

10530


5



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

"DETERMINACION DE PARTICULAS SUSPENDIDAS
TOTALES (PST) DE UNA ZONA URBANA
(CUAUTITLÁN IZCALLI)"  Departamento de
Exámenes Profesionales

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN QUÍMICA INDUSTRIAL

P R E S E N T A :

JOSE DE JESUS GOMEZ ARAUJO

ASESORES: Q. MARIA DE LAS MERCEDES MONTEMAYOR Y GARCIA
DR. JOSE LUIS ITURBE GARCIA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZANDO
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Determinación de Partículas Suspendidas
Totales (PST) de una zona urbana

(Cuautitlán Izcalli)

que presenta al pasante: José de Jesús Gómez Araujo
con número de cuenta: 9656744-3 para obtener el título de:
Licenciado en Química Industrial

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 12 de Junio de 2002

PRESIDENTE	Dra. Frida Ma. León Rodríguez	<i>Frida León</i>
VOCAL	Q. Victoria Hernández Palacios	<i>Victoria P</i>
SECRETARIO	Q. Mercedes Montemayor García	<i>M. Montemayor</i>
PRIMER SUPLENTE	Q. Graciela Martínez Cruz	<i>Graciela</i>
SEGUNDO SUPLENTE	M. en C. Verónica Altamirano Lugo	<i>Verónica</i>

Agradecimientos:

Mis sinceros agradecimientos a los que hicieron posible la realización de este trabajo:

Al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), por la beca y la facilidades otorgadas, las cuales fueron de gran ayuda.

A todo el personal que ahí labora, en especial a mis asesores:

José Luis Iturbe García e
Irma García Sosa.

Quienes con sus conocimientos y experiencia llevaron a buen fin este proyecto.

A mis compañeros becarios

Verónica Gutierrez
Carmen García y
Alfredo Mendieta

Que hicieron de mi estancia algo inolvidable y muy placentero.

Al director, profesores y personal de intendencia de la Escuela Secundaria Oficial 546 "Profr. Gerardo Torres Quintero" por permitir colocar el monitor en sus instalaciones, por el gran interés mostrado y las facilidades otorgadas.

A mis profesores y amigos de la FESC.

María de la Mercedes Montemayor García

Victoria Hernández Palacios

A la maestra Anita y al Profr. Porfirio

Que siempre me apoyaron a lo largo de toda la carrera.

Finalmente a mis inseparables amigos

Felipe Cruz y

Abel Godínez

Quienes estuvieron conmigo en las buenas y las malas.

A todos ellos muchas *Gracias*

Dedicado a:

Todas aquellas personas que de alguna manera intentan hacer algo por mejorar **nuestro único** medio ambiente, que luchan por el bienestar ecológico de los que nos suceden y que en su nombre no se rendirán hasta crear la conciencia que con urgencia hace falta.

Mis padres, hermanos y amigos que están al pendiente de mi trabajo y que tuvieron que soportar mis malos ratos.

J.Jesús Gómez Martínez que aunque lejos físicamente, siempre tiene la palabra de aliento para mí.

A mi compañera y amiga que con su amor y apoyo incondicional ha hecho de mi lo que hasta ahora soy "Ranita ALFD"

Para todos ustedes con mucho cariño.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
3. GENERALIDADES	5
3.1 Contaminación atmosférica en la Cd. de México.....	5
3.1.1 Condiciones físicas y geográficas	
3.1.2 Población de la Ciudad de México	
3.1.3 Fuentes de contaminación	
3.1.4 Principales daños a la salud	
3.2 Partículas	10
3.2.1 Generalidades	
3.2.2 Clasificación	
3.2.3 Propiedades	
3.3 Parámetros meteorológicos	13
3.4 Determinación de la concentración de contaminantes atmosféricos	14
3.4.1 Determinación de partículas suspendidas totales	
3.5 Monitoreo del aire	16
3.6 Normatividad (Salud ambiental).....	17
3.7 Antecedentes del monitoreo en la Cd. de México.....	18
3.8 Efectos de la contaminación a la salud	19
3.9 Cuautitlán Izcalli	21
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL	24
4.1 Muestreo	24
4.1.1 Localización	
4.2 Equipo de Monitoreo	25
4.2.1 Diseño	
4.2.2 Componentes	
4.2.3 Funcionamiento	
4.3 Programa de monitoreo	30
4.3.1 Preparación de muestras	
4.3.2 Análisis de agua de lluvia	
5. RESULTADOS.....	37
5.1 Condiciones meteorológicos	37
5.1.1 Primavera	
5.1.2 Verano	

5.2 Microanálisis.....	45
5.3.1 MEB	
5.3.2 Micrografías	
5.3.3 ICP	
5.4 Publicaciones de la Red Automática de monitoreo Ambiental	56
6. CONCLUSIONES	57
7. ANEXOS	58
8.1 Instrumentación	59
8.1.1 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)	
8.1.2 Espectroscopia de Emisión Atómica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)	
8. BIBLIOGRAFÍA	61

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes, y es resultado de las actividades del hombre. Las causas que originan esta contaminación son diversas, pero el mayor índice lo producen el sector del transporte y la industria¹.

Cualquier sustancia añadida a la atmósfera que produzca un efecto perjudicial sobre las personas o el medio puede ser clasificado como contaminante². El término contaminación atmosférica inició en forma frecuente en la década de los setenta por los habitantes de las grandes ciudades ya que para ese entonces se hizo evidente el deterioro en la calidad del aire. Desde la época de la revolución industrial las actividades humanas han afectado de manera considerable la composición química del aire atmosférico.

La combustión empleada para obtener calor, generar energía eléctrica o movimiento, es el proceso de emisión de contaminantes más significativo. Existen otras actividades, tales como la fundición y la producción de sustancias químicas, que pueden provocar el deterioro de la calidad del aire si se realizan sin control alguno.

Cada persona en promedio respira diariamente de 14 a 18 Kg de aire mientras que sólo consume de 1.5 a 2 Kg de agua en una o en otra forma y no más de 0.7 Kg de materia sólida seca como alimento³. El hombre sólo sobrevive unos pocos minutos sin aire mientras que logra mantenerse vivo durante días sin beber agua y durante semanas sin ingerir alimentos. Aunque se ha insistido durante mucho tiempo sobre la necesidad de agua potable y alimentos no contaminados, únicamente en los últimos años se ha empezado seriamente a reconocer la importancia que para la salud tiene el aire limpio.

El aire puro es una mezcla gaseosa compuesta por un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y un 1% de diferentes compuestos tales como el argón, el dióxido de carbono y el ozono.

Entendemos pues por contaminación atmosférica cualquier cambio en el equilibrio de estos componentes, lo cual altera las propiedades físicas y químicas del aire.

Los principales contaminantes del aire se clasifican en:

PRIMARIOS :

Son los que permanecen en la atmósfera tal y como fueron emitidos por la fuente. Para fines de evaluación de la calidad del aire se consideran: óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas.

SECUNDARIOS :

Son los que han estado sujetos a cambios químicos, o bien, es el producto de la reacción de dos o más contaminantes primarios en la atmósfera. Entre ellos destacan los oxidantes fotoquímicos y algunos radicales de corta existencia que forman el ozono troposférico.

A nivel nacional, la contaminación atmosférica se limita a las zonas de alta densidad demográfica o industrial. Las emisiones anuales de contaminantes en el país son superiores a 16 millones de toneladas⁴.

En la Ciudad de México se genera 23.6 % de dichas emisiones, en Guadalajara el 3.5 %, y en Monterrey el 3 %. Los otros centros industriales del país generan el 70 % restante⁵.

El fenómeno de la contaminación atmosférica en la ciudad de México y zona metropolitana ha alcanzado niveles que pueden ser peligrosos para la salud y disminuyen la calidad de vida de las personas que en ella habitan, también pueden provocar daño a la vegetación, al patrimonio histórico y a los materiales de uso diario.

El problema tiene una gran complejidad debido a que en esta urbe la distribución de los contaminantes es muy heterogénea.

Los niveles y mezclas de ellos varían de acuerdo a la zona de que se trate y también en relación con las estaciones del año⁶.

El monitoreo atmosférico se realizó en la zona suroeste de Cuautitlán Izcalli, por ser un lugar en el cual convergen canales de aguas negras, importantes industrias como: Quimir, Altos Hornos de México, la Hidroeléctrica de Lechería; además de que aún está en constante crecimiento tanto a nivel industrial, como a nivel poblacional lo cual implica que en estos momentos se estén creando nuevos centros comerciales, conjuntos habitacionales, más escuelas a todos niveles, y lo más importante; se están estableciendo en los lugares que en anteriores épocas estaban destinadas al cultivo, o en su defecto eran consideradas como reservas para parques municipales.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la cantidad de partículas suspendidas totales (PST) de una zona de Cuautitlán Izcalli, empleando un método de burbujeo de aire atmosférico en agua destilada, diseñado exclusivamente para este estudio.

OBJETIVOS PARTICULARES

-Realizar la caracterización de las PST haciendo uso de la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

-Una vez conocida la composición elemental cuantificar metales presentes en las muestras de PST por la técnica de Espectroscopia de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)

-Comprobar experimentalmente que la cantidad de PST es mayor durante la época de secas que en la de lluvias.

3. GENERALIDADES

3.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

3.1.1 Condiciones físicas y geográficas

La Ciudad se asienta en el Valle de México, situado a 2,240 metros sobre el nivel del mar, con una superficie de 9 560 km², que abarca casi la totalidad del Distrito Federal, así como parte de los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla. La metrópoli se distingue por haber sido una zona lacustre, rodeada de forma natural por grandes cadenas montañosas que dificultan la circulación del viento e impiden el desalojo del aire hacia fuera de la cuenca, propiciando la acumulación de los contaminantes atmosféricos⁷.

Durante casi siete meses al año, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) mantiene vientos de baja velocidad (menores de 1.5 metros por segundo), que generalmente circulan de norte a sur, dispersando los contaminantes hacia el centro, el sureste y el suroeste de la capital.

En la zona norte de la ciudad se concentra el mayor número de industrias, por ello la dirección predominante de los vientos (norte a sur) ocasiona que los contaminantes generados en los lugares de mayor actividad urbana, industrial y de servicios (norte y centro de la ciudad) se distribuyan hacia todo el resto de la mancha-urbana⁸.

Las características físicas y de localización explican parte de la problemática de la calidad del aire de la ciudad. Debido a su altitud de 19°36' N y 19°03' S, la zona metropolitana recibe una abundante radiación solar, y como es sabido, en presencia de ésta, los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los hidrocarburos (HC) reaccionan produciendo ozono (O₃) y otros oxidantes dispersos en la atmósfera.

3.1.2 Población de la Ciudad de México

La Ciudad de México es el lugar donde se concentran las más importantes actividades económicas, políticas y culturales del país, es el producto de una historia de expansión urbana sin planeación, alberga la sexta parte de la población de México⁹. La política de acelerado crecimiento industrial, fomentada a partir de la década de los cuarenta, no consideró los costos sociales que implicaría su ejecución, por ello el crecimiento demográfico y físico, la concentración industrial y el aumento en número de vehículos automotores, provocaron muchos desequilibrios; entre otros, un deterioro ambiental de considerable magnitud.

3.1.3 Fuentes de contaminación

El área metropolitana de la Ciudad de México es la región geográfica que reúne en México la mayor cantidad de fuentes naturales y artificiales de contaminación: áreas erosionadas, basura, falta de drenaje, filtraciones al subsuelo de aguas no tratadas, fábricas químicas, termoeléctricas, refinerías, industrias químicas, del cemento y de fertilizantes, fundidoras, baños públicos, incineradores, millones de vehículos automotores de combustión interna y aviones, solo por mencionar algunas.

Según estudios del gobierno de la ciudad, todas estas fuentes emitieron a la atmósfera en 1990 alrededor de 11,000 toneladas de contaminantes al día, mundialmente la mayor cantidad en una ciudad. La planta industrial, conjuntamente con las dos termoeléctricas que operan en la Ciudad, generan un 12% de precursores de ozono. Las fuentes naturales son las responsables de la emisión del 54% de partículas menores a 10 micras, el inventario de 1994 señala un estimado de poco más de 4 millones de toneladas de contaminantes lanzados al año a la atmósfera, de los cuales corresponden 75.5% al sector transporte, 13% a la industria y 12% a vegetación y suelos. Así mismo en 1996 se demuestra que las fuentes móviles son responsables de la generación del 80% de los contaminantes atmosféricos. Este sector genera casi el 50% de los precursores de

ozono y el 98% del monóxido de carbono, por último el inventario de 1998 muestra las cifras en ton/año que se emitieron a la atmósfera 184,988 de NOx; 2,055,734 CO; 22,688 SOx; 18,576 PM10 y 558,708 HCT¹⁰.

El aire levanta más de 300 mil toneladas de polvo en unas 22 mil hectáreas deforestadas. El crecimiento de la mancha urbana ha reducido en forma drástica las áreas verdes naturales y provocado un cambio irreversible en la calidad ambiental del aire. Las áreas verdes son necesarias para atenuar la contaminación pues evitan la erosión de la tierra y las variaciones del clima; además, aumentan el oxígeno del aire. Sin embargo, en la ciudad existe un déficit considerable de ellas: solamente el 4.8% del área urbana es verde, cuando la cantidad mínima satisfactoria debe ser el 20%; el promedio por habitante es de sólo 2.3 metros cuadrados y en la ciudad de 5.2, cuando las normas internacionales lo establecen de 9 a 16 metros cuadrados.

