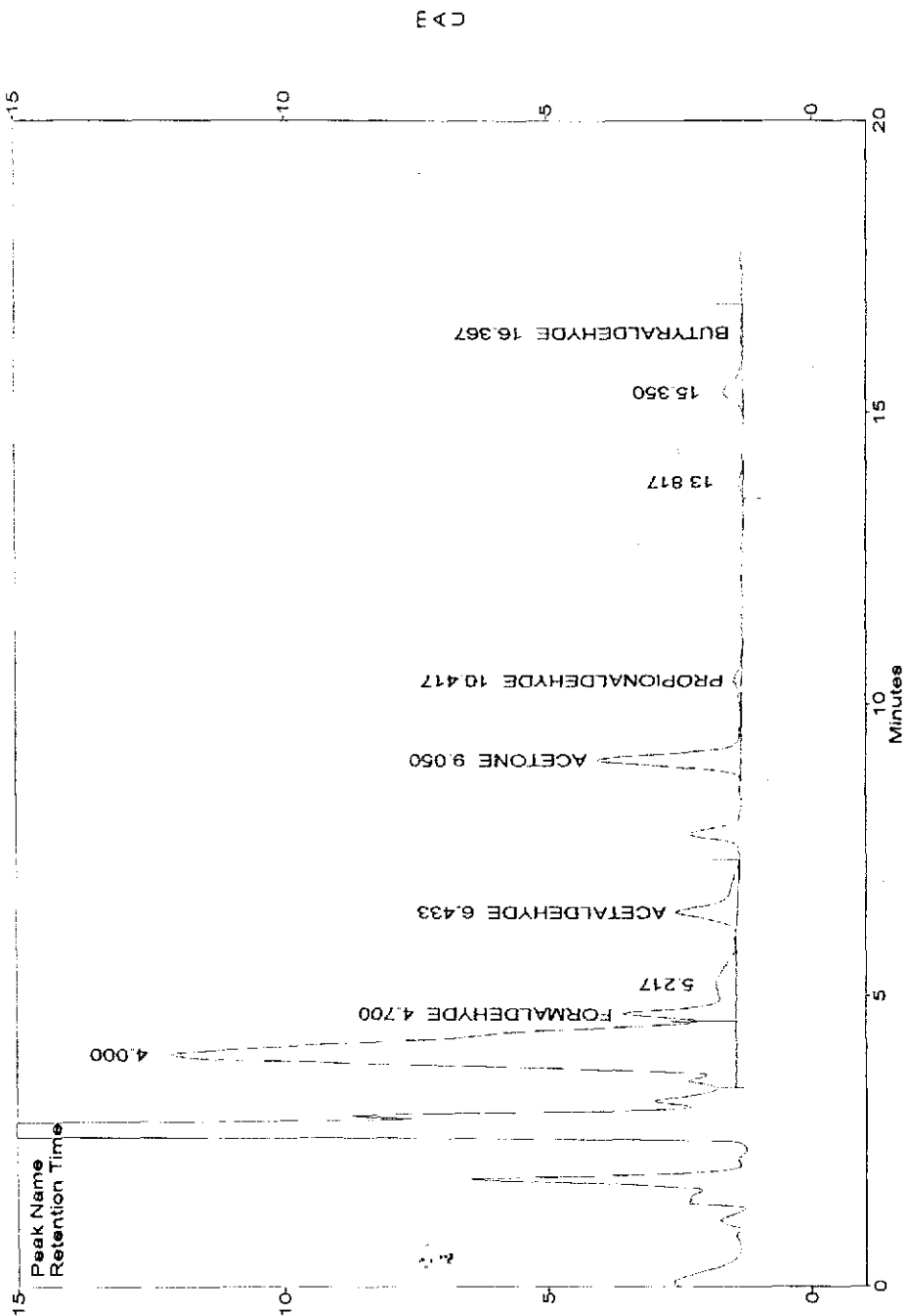


Fig. 32.- Cromatograma de la muestra obtenida en el sitio 6 (oficina centro), de 10:00 a 12:00 horas del 14 de octubre en extramuros.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN