



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

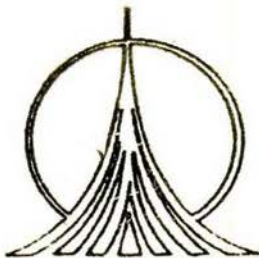
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

Estudio y Análisis de los Metales Pesados As, Cd, Co, Cr,
Cu, Fe, Mn, Pb, Sb, V y Zn en las partículas Suspendidas
Totales (PST) en la zona Noreste de la Ciudad de México
(ENEP Aragón)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A :
MARIA DE LOURDES MORALES VÁZQUEZ

ASESOR:
M. EN C. ELÍAS GRANADOS HERNÁNDEZ



Unidad en la diversidad

MÉXICO, D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/032/04

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNA: MORALES VÁZQUEZ MARÍA DE LOURDES
P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	I.Q. Eduardo Loyo Arnaud
Vocal:	M. en C. Elías Granados Hernández
Secretario:	I.Q. Balbina Patricia García Aguilar
Suplente:	Biol. Guillermo González Martínez
Suplente:	I.Q. Gabriel Cruz Zepeda

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
México, D. F., 15 de Junio de 2004

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA

♣

DEDICATORIAS

A DIOS

Por brindarme la oportunidad de vivir, por cuidarme a donde quiera que voy y sobre todo por brindarme los padres y hermanos maravillosos que tengo.

A MI PAPÁ MODESTO MORALES

Porque gracias al amor, a la paciencia, a los conocimientos y experiencias que has compartido con migo, hoy te entrego uno de mis más importantes logros.

A MI MAMÁ TERESA VÁZQUEZ

Te dedico este trabajo agradeciendo tu paciencia y tolerancia y más aún porque tu gran amor de madre ha hecho que mi fuerza para vivir y amar sea cada vez mayor.

A MIS HERMANOS: Mode, Vale y Edith

Porque siempre fueron y han sido la motivación que me ha impulsado a recorrer esta trayectoria importante de mi vida la cual me ha llenado de satisfacciones. Hoy expreso que de ustedes he aprendido tanto que me siento congratulada de saber que además de ser mis hermanos son mis más grandes amigos.

A MI TÍA EMILIA MORALES

Por llevar a mis hermanos y a mí en su corazón y no sabiendo cómo agradecerle el tiempo y esfuerzo dedicados a nuestras metas, solo queda expresarle que nunca olvidaremos su participación, así como también, compartiremos con usted los momentos más cruciales de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

A LA FAMILIA ARGÜELLES BUSTOS

No encontrando la manera de agradecer su grandiosa hospitalidad y comprensión, les expreso por medio de la presente lo valioso que es y ha sido su cooperación en este trabajo. A la Sra. Carmen Bustos M, al Sr. Luis Andrés A, a Paty, Carmen, Andrés, Lulú, Luisito y especialmente a Alfonso Argüelles B.

A MIS AMIGOS DE SIEMPRE

A Bety U, Mary, Diana, Miguel B, Andrea y Lorena B. Porque siempre me apoyaron y día a día me dieron ánimos para concluir la carrera.

A MIS AMIGOS DE LA FACULDAD

A Jonhy Alex, Enedino V, Julio, Eloisa, Carmen, Claudia, Zula, Jazmín, Cecilia P, Margarita Leal, Edith Frade, Aurelio, Tere, y Jessy.

AL CENTRO TECNOLÓGICO ARAGÓN

A todas las personas que gracias a su tiempo y conocimientos aportados, se ha podido concluir este trabajo. Al M. en C. Elías Granados, a Eduardo Díaz, Nubia García, Isabel Arroyo y al I.Q Sergio Martínez.

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO

A Jaime Otamendi, Antonio Arredondo, Belia Gonzáles y Alicia Ramírez. Gracias por su gran compañerismo y comprensión.

A LA FAMILIA VEGA VÁZQUEZ

Porque sabiendo que son de las personas que estimo, quiero expresar que forman parte de esta etapa de mi carrera que estoy disfrutando con tanta emoción.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS PARTICULARES.....	2
HIPÓTESIS.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	4
INTRODUCCIÓN.....	6

CAPÍTULO UNO

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	7
1.1 Definiciones.....	8
1.2 Causas de la contaminación atmosférica.....	8
1.3 Fuentes de los contaminantes.....	9
1.4 Tipos de contaminantes.....	10
1.5 Naturaleza de los contaminantes.....	11
1.6 Factores meteorológicos en la contaminación atmosférica.....	11
1.7 Factores topográficos en la contaminación atmosférica.....	12
1.8 Contaminación atmosférica de la ciudad de México.....	13
1.9 Fuentes de emisión de los contaminantes en la ZMCM.....	14
1.10 Mediciones de la contaminación del aire.....	15