FUENTES NATURALES Y ARTIFICIALES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

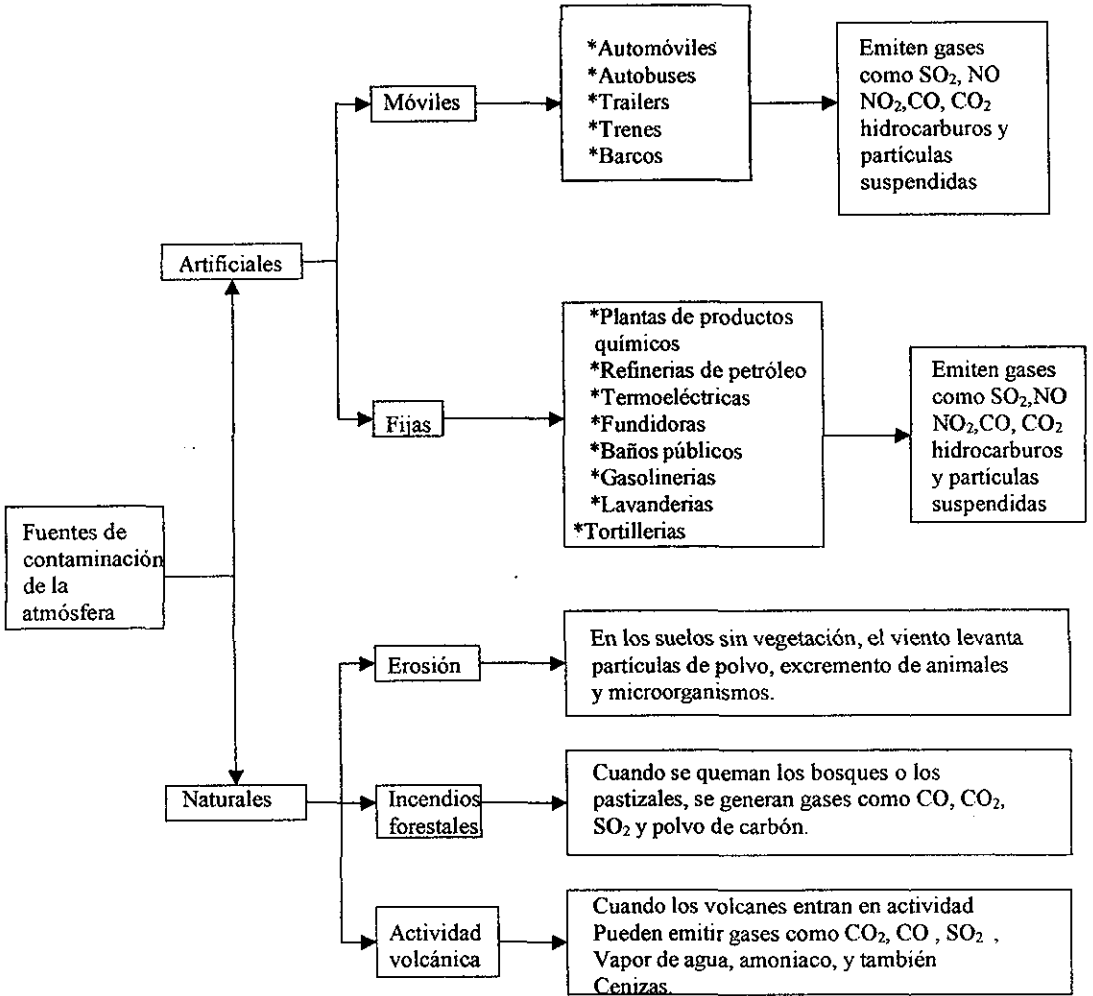


Fig 1. Fuentes naturales y artificiales de la contaminación atmosférica

Otra fuente de deterioro ecológico son los vehículos de combustión interna, principalmente el automóvil, que en menos de dos décadas se convirtió en el principal contaminante. En los años setenta se consideraba que no emitían más de la mitad de la contaminación, pero a partir de los ochenta pasaron a ocupar el lugar principal.

Así pues, la contaminación por vehículos automotores es hoy el problema crítico, pero su origen es bastante complejo, pues no es sólo fruto de las técnicas de fabricación, sino también de su proliferación, de la calidad de combustible utilizado, la lentitud de la circulación vial, el tipo y antigüedad de los autos y las condiciones geográficas de la ciudad de México.

3.1.4 Principales daños a la salud

Todas las sustancias tóxicas que emiten a la atmósfera las fuentes naturales y las antropogénicas, pueden provocar daños irreversibles en la salud de la población y los ecosistemas del Valle de México. El mayor peligro se presenta cuando hay inversión térmica en invierno, agravado por bajas de temperatura hasta cero grados centígrados. Durante el periodo de diciembre a febrero es frecuente en una gran parte de la población la irritación de ojos y garganta y problemas en las vías respiratorias, pues los pulmones y los bronquios son los órganos más sensibles a la contaminación. Los resfriados y otras molestias se han vuelto muy comunes sobre todo en los niños¹¹.

3.2 PARTÍCULAS

3.2.1. Definiciones

Se conoce con el nombre de partículas a cualquier material sólido o líquido en el que los agregados individuales son mayores que una simple molécula pero menores a 500 micrómetros (μm), es decir las partículas incluyen:

Humo: Partículas sólidas menores a un μm formadas en la condensación de vapores o en reacciones químicas.

Polvo: Partículas de materia sólida mayores a un μm .

Aerosoles: Partículas sólidas o líquidas que pueden permanecer suspendidas en el aire por su pequeño tamaño, generalmente menores a un μm .

Niebla: Partículas líquidas mayores a un μm . Se forman por condensación sobre un núcleo atmosférico cuando hay un alto contenido de humedad.

Hollín: Partículas de carbón finamente divididas y mantenidas juntas en cadenas largas.

Para evaluar los efectos de la contaminación por partículas hay dos características importantes que deben ser tomadas en cuenta: su tamaño y su composición química¹².

3.2.2 Clasificación

La clasificación de las partículas de interés que se mantienen suspendidas en el aire en base a su tamaño es considerada en tres grupos: Partículas suspendidas totales (PST), partículas gruesas (PM_{10}) y partículas finas ($\text{PM}_{2.5}$).

PST (Partículas Suspendedas Totales) .- Es el indicador que se ha utilizado en México para caracterizar a las partículas en la atmósfera, comprende a todos los tamaños que se encuentren en el aire. Las mayores de 10 μm no logran penetrar más allá de la nariz, por lo que se quedan atrapadas en los filtros nasales, sin poder afectar al resto del aparato respiratorio.

PM₁₀ .- Son partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera (su diámetro va de 2.5 a 10 μm). Debido al intervalo de su tamaño que presentan son capaces de provocar efectos en la salud. También se les conoce como partícula gruesa.

PM_{2.5} .- Es la clase de partículas con diámetros menores a 2.5 μm y no se emiten directamente al aire, sino que se forman en la atmósfera como producto de las reacciones químicas, se les considera como un contaminante secundario. Están conformadas por aerosoles, vapores metálicos, partículas orgánicas de combustión, polvos y metales como el plomo. Permanecen en la atmósfera por periodos de horas a días, además tienen la particularidad de penetrar en el aparato respiratorio hasta los alvéolos pulmonares. Sus principales efectos a la salud son irritación en las vías respiratorias; su acumulación en los pulmones origina enfermedades como la silicosis y la asbestosis. Agravan el asma y las enfermedades cardiovasculares. También se les conoce como partícula fina.

3.2.3 Propiedades

Las propiedades físicas que se considera que influyen en el movimiento, efectos en la salud y tiempo de residencia de las partículas se describen a continuación:

a).- Superficie: Para una partícula esférica la superficie varía directamente con el cuadrado de su diámetro. Las partículas pequeñas pueden participar en reacciones de adsorción o funcionar como catalizadores con gases reactivos. Asimismo, este tipo de reacciones pueden ocurrir en el sistema respiratorio una vez que han sido inhaladas.

b).- Forma: la forma de la partícula afecta al movimiento aerodinámico, su área superficial y sus probabilidades de deposición. La forma puede ser muy diversa, irregular, esférica, cúbica, en forma de laminilla, elipsoidal, etc., pero la esférica es la que más ha sido utilizada para su estudio.

c).- Densidad: la densidad influye en la velocidad de la partícula afectada por fuerzas gravitacionales, la velocidad se incrementa en razón directa de la raíz cuadrada de la densidad.

d).- Diámetro aerodinámico: Es determinado por el tamaño de la partícula, su densidad y un factor de forma. El diámetro aerodinámico influye en las propiedades de movimiento y en las propiedades ópticas.

e).- Propiedades de movimiento: Las partículas menores de $0.1\mu\text{m}$ presentan movimiento al azar o movimiento browniano que se origina por colisiones entre moléculas individuales, ejemplo de ellas son las esporas y el polen. Las partículas entre 0.1 y $1\mu\text{m}$, tienen velocidades de sedimentación muy pequeñas, las mayores de $1\mu\text{m}$, tienen una velocidad de sedimentación importante y varían en forma significativa dependiendo de los movimientos del aire.

Las partículas mayores a $10\mu\text{m}$ son removidas por gravedad y otros procesos inerciales en las cercanías de las fuentes donde se producen.

f).- Propiedades ópticas: Las partículas dependiendo de su tamaño y composición, pueden dispersar o absorber la luz proveniente del sol. Con ello reducen la visibilidad, provocando que se utilice más energía eléctrica, cuya generación ocasiona la generación de más partículas. Las más significativas son las partículas menores de $2.5\mu\text{m}$. Se ha propuesto la siguiente relación entre la concentración de las partículas y la reducción de la visibilidad:

$$R = 750 / C$$

Donde:

R: rango de visibilidad en millas.

C: concentración en $\mu\text{g} / \text{m}^3$.

3.3 PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

El valle de México presenta características climáticas que agravan los problemas de contaminación atmosférica¹³, entre ellos:

- 1.- Esta situado a una altura de 2240 metros sobre el nivel del mar (msnm), por lo que el contenido de oxígeno del aire es 23% menor que sobre el nivel del mar, lo cual provoca que los procesos de combustión sean incompletos y produzcan una mayor cantidad de contaminantes.
- 2.- Se encuentra rodeado por montañas, que representan una barrera física natural para la circulación del viento, permitiendo el aumento de concentración de contaminantes.
- 3.- Al encontrarse ubicada en la región central del país se protege por sistemas anticiclónicos como el Golfo de México y el Océano Pacífico, dándole éstos una gran estabilidad atmosférica e inhibiendo el mezclado vertical del aire.
- 4.- Presenta frecuentes inversiones térmicas que provocan el estancamiento de los contaminantes. Preferencialmente por las mañanas, la capa de aire de menor temperatura, contaminada y más densa se coloca debajo de una capa de aire caliente, que le impide ascender y liberar a los contaminantes.

5.- Debido a la latitud de 19° N, recibe abundante radiación solar, lo que hace que su atmósfera sea altamente fotoreactiva, favoreciendo esta condición a la formación de contaminantes.

Además de lo anterior también se le suma el conocido efecto llamado invernadero que en forma breve se describe así:

La tierra al recibir energía del sol, la emite en forma de rayos infrarrojos, los cuales no escapan de la atmósfera, ya que especies como el CO₂ absorben esta radiación, manteniendo el calor en la superficie terrestre, a este fenómeno se le conoce con efecto invernadero, ya que el CO₂ actúa como el filtro o cristal de un invernadero que permite que la energía radiante pase a la tierra pero no permite que salga la energía de ciertas longitudes de onda.

3.4 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Para determinar las concentraciones de los contaminantes, con el fin de evaluar la calidad del aire, existe una gran cantidad de métodos e instrumentos analíticos por lo que no siempre es fácil saber cual es el mejor. Por ello la NOM- 35-ECOL-1993 recomienda que se apliquen los métodos estándares o de referencia que son métodos que han sido probados repetidamente.

3.4.1 Determinación de la concentración de Partículas Suspensas Totales (PST)

El método de referencia para la determinación de partículas suspensas totales es el de grandes volúmenes¹⁴ (Hi-Vol) que se ilustra en la fig. 2. Durante un periodo de 24 horas de muestreo, en este muestreador el aire se succiona por la acción de un motor de aspersión de flujo alto y esta dispuesto en tal forma que las partículas menores a 100 µm de diámetro pasen a través de un filtro de vidrio que retiene partículas hasta de 1 µm. El filtro debe estar acondicionado previamente a

peso constante y se retira cada 24 horas, se acondiciona nuevamente y se determina la concentración de partículas de acuerdo a la masa colectada y al volumen del aire muestreado, este último se obtiene de curvas de calibración de flujo realizadas con calibradores de orificio corregido para el sitio de muestreo. Todo lo anterior está basado de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-035-ECOL-1993 que establece los métodos de medición para determinar la concentración de dichas partículas y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. (Publicada en el D.O.F. de fecha 18 de octubre de 1993)

Para expresar la concentración de las (PST) se utilizan principalmente las unidades $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

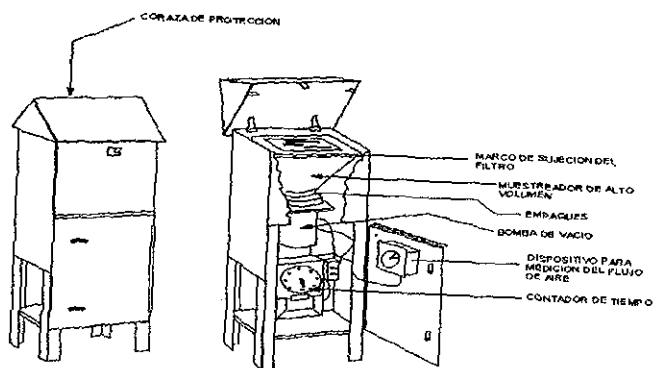


Fig.2 Equipo de monitoreo Hi-Vol

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.5 MONITOREO DEL AIRE

Las estaciones de monitoreo que miden la calidad del aire en una localidad involucran además de las determinaciones de los contaminantes ya antes mencionados, sistemas de calibración y adquisición de datos, así como el monitoreo de parámetros meteorológicos. El conjunto de estaciones forma la red de monitoreo. Estas estaciones de monitoreo suelen utilizar métodos automáticos equivalentes a los métodos de referencia para la determinación de los contaminantes. Los sitios de monitoreo deben seleccionarse con base a los objetivos que tenga la estación y deben cumplir con una serie de requisitos para su instalación.

En la ciudad de México, existe una Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) constituida por 25 estaciones y una red manual de 19 estaciones¹⁵. Están distribuidas en cinco zonas: centro, noreste, noroeste, sureste y suroeste; que cubren el distrito federal y 17 municipios conurbados (fig 3).

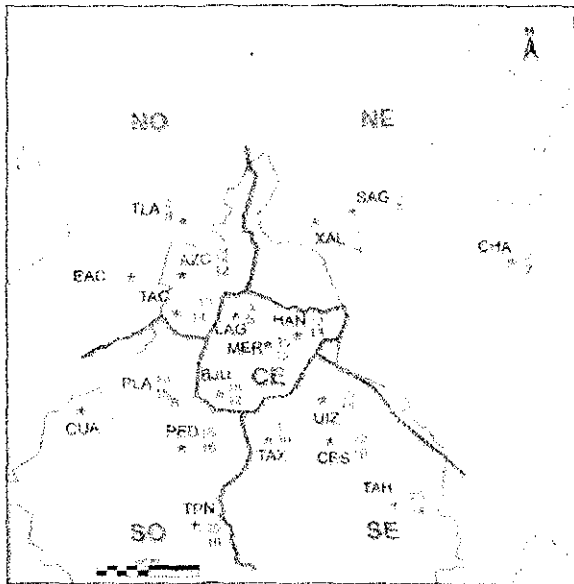


Fig. 3 Localización de las estaciones de muestreo

3.6 NORMATIVIDAD (SALUD AMBIENTAL)

La Ley General de Salud, contempla que en materia de efectos del ambiente en la salud, las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán medidas y realizarán las actividades a que se refiere esta Ley tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente, así como determinar, para los contaminantes atmosféricos, los valores de concentración máxima permisible para el ser humano¹⁶.

La investigación epidemiológica desarrollada durante los últimos años, ha generado información sobre los efectos en la salud de la contaminación del aire en concentraciones a las que está normalmente sometida la población, y ha brindado un amplio fundamento para la predicción de varios efectos adversos que pueden estar relacionados con la exposición a contaminantes presentes en la atmósfera.

En la siguiente tabla se muestran los lineamientos que en materia de contaminantes aéreos se utilizan en diferentes países e instancias, incluyendo México. Obsérvese las diferencias importantes con la normatividad establecida por la OMS¹⁷.

Contaminante	Tiempo promedio	México	E.U.A.	OMS	California
PST $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Hrs.	260	260	--	--
PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Hrs.	150	150	82.5	50
Ozono ppm.	1 hora máx.	0.11	0.12	0.075	0.09
Plomo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio trimestral	1.5	1.5	0.5-1.0	1.5(mensual)
Dióxido de nitrógeno ppm.	1 hora máx.	0.21	0.05(anual)	0.08(anual)	0.25
Dióxido de azufre ppm.	24 Hrs.	0.13	0.13	0.035-0.052(anual)	0.05(anual)

3.7 ANTECEDENTES DEL MONITOREO EN LA CD. DE MÉXICO

3.7.1 Medición de contaminantes

En las últimas décadas ha crecido a nivel mundial el interés por la materia particulada que está presente en la atmósfera y en especial por aquellas partículas que por su tamaño pueden penetrar profundamente en el aparato respiratorio y provocar efectos adversos sobre la salud humana. Tal es el caso de partículas menores a 10 y 2.5 μm . de diámetro y en los últimos años empiezan a estudiarse partículas aún más pequeñas. El estudio detallado de la composición química del material particulado ha demostrado que algunos de sus componentes pueden estar asociados con daños específicos a la salud, principalmente aquellos compuestos orgánicos provenientes de las emisiones de vehículos operados con diesel, los metales pesados, los metales con diferentes estados de oxidación, la sílice, una gran variedad de especies químicas formadas durante los episodios de smog fotoquímico y productos de origen biológico.

La medición de estos contaminantes es relativamente reciente en nuestro país. A partir de 1988 se inician las mediciones periódicas (cada seis días) de PM₁₀, a través del muestreo manual, utilizando un muestreador de grandes volúmenes. Desde el 11 de enero de 1995 las concentraciones de partículas se reportan como la fracción correspondiente a PM₁₀ cada hora en forma continua. La medición de PM_{2.5} aún no se realiza de manera cotidiana en la ZMCM. Recientemente se instalaron dos estaciones (Sta. Úrsula y Atzacapotzalco) pero los resultados aún no han sido publicados¹⁸.

Estudios alternos se han realizado en la ZMCM^{19,20,21} por investigadores de distintas instituciones tanto educativas como de salud y se han obtenido datos importantes entre los cuales sobresalen: la importante relación existente entre el aumento de mortalidad, agravamiento de enfermedades cardiovasculares y respiratorias con el incremento en la concentración de las partículas suspendidas. Hay quienes afirman que las partículas son el contaminante más importante desde el punto de vista de salud humana.

3.8 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN A LA SALUD

Desde 1993, se ha registrado la información sobre los efectos de la contaminación en la salud en los habitantes del Valle de México, en este sentido, se han planteado una serie de estrategias para desarrollar un sistema de vigilancia en salud ambiental, entre los que destacan estudios epidemiológicos realizados en grupos vulnerables, con el fin de utilizar la información resultante en propósitos educativos tanto para la población en general como para el sector salud.

Algunos de los análisis que se desarrollan buscan identificar lo que sucede cuando se presentan días de contingencia ambiental, en relación con los análisis para determinar la morbilidad en las unidades de atención a la salud principalmente en los servicios de consulta externa, servicios de urgencias y de hospitalización.

A partir de estas acciones de salud y contando con un monitoreo sistemático de los contaminantes atmosféricos, se diseñó un estudio metropolitano que indicara los efectos de la contaminación atmosférica en la población escolar, así como un estudio específico en niños que presentan cuadros asmáticos y de otras afecciones respiratorias.

El estudio de los efectos del ozono sobre la salud señala un aumento en los índices de infecciones respiratorias y oculares, así como un incremento en la demanda de atención médica. También se demostró una relación y la

exacerbación de cuadros clínicos en aquellos individuos que presentaban alguna enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Para la realización de dicho estudio fueron seleccionadas seis áreas de estudio con su respectiva unidad de monitoreo tales como: Tlalnepanitla, Xalostoc, Centro, Plateros, Pedregal e Iztapalapa. En estas regiones se miden contaminantes como el ozono, partículas suspendidas, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono, además de recopilar datos sobre las condiciones meteorológicas de la Ciudad.

Es importante mencionar que este estudio lleva más de cinco años de realización, y según datos recientes, más de 500,000 individuos han sido muestreados, constituyendo uno de los estudios más grandes en su género a nivel mundial.

Este estudio nos revela que a partir de los 240 puntos IMECA o bien, durante contingencia atmosférica, hay un repunte significativo en la aparición de diversos síntomas respiratorios y oculares tales como dificultad para respirar, tos seca, dolor faríngeo, disfonía, cefalea, lagrimeo, rinorrea e irritación de los ojos.

Los efectos en la salud respecto a la presencia de partículas también son muy importantes. No obstante, al realizar un balance combinando entre partículas suspendidas y ozono, se percibe que las alteraciones a la salud son aún más críticas.

Aún con todos los estudios realizados en México, E.U.A. y Europa falta mucho por conocer ya que la climatología y topografía es distinta en cada lugar y los resultados se ven afectados por esas variables haciendo difícil una interpretación universal.

Cuautitlán Izcalli



Tu Casa entre
los Arboles

3.9 CUAUTITLAN IZCALLI

Se localiza en la parte noroeste de la cuenca de México; su Cabecera Municipal se ubica a los 19° 40' 50" de latitud norte y a los 99° 12' 25" W de longitud oeste del Meridiano de Greenwich (o meridiano cero).

Tiene una extensión de 109.9 km². y una altura promedio de 2,252 msnm.

El río Cuautitlán es la corriente acuática mas importante, contándose con varias presas y bordos, cuyas aguas se destinan al riego; destacando la Presa de Guadalupe.

Al crearse el Municipio y con la finalidad de reforzar la flora natural, se introdujeron: pirul, aile, jacaranda, álamo plateado, fresno, colorín, trueno y eucalipto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Limita al norte con los Municipios de Tepetzotlán y Teoloyucan; al sur con Tlalnepantla de Baz y Atizapán de Zaragoza; al oeste con Cuautitlán y Tultitlán y, por el oeste con Tepetzotlán y Villa Nicolás Romero (fig 4).

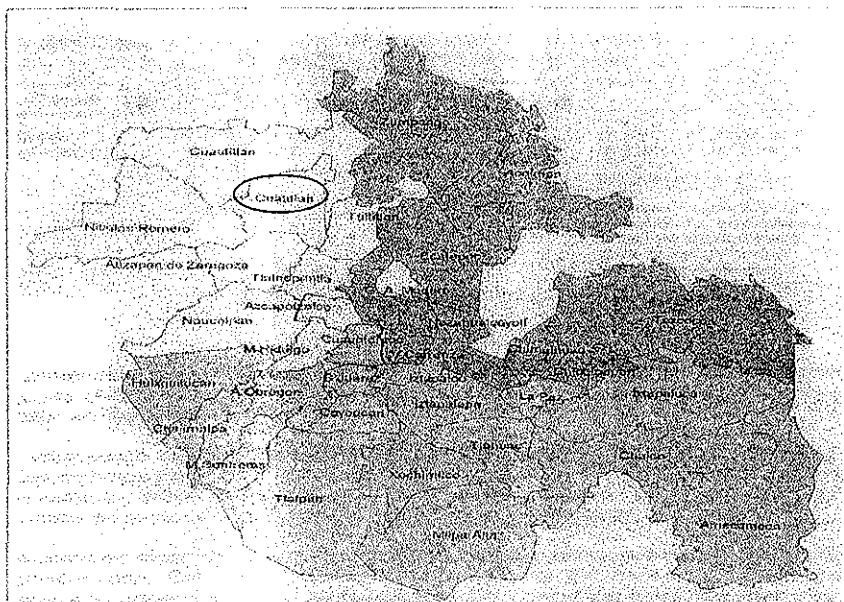


Fig 4. Ubicación de Cuautitlán Izcalli dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

Cuautitlán Izcalli, nace el 24 de junio de 1973, como el municipio 121 del Estado de México, para convertirse en una alternativa para el desarrollo metropolitano. A 29 años de su fundación, la localidad es una excelente opción para invertir y desarrollar negocios, al constituirse como uno de los centros regionales más importantes en la industria, comercio y servicios.

Cuautitlán Izcalli, vocablo Náhuatl que significa "tu casa entre los árboles", se ubica al noroeste de la ciudad de México. Su extensión territorial es de 11 mil hectáreas, de las cuales 5 mil se han destinado al desarrollo urbano.

En el municipio se asientan, 239 empresas, distribuidas en 5 parques industriales y un fraccionamiento. Cuamatla, La Luz, La Joya, Xhala y Cuautitlán Izcalli; los cuales cuenta con toda la infraestructura necesaria para su operación y eficiente comercialización de productos.

En la zona norte y poniente de la demarcación, se ubica la reserva destinada al desarrollo habitacional planificado, que conjuga diversas densidades acordes con el crecimiento del área urbana actual.

Así, sus habitantes residen en 13 pueblos, 17 fraccionamientos urbanos, 8 conjuntos habitacionales, 30 colonias, 28 unidades en condominio y 14 ejidos.

Al sur del municipio, se encuentran el lago de Guadalupe, Perinorte, que integra servicios y equipo metropolitano como: campo de golf, zona hotelera, y más de tres mil comercios y servicios en general; que son también generadores de trabajo para el gran potencial de recursos humanos, jóvenes en su mayoría.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 MUESTREO

4.1.1 Localización

El muestreo se llevó a cabo en dos lugares de Cuautitlan Izcalli. Esta selección se fundamenta en que en ambos sitios denominados como estación #1 y estación #2, reúnen características de especial interés para este tipo de estudio, una por estar muy próxima a una importante vía de alto flujo vehicular y algunas industrias importantes, y la otra por pertenecer a una zona clásica de casas-habitación que esta en continua expansión, además de que entre ambas hay una proximidad importante para establecer algunas similitudes y diferencias en cuanto a los resultados obtenidos.

La caracterización detallada se describe a continuación:

ESTACIÓN # 1

Se instala en la unidad habitacional Niños Héroes en la Colonia San Martín Tepetlixpan, en el interior de la Escuela Secundaria Oficial 546 "Profesor Gerardo Torres Quintero" .

En esta unidad se cuenta con todos los servicios tales como: agua, luz, teléfono, drenaje, pavimentación, una flotilla de combis colectivas, una escuela primaria y una secundaria, un mercado establecido, un campo deportivo y una clínica del IMSS.

Cada edificio consta de cuatro niveles y son alrededor de 100 edificios, así que existe una población aproximada de 2000 personas.

A 300 metros de la estación encontramos el canal de aguas negras, a 500 una zona industrial que tiene entre sus principales industrias la termoeléctrica de Lechería, Quimir, y Altos Hornos de México además a pocos metros la autopista México-Queretaro la cual cuenta con un importante flujo vehicular.

ESTACIÓN # 2

Esta estación se colocó en la colonia Mirador de Santa Rosa en el patio de una casa habitación de esta comunidad la cual cuenta con los siguientes servicios: agua, luz, teléfono, drenaje (deficiente), pavimentación (50%), una escuela primaria, y varias guarderías infantiles .

En su mayoría las casas son de uno y dos niveles y solos unas pocas de tres, por lo tanto se hace un estimado de 3000 personas.

A veinte metros de la estación se encuentra el proyecto de autopista transmetropolitana, a treinta la "lumbera" que aparentemente es un respiradero de drenaje profundo, en la parte más alta de la colonia hay una empresa denominada Ali Bale la cual elabora alimento para animales. Al otro lado del mencionado proyecto inicia la colonia El Tikal.

Entre la dos estaciones de muestreo hay una distancia aproximada de 5 Km. Ambas estaciones se encuentran en la zona suroeste de Cuautitlán Izcalli.

Un croquis de localización muestra lo anteriormente descrito (fig 5).

4.2 EQUIPO DE MONITOREO

4.2.1 Diseño

Se buscó para este experimento un sistema de fácil manejo y bajo costo que fuera capaz de proveer de muestras representativas de PST en lugares públicos, de

manera que no llamara la atención o distrajera las actividades cotidianas de las personas ya que sería colocado en lugares en que existiera una circulación considerable de éstas, con la finalidad de captar las partículas que a nivel de altura 1.5- 2.0 m estamos respirando.

Por la razón anterior el modelo Hi-vo! establecido en la NOM-035-ECOL-1993 no satisfacía nuestras expectativas por lo que se buscó un método alternativo haciendo pruebas con varios equipos hasta llegar finalmente al modelo que a continuación se describirá.

4.2.2 Componentes

El equipo de monitoreo consta de las siguientes partes (fig 6):

1. Convertidor de voltaje. 120 V. a 12 V. (3Amp.)
2. Bomba de alto volumen.
3. Codo adaptador.
4. Botella de plástico de 500ml.
5. Tubo capilar para salida de aire
6. Tubo burbujeador.
7. Entrada de aire.
8. Salida de aire.

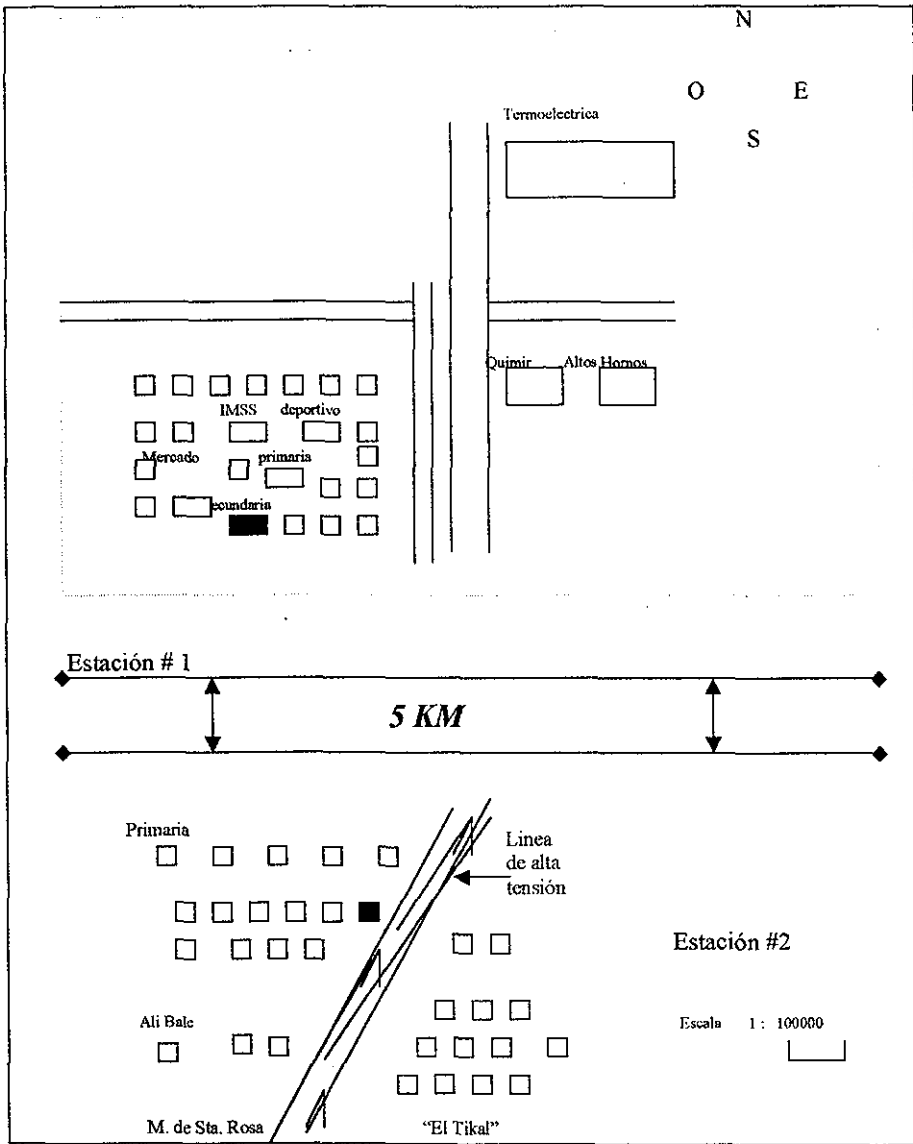


Fig 5. Croquis de localización de la Estación # 1 y #2. Escala 1-100,000.

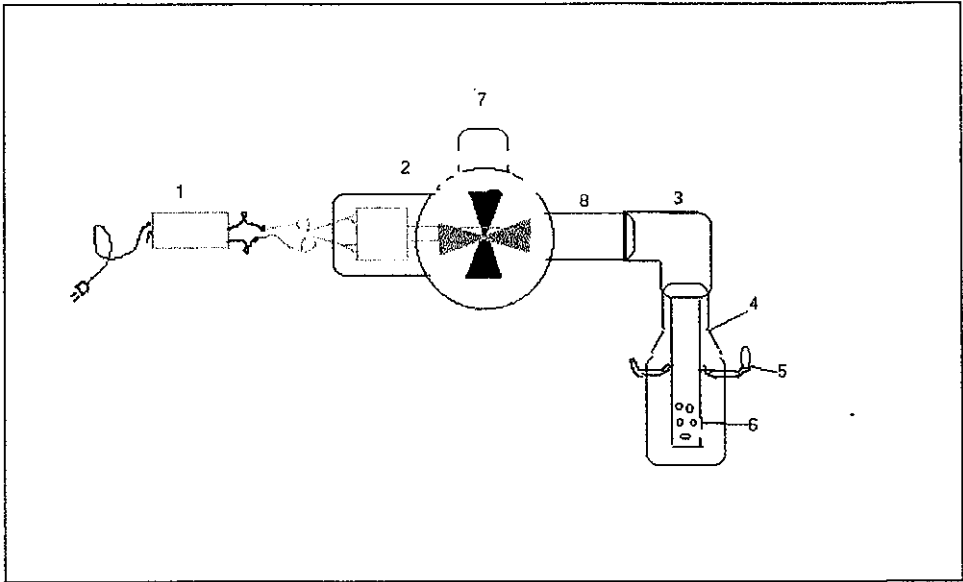


fig 6. Diagrama del sistema de monitoreo.

4.2.3 Funcionamiento

El mecanismo de funcionamiento principal del sistema de monitoreo es el siguiente:

La bomba mediante las aspas en forma de paleta genera una succión de aire, enviándolo directamente a un tubo que esta sumergido en agua destilada a través del codo adaptador, dicho tubo está provisto de varios orificios en la punta inferior para que el aire que circula por el tubo forme en pequeñas burbujas, evitando así que el excesivo burbujeo derrame agua por las salidas de presión que están en la parte superior del recipiente que contiene al agua. Las salidas de presión están

diseñadas para que únicamente salga el aire que ya ha pasado a través del agua y que no arrastre a esta última hacia fuera quedándose detenida en ultima instancia en la forma de burbuja del tubo (fig 7).

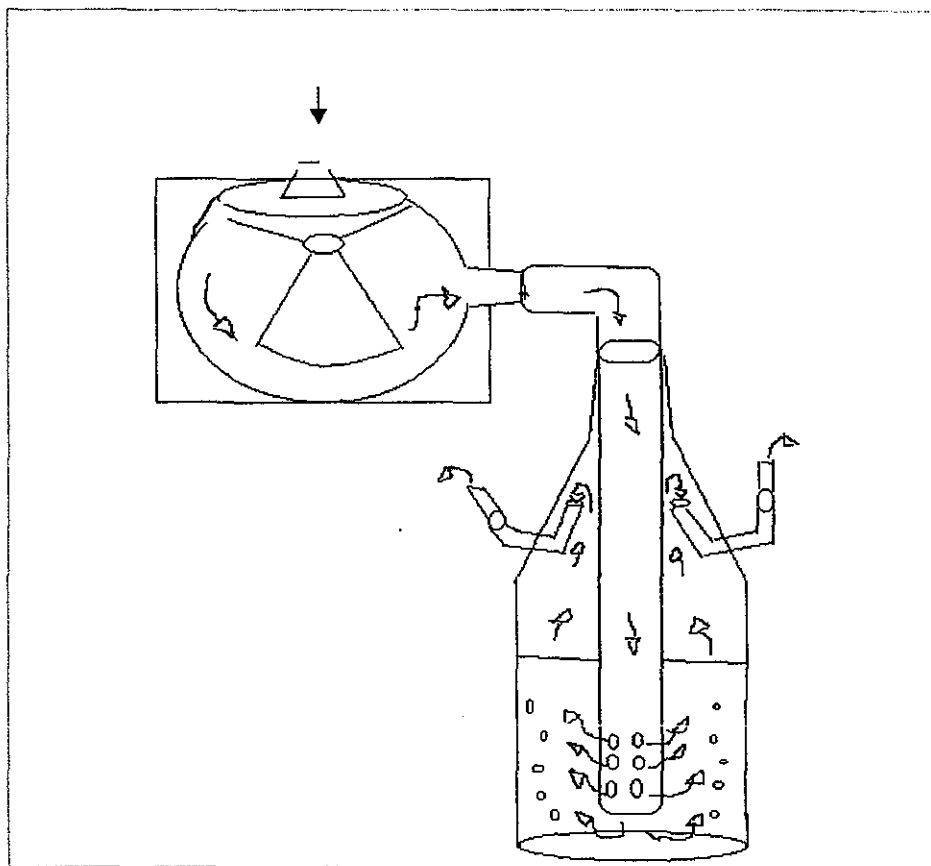


Fig 7. Mecanismo de funcionamiento del sistema de burbujeo en agua destilada.

Este sistema fue empleado porque es de muy fácil manejo, además de que no hay la necesidad de hacer correcciones de cambios de presión, manteniendo este

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

parámetro constante durante su operación. Se basa en el fundamento de que partícula suspendida presente en la atmósfera cercana al lugar donde ese encuentre este aparato es captada y atrapada inmediatamente en el agua, que es la que finalmente será enviada al laboratorio para el análisis.

Presenta ventajas evidentes frente al de uso convencional con papel filtro, pues cuando el papel filtro se ha saturado, la presión tiende a bajar y las partículas ya no se retienen con la misma fuerza, además de que el papel filtro requiere de muchos más cuidados tales como: Temperaturas y presiones más o menos estables, no tener contacto con el agua de lluvia; requiriendo para todo esto el uso de otros aditamentos además de la bomba de vacío. Sumado a todo lo anterior, es mucho más confiable el transporte del lugar de muestreo al laboratorio, las PST atrapadas en agua en un recipiente, que las PST impregnadas en un papel.

4.3 PROGRAMA DE MONITOREO. (INVIERNO 2000 – PRIMAVERA –VERANO 2001)

Martes de 18:00 hrs. a Miércoles 18:00 Hrs.

Jueves de 18:00 Hrs. a Viernes 18:00 Hrs.

Recolección de la muestra : Lunes a las 18:00 Hrs.

Inicio de muestreo: 21 de diciembre de 2000.

Término de muestreo: 21 de septiembre de 2001.

4.3.1 Preparación de la muestras

Fueron empleadas las dos técnicas analíticas siguientes:

- a) Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).
- b) Espectroscopia de Emisión Atómica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)

La primera para conocer la composición elemental de la muestra, y la segunda para el análisis cuantitativo del contenido metálico.

Para una explicación mas amplia acerca de estas técnicas ver el anexo 1.

a) Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

El tratamiento primario que se le dio a la muestra consistió básicamente en:

1. Centrifugación.

El polvo mezclado con agua se traspasó a los tubos de centrífuga y se realizó esta operación durante 30 minutos a 2500 revoluciones por minuto revoluciones por minuto (rpm).

2. Decantación.

La muestra se decantó y la mayor parte del líquido se colocó en un frasco para posteriormente hacer la medición de pH y un análisis de metales disueltos en el ICP.

3. Evaporación.

El polvo mezclado con el pequeño volumen de agua que queda contenida en los tubos de centrífuga se vació en un recipiente de vidrio previamente pesado y se procedió a realizar la evaporación a sequedad en una parrilla eléctrica.

El polvo seco se pesó junto con la cápsula y por diferencia de peso se determinó la masa de partículas totales colectadas.

4. Cuantificación de las PST.

El promedio semanal de las PST se realizó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$PST (\mu g/m^3) = \frac{[(P_2 - P_1) / T]}{F}$$

F

Donde:

P₂: Peso del recipiente de vidrio con las partículas colectadas semanalmente.

P₁: Peso del recipiente de vidrio vacío y seco.

T : Tiempo de muestreo en Hrs.

F : Flujo de la Bomba. (0.36 m³/hr.)^{***}

El producto evaporado se molió en el mortero de ágata para homogeneizar la materia sólida y se dividió en dos partes, una de ellas para analizarla por MEB, y la otra por ICP.

Para el análisis por MEB se hizo una pastilla con el polvo, utilizando una prensa mecánica.

La pastilla se colocó en el portamuestras del microscopio sobre una cinta de carbón, se programaron las variables de trabajo al programa del equipo Phillips

*** Determinado experimentalmente.

XL30 acoplado a una sonda EED (Espectroscopia de Energía Dispersiva) para hacer un análisis elemental semicuantitativo.

Las condiciones fueron las siguientes:

Voltaje de aceleración: 25 KV

Tipo de detector: BSE

Distancia de trabajo: 10.7mm.

Spotsize: 5.3

Magnificación: 100X, 2000X

b) Espectroscopia de Emisión Atómica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)

Para este análisis se requirió tratar las muestras mediante:

1. Digestión.

El polvo se colocó en un recipiente de plástico y se le agregaron 10 mL de agua regia (una mezcla de ácido clorhídrico con ácido nítrico 70:30), se metió al horno de microondas a 160°C durante 30 minutos.

2. Filtración.

La muestra presentó pequeñas partículas que no se habían disuelto, se le agregaron 5 mL aproximadamente de ácido fórmico, posteriormente se procedió a filtrar en un embudo de vidrio con un papel filtro de tamaño de poro 0.45 mm.

3. Calcinación.

La muestra debe estar completamente líquida, como no fue así los residuos del papel filtro se llevaron a calcinación en una cápsula de platino a 550 °C en una mufla durante 4 horas aproximadamente.

4. Dilución.

Finalmente, el polvo producto de la calcinación, se disolvió con ácido clorhídrico diluido y se llevó a un aforo de 100mL.

Los parámetros para la estandarización del equipo modelo Optima 3200 DV marca Perkin Elmer fueron las siguientes:

Parámetro	Valor	Unidad
Radio frecuencia	1300	Watts
Nebulizador de flujo cruzado de argón	0.8	L / min
Flujo auxiliar (Argón)	0.5	L / min
Flujo de plasma (argón)	15	L / min
Flujo de muestra	1	L / min
Tiempo de equilibrio de la fuente	15	Seg.
Altura de observación	15	mm.
Corrección de ruido de fondo	Selección manual de puntos	
Modo de procesamiento de medida	Pico de área doble pixel	Píxel
Auto-integración	10 mín a 20 máx.	Seg.
Retardo de lectura	3	Seg.
Aclaración de lectura	40	Microseg.
Número de réplicas	3	

Tabla 1. Condiciones de estandarización.

5. Preparación de las soluciones patrón.

De las soluciones patrón de 1000 mg/mL se prepararon a las siguientes concentraciones según la tabla 2 y aforaron con ácido nítrico al 2%.

Elemento	µg/L	µg/L	µg/L
Cu	50.0	100.0	200
Cr	50.0	100.0	200
Mn	50.0	100.0	200
Co	50.0	100.0	200
Cd	50.0	100.0	200
Ni	50.0	100.0	200
Zn	50.0	100.0	200
Pb	50.0	100.0	200

Tabla 2. Preparación de las soluciones patrón.

6. Calibración.

Establecidos los parámetros de las tablas 1 y 2, la calibración del equipo se llevó a cabo con las soluciones patrón de concentración conocida del elemento por analizar.

Se revisaron los espectros obtenidos y se ajustaron cuando fue necesario a la longitud de onda correspondiente. Se aspiró el blanco de calibración antes que los patrones.

7. Cálculos.

La siguiente ecuación es utilizada para calcular la concentración del elemento de una muestra determinada.

$$C_{FINAL} = (C \times V \times F) / P$$

Donde:

C_{FINAL} = Concentración final (µg/L)

C = Concentración del elemento en un solución específica (corregida por la concentración determinada en el reactante blanco.

V = Volumen de la solución específica en mL.

F = Factor de dilución.

P = Volumen de la muestra en mL.

4.3.2 Análisis de agua de lluvia

Se hizo un análisis a muestras de aproximadamente 2000 ml de agua de lluvia, por ambas técnicas; el tratamiento previo, así como, las condiciones de trabajo en el MEB y el ICP fueron idénticas a las empleadas para las PST del aire; la cantidad de partículas obtenidas fue de 0.0565 g.

Se realizó a manera de que sirviera como comparación de los elementos presentes en las partículas que la lluvia arrastra y observar las posibles diferencias que pudieran existir con las muestras de polvo en la atmósfera.

5. RESULTADOS

Debido a que el sistema de monitoreo presentó dificultades para iniciar su operación (errores de diseño y variaciones bruscas de voltaje), el muestreo comenzó dos semanas antes del inicio de la estación de primavera, por lo que se recorrió hasta la estación de verano.

Las datos meteorológicos se obtuvieron del observatorio de Tacubaya y se comportaron de la siguiente manera:

5.1 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

5.1.1 Primavera (Marzo 21-Junio 21) de 2001

La precipitación pluvial empezó en la semana 7-11 de mayo (ver tabla 3 y 4), siendo esta semana la que presentó la cantidad mínima (0.3 mm), y la máxima en la semana 21-25 de mayo (4.75 mm).

Durante marzo y abril los vientos dominantes soplaron del noroeste con velocidades aproximadas de 3.0 km/H²²

Las temperaturas promedio oscilaron entre 16.5 y 22°C con una media de 18.6 °C. La humedad relativa se mantuvo entre 31 y 69 %.

5.1.2 Verano (Junio 22- Septiembre 21) de 2001

La precipitación pluvial se intensificó, teniendo la máxima en la semana del 9 al 13 de julio de 9.47 mm y la mínima, en la semana del 30 de junio al 03 de agosto en la cual no llovió (0.0 mm).

La humedad relativa media osciló entre 58 y 75 %.

Los vientos dominantes estuvieron siempre por encima de 10 Km/H a excepción del 13 al 17 de agosto (9.7 Km/H) presentándose la máxima del 20 al 24 de agosto de 19 Km/H. Teniendo en promedio 12.4 Km/H provenientes del Noroeste.

Para ilustrar lo descrito anteriormente, se presentan a continuación los resultados de cada semana.

RESULTADOS SEMANALES

Estación	Mes	Semana	Temp. Promedio (°C)	Velocidad del viento Km/H	Precipitación pluvial (mm)	Humedad relativa (%)	pH del agua de muestra		PST Experimental	
							Sec.	Casa	Sec.	Casa
Invierno	Marzo	05-09	---	---	---	---	---	---	472	---
		12-16	---	---	---	---	---	---	1750	---
Primavera		19-23	17.5	10.75	---	52.0	---	---	201	---
		26-30	17.5	9.86	---	44.0	6.47	---	587	---
	Abril	02-06	19.0	9.45	---	31.0	8.15	---	1915	---
		09-13	19.0	10.15	---	---	---	---	440	---
		16-20	19.5	12.08	---	63.5	---	7.50	212	---
	Mayo	23-27	16.5	10.75	---	69.0	---	7.35	---	---
		30-04	18.0	10.80	---	58.0	8.15	---	227	---
07-11		18.0	11.35	0.30	49.0	7.80	---	679	---	
14-18		18.0	11.85	2.35	61.0	7.88	---	240	240	
Verano	Junio	21-25	19.0	14.60	4.75	66.0	6.80	7.10	109	120
		28-01	21.0	12.00	2.70	42.0	6.19	7.20	109	---
	04-08	22.0	8.10	1.00	49.0	6.94	6.90	183	293	
	11-15	18.5	9.85	3.75	67.0	6.66	6.98	160	166	
	18-22	17.0	11.90	1.20	67.0	6.80	6.62	203	212	
Julio	Julio	25-29	18.0	11.75	6.95	69.5	---	7.03	283	326
		02-06	17.0	10.95	4.55	73.5	---	---	585	283
		09-13	19.0	11.30	9.45	75.0	---	---	96	351
		16-20	19.0	12.50	12.00	70.0	---	---	210	201
	23-27	17.9	13.50	8.00	61.0	---	6.45	170	56	
	Agosto	30-03	16.5	10.70	0.00	64.0	---	---	---	262
		06-10	18.2	14.00	4.80	68.0	---	---	220	177
13-17		18.0	9.70	6.70	67.0	---	---	157	196	
20-24		19.3	19.00	1.00	59.5	---	5.67	180	---	
Sept.	27-31	17.1	11.70	2.90	73.0	6.65	---	391	---	
	03-07	17.7	12.00	6.20	64.0	---	---	248	73	
	10-14	16.7	12.70	8.90	70.0	---	---	235	212	
	17-21	18.2	12.50	1.80	58.0	---	---	217	203	

Tabla 3. Resultados semanales

CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE LA PRIMAVERA			
PARAMETRO	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO
Temperatura (°C)	18.6	16.5 (23-27 de abril)	22 (04-08 de junio)
H. Relativa (%)	55.3	31 (2-6 de abril)	69 (23-27 de abril)
Velocidad del viento Km/H	10.96	3.0 (19 de marzo a 04 de mayo)	12.0 (28-05 de junio)
PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Estación 1	436	109 (21-25 de mayo y 28-05 de junio)	1915 (2-6 de abril)
PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Estación 2	210	120 (21 -25 de mayo)	293 (04-08 de junio)

Tabla 4. Condiciones meteorológicas de la primavera

La determinación de PST en la estación 2, comenzó a partir de la semana 30 de mayo al 04 de junio; a partir de ahí hasta el término de la primavera se obtuvo un promedio de $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esta $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por debajo de la norma mexicana. En la estación 1, se inició incluso un poco antes de la primavera.

Los valores de PST a partir de la semana que inician las lluvias se ven afectados disminuyendo considerablemente, esto es muy evidente, aunque solo en la estación 1 (Secundaria). Es por esta razón que el promedio obtenido en la estación 2 (casa habitación) es menor, pues, sólo abarcó una semana de la época de secas mientras que en la secundaria fueron cinco. Esto se confirma con el hecho de que a partir de esa fecha los valores no son muy diferentes en ambas partes.

El máximo PST en la secundaria ($1915 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es observado en la semana 02 - 06 de abril, la temperatura de 19°C , el viento tuvo una velocidad aproximada de $9.45 \text{ Km}/\text{H}$).

El mínimo valor de PST en la secundaria ($109 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se da en las dos semanas comprendidas del 21 de mayo al 01 de junio.

Se toma en consideración que es en esa fecha cuando se inicia la época de lluvias, y los vientos alcanzaron una velocidad de hasta $14.60 \text{ Km}/\text{H}$).

En el caso del monitor ubicado en la casa nos proveyó de pocos datos, que indican que, la fecha en que se da la cantidad mínima coincide con las de la secundaria.

El máximo PST en la casa ($293 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aparece en la semana 04 – 08 de junio, ahí la temperatura fue alta (22°C) y tanto los vientos como la precipitación disminuyeron un poco ($8.10 \text{ Km}/\text{H}$ y 1.00 cm^3).

Todo lo anterior se ilustra mejor con la siguiente gráfica.

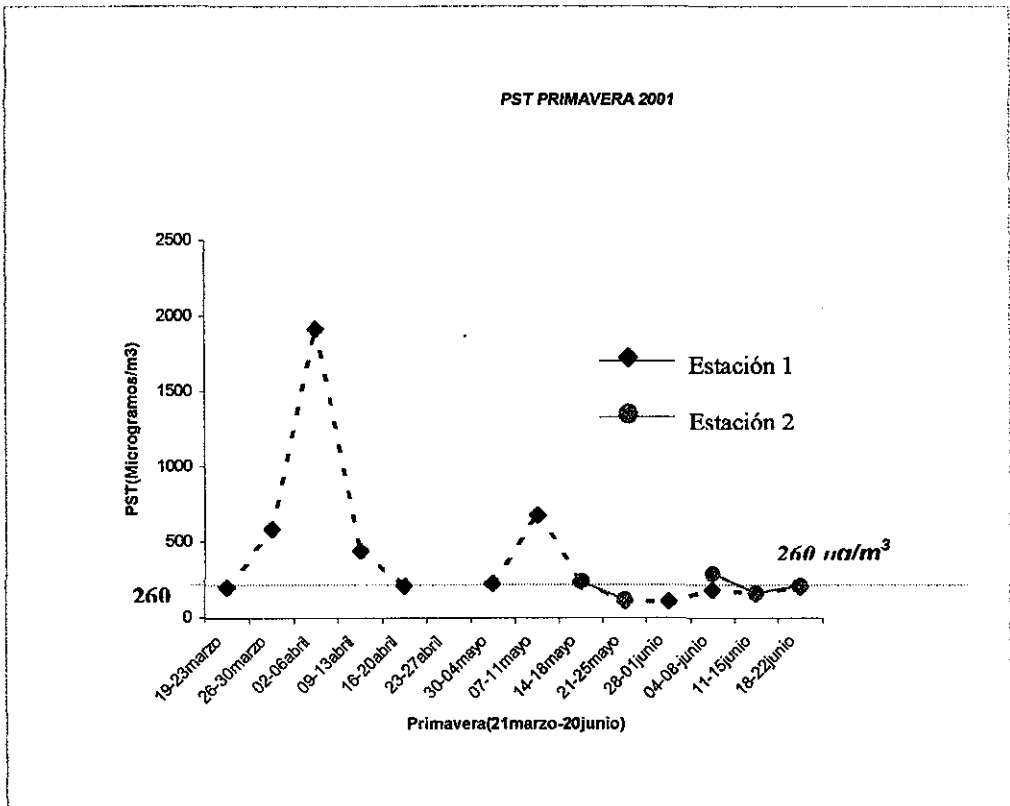


Gráfico 1. Comportamiento de PST en ambas estaciones de monitoreo durante el periodo de primavera

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Aquí se nota claramente que cuatro de los cinco datos obtenidos en la casa habitación están prácticamente encimados a los de la secundaria.

Durante la primera mitad de la estación de primavera es donde existen varios puntos que están por encima de la norma mexicana, mientras que, en la segunda casi todas están por debajo de la norma.

Lo anterior se verifica con las épocas de secas-lluvias que tienen lugar en este periodo del año.

CONDICIONES METEOROLÓGICAS DEL VERANO			
PARÁMETRO	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO
Temperatura (°C)	17.89	16.5 (30-03 agosto)	19.3 (20-24 de agosto)
H. Relativa (%)	67.11	58.0 (17-21 sept)	75.0 (9-13 de julio)
Velocidad del viento Km/H	12.48	9.7 (13-17 agosto)	19.0 (20-24 agosto)
PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Secundaria	249.33	73.0 (03-07 sept)	391.0 (27-31 de agosto)
PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Casa	212.73	157.0 (13-17 sept)	585.0 (2-6 de julio)

Tabla 5. Condiciones meteorológicas del verano

Al igual que en la primavera el promedio de PST fue mayor en la secundaria, (ambos por debajo de la norma), esto era evidente desde el momento de recolección de la muestra.

El máximo PST en la secundaria se da en la semana 02 – 06 de julio. Esa es una semana que hubo poca precipitación (4.55 cm^3), temperatura de 17°C , el viento tuvo una velocidad de las mas bajas de el verano (10.95 Km/H).

El mínimo valor de PST en la secundaria está en la siguiente semana a la que se presentó la máxima , del 09 – 13 de julio. En esa semana el factor predominante fue la precipitación que aumentó considerablemente hasta 9.45 cm^3 , casi el doble de la semana anterior , también, los vientos soplaron un poco mas fuerte (11.30 Km/H) y la temperatura aumentó ligeramente (19°C).

Pese a que lo datos meteorológicos se consideran semejantes en ambas partes, el máximo PST en la casa se da en la semana 09 – 13 de julio, que es la cantidad mínima que se presenta en la secundaria.

El mínimo PST en la casa aparece en la semana 23 – 27 de julio, la precipitación es de 8 cm^3 , pero los vientos aumentaron hasta 13.5 Km/H .

Finalmente en esta estación también hay algunos huecos en la tabla de resultados, provocados básicamente por fallas en el suministro de energía.

Lo anterior se ilustra claramente con la siguiente gráfica.

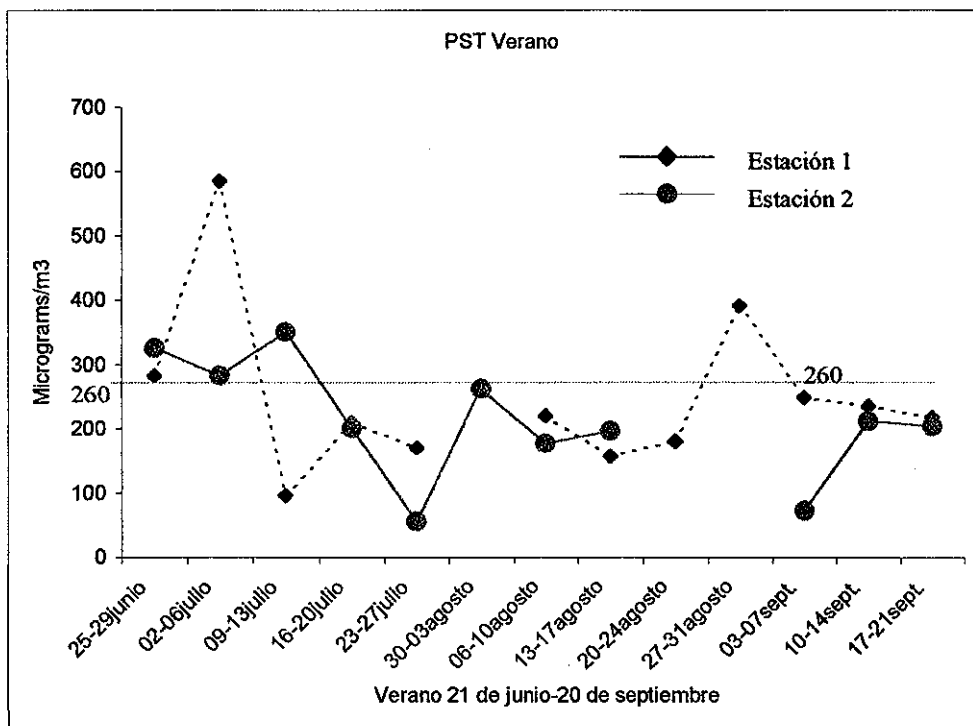


Gráfico 2. Comportamiento de PST en ambas estaciones de monitoreo durante el periodo de verano.

El monitor ubicado en la secundaria tuvo mayor secuencia en los resultados, y es ahí donde se nota el cambio evidente en cuanto a cantidades de PST que no corresponde al cambio de estación sino a la transición de época de secas a lluvias, siendo mucho mayores en la primera.

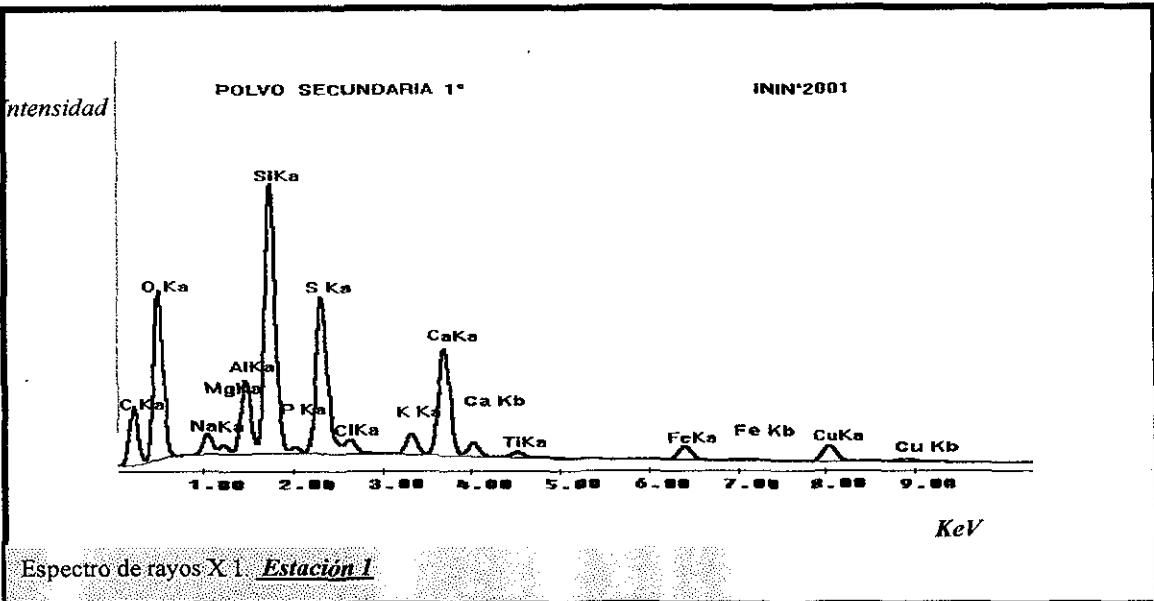
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.3 MICROANÁLISIS

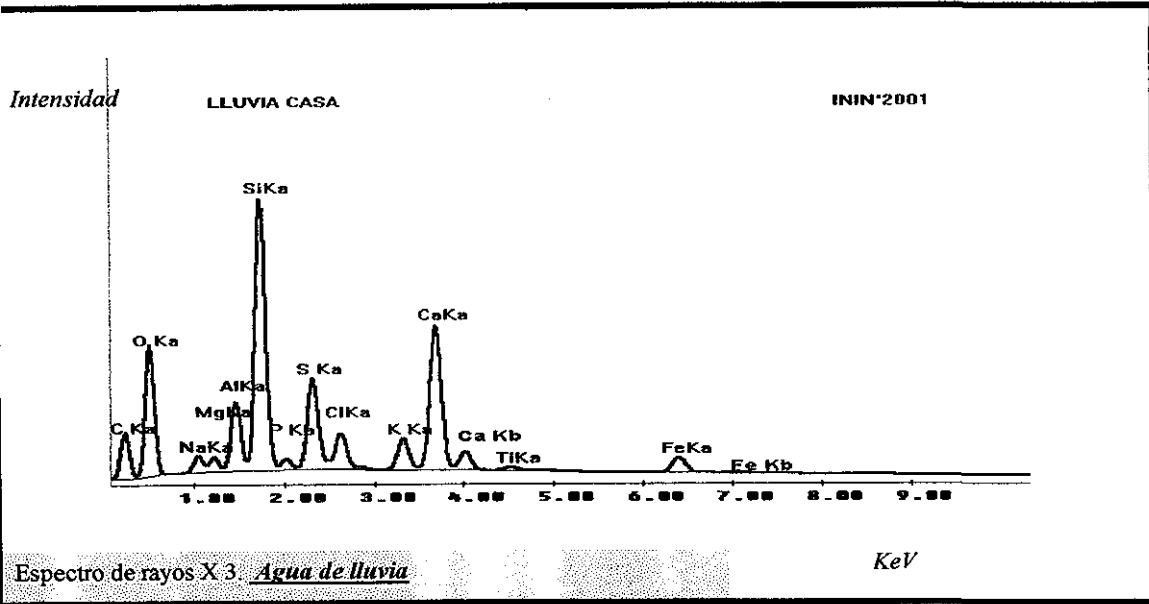
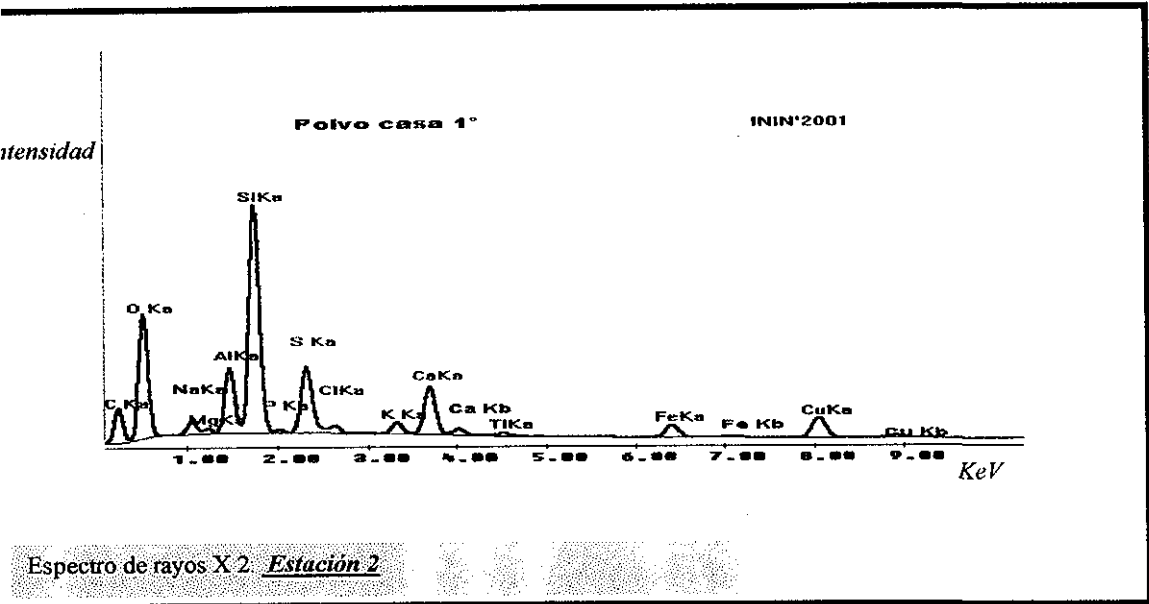
5.3.1 MEB

Es importante recordar que esta técnica de MEB solo es semicuantitativa, por lo que cuando la cantidad de muestra de una semana no era la suficiente para elaborar la pastilla se podía juntar con la de la semana siguiente sin afectar de manera significativa el resultado del análisis, ya que solo se obtiene por esta vía la composición química y el porcentaje en peso de cada uno de los elementos principales. Las dimensiones aproximadas de la mencionada pastilla eran las siguientes: 1 mm de grosor por 5 mm de diámetro.

En total se realizaron 10 análisis de los cuáles el promedio aparece en la tabla 6. Los espectros de rayos X resultaron prácticamente idénticos y a manera de ejemplo se presenta uno para la estación # 1 otro para la #2 y un tercero para el agua de lluvia, respectivamente.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Nótese que incluso los tres espectros también se parecen mucho entre si, variando tan solo en la pronunciación de los picos y la ausencia del Cu en el tercero.

Los elementos de que están formados estos sólidos, en este caso los elementos Na, Al, S, Cl pueden ser considerados de origen antropogénico, de acuerdo a lo reportado por José L. Iturbe y colaboradores²³, donde analizaron combustibles fósiles (gasolinas).

Los resultados de las muestras semanales se promediaron obteniendo como resultado los datos señalados en la tabla 6.

La tabla 6 indica la composición elemental de los sólidos suspendidos en la atmósfera y que fueron analizados por MEB . Al realizar el análisis general se pudieron detectar 14 elementos (C, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl , K, Ca, Ti, Fe y Cu) en la misma tabla se reporta el % en peso para las tres muestras . Se puede ver que los máximos valores reportados corresponden al C y O seguido del Si, S, Ca, Al y Cu.

En el análisis del agua de lluvia cabe destacar la ausencia del Cu y las pequeñas variaciones con respecto de las dos estaciones.

Elemento	Estación 1 (%en peso)	Estación 2 (%peso)	Agua de lluvia(%peso)
C	32.17	29.17	30.67
O	35.88	35.94	34.76
Na	1.7	1.72	1.53
Mg	0.53	0.43	0.92
Al	3.16	4.27	3.34
Si	9.99	13.16	11.58
P	0.24	0.21	0.58
S	5.93	3.95	4.09
Cl	0.54	0.48	1.71
K	0.88	0.74	1.53
Ca	4.71	3.08	7.32
Ti	0.34	0.2	0.2
Fe	1.32	1.75	1.76
Cu	2.61	4.89	N.D
Total	100	100	100

Tabla 6. Promedio de los resultados del análisis por MEB.

5.3.2 Micrografías

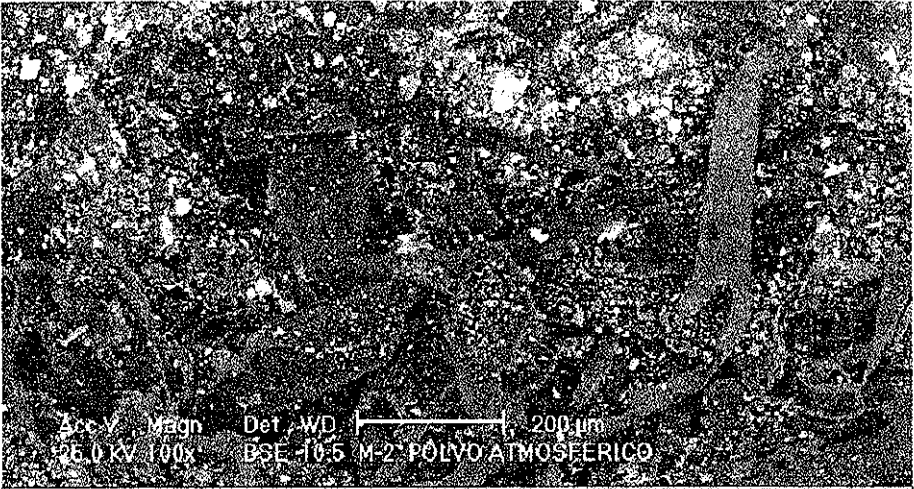
De todas las imágenes obtenidas a través de este equipo, se hizo una selección de las mas representativas: de una muestras fibrosas, de una partícula singular que ha aparecido en la atmósfera de otras ciudades,²⁴ y de algunos conglomerados que nos una idea del tamaño y de los arreglos morfológicos que pueden llegar a tener este tipo de partículas.

A continuación se muestran algunas.

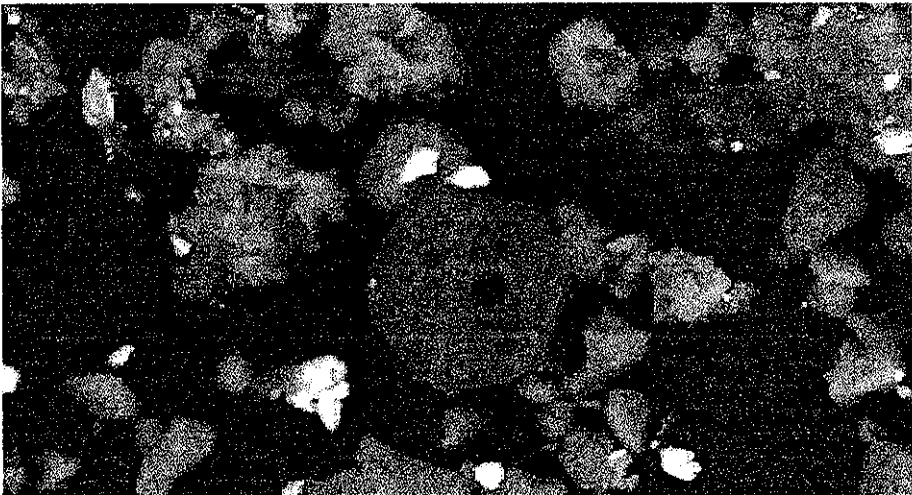


En la anterior imagen se aprecian partículas brillantes representadas normalmente por metales, en este caso, se observó al cobre. Asimismo se ven también fibras que de acuerdo al análisis específico reveló la presencia de carbón, oxígeno, fósforo, lo que indica que se trata de fibras orgánicas. Su origen no se pudo determinar, lo que es un hecho es que se encuentran en la atmósfera.

Estas apreciaciones resultaron en ambos sitios de muestreo (ver micrografía 2).



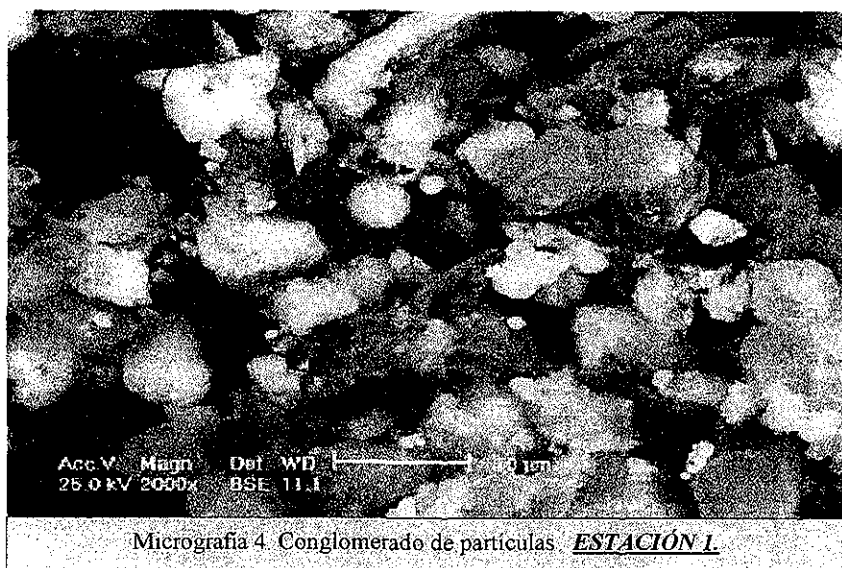
Micrografia 2. Fibras presentes en el polvo atmosférico ESTACIÓN 1.



Micrografia 3. partículas en el polvo atmosférico ESTACIÓN 2.

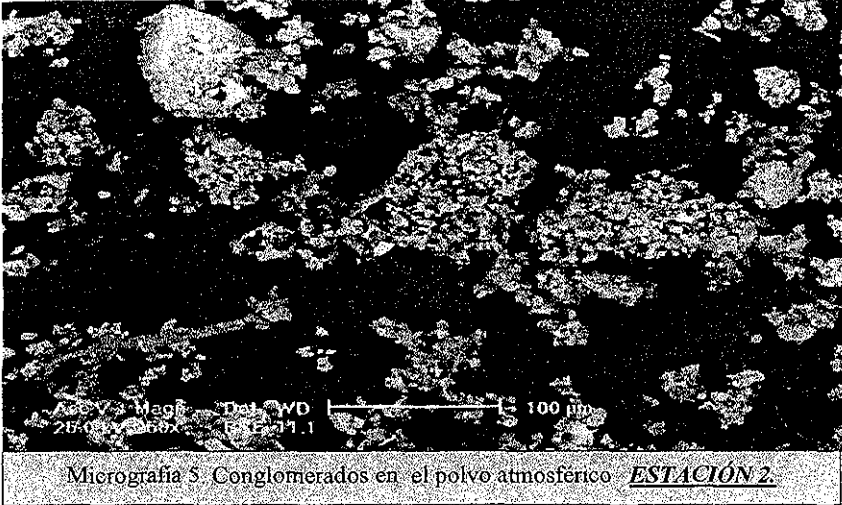
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la micrografía 3 se aprecian diversas formas y tamaños de partículas suspendidas en la atmósfera. La composición química elemental, también fue distinta para cada tipo de partícula, el sólido que se localiza en el centro de la micrografía tiene aproximadamente un tamaño de $20\mu\text{m}$ y esta partícula se analizó individualmente, revelando que estaba formada por 3 elementos, estos fueron C, O y S.



Mediante las imágenes de las micrografías 4 y 5 se midieron al azar algunas partículas, desde las mas pequeñas a las mas grandes y de acuerdo a estas medidas se encontraron valores menores a $2.5\mu\text{m}$ y mayores a $50\mu\text{m}$.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



5.3.3 ICP

Como se mencionó en el paso 4 de la sección de preparación de muestras para MEB, se realizó un análisis de metales disueltos y de la propia agua destilada empleada en cada uno de los experimentos, esta última para hacer la resta de la cantidad de metales ya presentes en ella.

El equipo de ICP cuenta con sistema establecido de análisis de ocho elementos y los resultados cuantitativos se indican a continuación:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Elemento	Estación 1 ($\mu\text{g/L}$)	Estación 2 ($\mu\text{g/L}$)	Agua destilada ($\mu\text{g/L}$)
Cu	702.0	130	39
Cr	>5.0	>5.0	>5.0
Mn	>5.0	6.1	>5.0
Co	>5.0	>5.0	>5.0
Cd	>5.0	>5.0	>5.0
Ni	>5.0	>5.0	>5.0
Zn	49.0	7.0	35.5
Pb	N.D	N.D	N.D

Tabla 7. Promedio de los resultados de las muestras semanales y del agua destilada por ICP.

El tratamiento descrito en la sección 4.3.1 inciso b, solo se hizo para una muestra de las dos últimas semanas de cada estación de monitoreo y para el agua de lluvia ya antes mencionado, teniendo que las cantidades de partículas a tratar fueron:

Estación 1	0.0124 g
Estación 2	0.0070 g
Agua de lluvia	0.0565 g

Teniendo para los tres casos un aforo de 100 mL y un factor de dilución de 1.0. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Elemento	Estación 1 ($\mu\text{g/L}$)	Estación 2 ($\mu\text{g/L}$)	Agua de lluvia ($\mu\text{g/L}$)
Cu	4790	3720	220
Cr	11.9	12.1	61.9
Mn	67.0	42.8	222
Co	16.3	1.43	23.4
Cd	6.71	8.11	6.72
Ni	180	173	179
Zn	419	297	951
Pb	N.D	N.D	N.D

Tabla 8. Resultados de las muestras de PST tratadas para el análisis por ICP.

La técnica del ICP muestran algunos elementos distintos a los detectados por la otra técnica utilizada (MEB). Como se puede ver en la tabla 8 los elementos detectados fueron Cu, Cr, Mn, Co, Cd, Ni, y Zn.

La concentración en $\mu\text{g/L}$ para cada uno de los tres lugares es distinta, esto se debe a que las cantidades de muestra analizadas son también distintas, siendo mayor en la estación # 1 que en la #2.

Si homologamos los resultados de la tabla 8 y los referimos a un gramo de muestra, expresándolo en partes por millón (ppm) tenemos que:

Para el Cu en la estación # 1

$$\begin{aligned} 0.0124 \text{ g} &\text{---} 4790 \times 10^{-3} \text{ ppm} \\ 1 \text{ g} &\text{---} X \\ X &= 386.3 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Entonces la tabla 7 queda de la siguiente forma:

Elemento	Estación 1 ppm	Estación 2 ppm	Agua de lluvia ppm
Cu	386.3	531	0.18
Cr	0.96	1.73	1.10
Mn	5.40	6.11	3.93
Co	1.31	0.20	0.41
Cd	0.54	1.16	0.12
Ni	14.52	24.71	3.17
Zn	33.8	42.43	16.8
Pb*	N.D	N.D	N.D

Tabla 9. Cuantificación de las muestras de PST expresadas en ppm.

La tabla 9 nos proporciona información muy importante, ya que, aunque en la estación # 1 se obtiene una mayor cantidad de muestra de las dos últimas semanas, el contenido metálico es mayor en la estación # 2, contrario a lo que esperaríamos, por las características de ambas estaciones. Esto indica la gran importancia que tiene el tamaño de partícula y la acción del viento sobre esta, pues, se considera que, la concentración mayor de metales estaría cerca de las carreteras y de las industrias y no a 5 km de ellas.

En el caso del agua de lluvia es evidente un contenido metálico mucho mas bajo respecto de las muestras obtenidas por nuestro sistema de captación, lo cual se traduce en el buen funcionamiento del mismo.

En términos generales la concentración para cada uno de los metales analizados fue muy baja; en este caso la sensibilidad de la técnica es mayor a la MEB, razón por la cual estos elementos no se pudieron detectar por microscopia. El Cu fue el único elemento que se pudo determinar por ambos métodos.

5.4 PUBLICACIONES DE LA RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO AMBIENTAL (RAMA)

La RAMA en sus publicaciones semestrales y bimestrales anuncia al público que, en la estación Tlalnepantla (la más cercana al lugar de nuestro monitoreo), el promedio de PST en el primer semestre del año 2001, fue de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, teniendo como punto máximo 380 y como mínimo 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para los dos siguientes meses, julio y agosto, el promedio de PST fue de 175 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, teniendo como máximo 260 y como mínimo 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 7. Promedios de PST experimentales y Publicaciones de la RAMA.

MES	RAMA o ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			PST Exp. 1 Estación			PST Exp. 2 Estación		
	Mín.	Max.	Prom.	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**			($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**		
Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio	100	380	200	Mín. **	Max. **	Prom. **	Mín. **	Max. **	Prom. **
Julio, Agosto	40	260	175	96	585	251	56	356	218

Los anteriores datos, tienen algunas diferencias con los encontrados experimentalmente, esto es comprensible, pues, el microclima de Tlalnepantla es también diferente al de Cuautitlan Izcalli, aunque básicamente el comportamiento en general es el mismo; a principios de año PST altos, rebasando algunas veces la norma mexicana, incluso el promedio experimental de la primavera así lo fue, y muy cerca de rebasarla en el caso de el promedio del primer semestre de lo publicado por la RAMA^{25,26} Ya para julio y agosto se reducen estos valores como lo demuestra el informe del cuarto bimestre de la RAMA y desde mayo en el caso de nuestro monitoreo, por el inicio de la época de lluvias.

**Se tomaron en cuenta únicamente los datos disponibles.

6. CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados y a los resultados observados podemos concluir que:

- El monitor a base de su sistema de burbujeo del aire atmosférico en agua destilada, es apropiado para la determinación de PST atmosféricas y que además presenta ventajas, con respecto al de alto volumen, tanto de manejo y recolección de muestras, como el tratamiento de los datos obtenidos.
- La zona de Cuautitlán Izcalli monitoreada, se encuentra por encima de los límites máximos permitidos por la NOM-024-SSA1-1993, en muchas ocasiones, sobre todo en los primeros meses del año.
- La influencia de los parámetros meteorológicos, así como la ubicación geográfica es determinante en la concentración de PST y del contenido de los elementos que estas contienen.
- La MEB es una herramienta muy importante para conocer la composición elemental de el polvo atmosférico, y no solo eso, sino que, a través de las micrografías podemos ver la morfología de lo que estamos respirando, y con estas imágenes formamos un panorama más amplio de lo que implica la contaminación atmosférica, es también capaz de hacernos reflexionar e inclusive cuestionar si la normatividad actual es adecuada y suficiente, e impulsa a informarse más acerca de los daños que dicho tipo de contaminación puede causarnos a cada uno de nosotros personalmente y a la comunidad en general.

- La técnica de ICP es también muy eficaz para este tipo de análisis, con su gran sensibilidad nos informa de lo que a nivel cuantitativo sucede en las imágenes observadas en el MEB.

- Se logró comprobar experimentalmente que las cantidades de PST son muy altas durante la temporada de secas y que disminuye gradualmente en la época de lluvias.

❖ Finalmente y a manera de recomendación:

Es de suma importancia darle continuidad a este tipo de estudios, ya que se obtiene información de mucho interés, la cual nos indica que, existe la tendencia a seguir aumentando el deterioro ambiental y los daños a la salud por este tipo de contaminantes.

ANEXO 1

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

La técnica del microscopio electrónico de barrido tiene su fundamento en lo siguiente:

Un haz de electrones con una energía entre 1 y 50 Kev y un vacío de 10^{-7} bar, se hace incidir sobre una muestra, opaca a los electrones. Este haz electrónico se focaliza sobre la superficie de la muestra, describiendo un conjunto de líneas paralelas. Como resultado de la interacción de los electrones incidentes con la muestra, se producen una serie de fenómenos, entre los que cabe destacar, la emisión de electrones secundarios con energías de unas pocas decenas de electrón-voltios y la reflexión de los electrones primarios que dan lugar a un haz de electrones retrodispersados de alta energía. La intensidad de la emisión de estos dos haces depende fuertemente del ángulo de incidencia del haz de electrones sobre la superficie del material, esto es de la topografía de la muestra. La corriente electrónica emitida por la muestra se recoge y amplifica; las variaciones en su intensidad, a medida que el haz incidente barre la superficie, se utilizan para variar la intensidad de la traza en un tubo de rayos catódicos que barre en sincronía con la sonda. De este modo se establece una correspondencia directa entre las posiciones de la sonda en la superficie de la muestra y al imagen fluorescente en el tubo de rayos catódicos.

El aumento M se define, independientemente de la intensidad de las lentes, como, el cociente entre la longitud L , de una línea dibujada en la pantalla de rayos catódicos y la correspondiente línea de longitud l en la muestra; $M = L / l$. Los cambios en el aumento se consiguen variando el tamaño del área de barrido de la muestra, mientras se mantienen constantes las dimensiones en la imagen en la pantalla. En general los aumentos pueden variar entre X 10 y X 200 000.

Espectroscopia de Emisión Atómica Acoplado Inductivamente (ICP)

La espectroscopia de emisión atómica, ha sido desde hace mucho, un método estándar para el análisis de metales. Tiene pocas restricciones sobre la muestra, y esta última puede ser desde una aleación hasta un mineral, o bien desde una ceniza de un material orgánico hasta el polvo atmosférico. Como el análisis por absorción atómica, una de sus mayores limitaciones es que es incapaz de distinguir entre los estados de oxidación de un elemento dado.

En la espectroscopia de emisión atómica, una diminuta parte de la muestra se vaporiza y se excita térmicamente hasta alcanzar la emisión atómica.

La energía que se requiere para estos procesos la suministra un plasma compuesto de un gas inerte.

El espectro de emisión emitido por una muestra sirve para determinar su composición elemental. La longitud de onda a la que se efectúa la medición de intensidad, identifica al elemento, mientras que la intensidad de la radiación emitida cuantifica su concentración.

BIBLIOGRAFÍA

1. SEMARNAP, Gobierno del Estado de México, DDF. Inventario de emisiones de la ZMVM. 1994.
2. Amós Turk . Ecología Contaminación Medio Ambiente. Nueva Editorial Interamericana S.A. de C.V. México, D.F. 1973.
3. Parker, Albert, Contaminación del aire por la industria. Editorial Reverté S.A. España 1983.
4. Guzmán R. Ma. Del Refugio, CEINA. Monitoreo atmosférico. IMSS. México 1992.
5. Sánchez,C. Constanza I. Evaluación de índice de exposición en el estudio de efectos a la salud por contaminantes atmosféricos del sistema de vigilancia epidemiológica ambiental en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Centro Nacional de Salud Ambiental.
6. Castillejos S. Margarita. Comportamiento y distribución de las partículas respirables finas y gruesas en el norte y sureste de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana. México 2000.
7. Kumate J. Mazarini Marcos. Problemas de la cuenca de México. El Colegio Nacional, México 1990.
8. Hernández, Méndez Beatriz. Tesis de Maestría. Identificación de fuentes de metales pesados, en la atmósfera de la Cd. de México. Universidad Veracruzana. Instituto de Ingeniería. Veracruz, México. 1997.

9. Díaz, Godoy Raúl Venancio. Tesis de Licenciatura. Identificación de elementos contaminantes en la atmósfera de la Cd. de México, utilizando el método PIXE. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. México DF. 1990.
10. SEMARNAP, Gobierno del Estado de México, DDF. Inventario de emisiones de la ZMVM. 1998.
11. Ortiz Romero Vargas Elba. Campaña de monitoreo de partículas y de algunos precursores de ozono como indicadores de base para estudios de efectos a la salud en la ciudad de México, D.F. Instituto Mexicano del Petróleo.
12. BRAVO, A. Humberto. El ozono y otros contaminantes fotoquímicos en la ciudad de México. Ecológica. Cd. De México.
13. Graizbord, Ed Boris Energía, contaminación atmosférica y crecimiento urbano: estudio comparativo entre las ciudades de México y Chicago. El Colegio de México
14. Gutierrez J. Héctor, Romieu Isabele. Contaminación del aire, riesgos para la salud. Manual Moderno, México 1997.
15. Mugica Álvarez Violeta. Contaminación ambiental. Causas y control. UAM. México 1996.
16. Fajardo Arias Josefina Isabel. Contaminación y salud. Mito, realidad y responsabilidad. Rompan Filas, INP, 1997.
17. Mugica Álvarez Violeta. Contaminación ambiental. Causas y control. UAM. México 1996.

18. Calidad del aire. Informe Bimestral de la calidad del aire. Noviembre-Diciembre del 2000. RAMA.
19. Castillejos Salazar Margarita. Caracterización de las circunstancias clínicas y epidemiológicas que rodean las muertes en días de alta y baja concentración de partículas (PM10 y PM2.5) y otros contaminantes atmosféricos en la zona suroeste del Área Metropolitana de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana.
20. Olaiz Fernández Gustavo. Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en escolares de la Ciudad de México. Secretaría de Salud. Dirección General de Salud Ambiental.
21. Olaiz Fernández Gustavo. Patrones de exposición a PM10 y ozono en una cohorte de niños escolares de la Ciudad de México. Secretaría de Salud. Dirección General de Salud Ambiental.
22. Calidad del aire. Informe Bimestral de la calidad del aire. Marzo-Abril del 2001. RAMA.
23. Iturbe J.Luis , Jiménez B. Jaime, Lopez M. Beatriz E. Determinación de Bromo y Cloro en hidrocarburos (Gasolinas) mediante análisis por activación neutrónica y de Plomo por absorción atómica. Rev. Int. Contam. Amb. 11(2), 117-120, 1995.
24. Iturbe J.Luis , Díaz R. Pedro, García S. Irma. Granados C. Francisco,, Lopez Sánchez M. Juan Carlos. Air Pollution in the atmosphere of the Toluca Valley, México Rev. Int. Contam. Amb. 15(1), 13-17, 1999.

25. Calidad del aire. Informe Bimestral de la calidad del aire. Marzo-Abril del 2001. RAMA.
26. Calidad del aire. Informe Bimestral e la calidad del aire. Mayo-Junio del 2001. RAMA.
27. Gonzalez , Roberto. Microscopía Electrónica. EUDEMA S.A. Madrid, España, 1991.
28. Instituto Mexicano del Petróleo. Mexico City Air Quality. Research Initiative. Problem, Definition, Background and Summary of Prior Research. I.M.P. Los Álamos National Laboratory, Volume II, Junio de 1994. México.
29. Montoya, Zamora Juana María. Tesis de Maestría. Análisis de factores aplicado a datos de composición elemental de materia particulada suspendida en la zona noroeste de la ciudad de Monterrey. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Químicas. Agosto de 1999.