CAPÍTULO DOS

PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST).....	16
2.1 Definiciones.....	17
2.2 Fuentes de emisión de las PST.....	18
2.3 Formación y crecimiento de las PST.....	19
2.4 Procesos de eliminación de las PST.....	20
2.5 Elementos que constituyen a las PST.....	20
2.6 Clasificación de las PST.....	21
2.7 Efectos de las PST.....	21
2.8 Estándares de calidad del aire para PST.....	22
2.9 Monitoreo de las PST.....	23

CAPÍTULO TRES

METALES PESADOS EN LAS PST.....	25
3.1 Definiciones.....	26
3.2 Fuentes naturales.....	27
3.3 Fuentes antropogénicas.....	27
3.4 Descripción de los metales pesados en el aire.....	28
3.5 Efectos a la salud humana.....	33

3.6 Concentraciones máximas permisibles de los metales pesados..... 34

CAPÍTULO CUATRO

METODOLOGÍA DE TRABAJO.....35

4.1 Procedimiento de muestreo de las PST.....36

4.2 Procedimiento de digestión de los filtros muestreados.....37

CAPÍTULO CINCO

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....40

5.1 Para obtener la concentración de las PST..... 41

5.2 Para obtener las concentraciones de los metales pesados.....42

5.3 Para obtener los valores IMECA.....42

5.4 Para obtener la gráfica de calibración del equipo hi-Vol..... 43

5.5 Para obtener el rendimiento de los metales..... 44

CAPÍTULO SEIS

RESULTADOS..... 46

6.1 Resumen de los resultados obtenidos..... 47

6.2 Resultados de las PST..... 49

6.3 Resultados de los metales pesados..... 55

6.4 Análisis de los metales pesados en las PST..... 62

CAPÍTULO SIETE

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....70

7.1 Análisis de resultados.....71

7.2 Conclusiones.....74

7.3 Recomendaciones.....76

BIBLIOGRAFÍA..... 77

GLOSARIO.....82

APÉNDICE A..... 86

APÉNDICE B..... 96

RESUMEN

Se hizo un estudio y análisis de los metales: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Vanadio (V) y Zinc (Zn) adsorbidos a las Partículas Suspendidas Totales (PST) en la zona Noreste de la ciudad de México (ENEP Aragón). Primeramente se llevó a cabo el muestreo de las PST en el equipo hi-Vol. utilizando filtros de fibra de vidrio de tamaño de 20.3 x 25.40 cm. El tiempo de muestreo fue de 24 horas cada 3 días cuyo periodo fue de enero a octubre del 2002 abarcando tanto la temporada de lluvias (de junio a septiembre) como la de secas (de enero a mayo). Posteriormente a los filtros muestreados se les extrajo los metales por el procedimiento de digestión de en plancha de calentamiento utilizando una solución de ácido nítrico suprapuro al 20% en peso. Las soluciones obtenidas de las digestiones se leyeron en el equipo de Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).

Los resultados del monitoreo realizado en este proyecto muestran que la concentración de las Partículas Suspendidas Totales (PST) solo rebasó dos veces la norma NOM-024-SSA1-1993 (que establece la concentración máxima permisible de PST por un periodo de 24 horas) una en 18.6% y la otra en 6.8%. Las concentraciones más altas de PST se mostraron en la temporada de secas mientras que las más bajas en la época de lluvias. Los resultados estadísticos referentes a los metales mostraron que el Hierro (Fe) y el Manganeseo (Mn) tienen coeficiente de correlación representativo con respecto a las Partículas Suspendidas Totales (PST), lo cual indica que dichos metales y las PST tienen como origen predominante el polvo del suelo. Mientras que el origen del Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Plomo (Pb) y Vanadio (V) resultó estar más relacionado con la actividad industrial y con la resuspensión de las partículas del suelo. También se muestra que las concentraciones de los metales analizados no rebasaron los límites máximos permisibles establecidos por la ATSDR (Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades).

OBJETIVO GENERAL:

Determinar y analizar los metales: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Vanadio (V) y Zinc (Zn) adsorbidos a las Partículas Suspensas Totales (PST) en la zona Noreste de la Ciudad de México.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- a) Muestrear (con filtros de fibra de vidrio) en el equipo hi-Vol. las Partículas Suspensas Totales (PST) cada tres días de enero a diciembre del 2002. Con estos datos de muestreo obtenidos, el flujo volumétrico del aire que succiona el equipo, tiempo de muestreo, temperatura promedio del día de muestreo y las condiciones estándar de presión y temperatura del medio ambiente calcular las concentraciones estándar de las Partículas Suspensas Totales (PST).
- b) Con los filtros muestreados de Partículas Suspensas Totales (PST) llevar a cabo la extracción de los metales pesados por el método de digestión en plancha de calentamiento utilizando una solución de ácido nítrico.
- c) Las soluciones que resultaron de las digestiones leer sus concentraciones en el equipo ICP-OES y junto con los datos del flujo volumétrico del aire que succiona el equipo, tiempo de muestreo, temperatura promedio del día de muestreo y las condiciones estándar de presión y temperatura del medio ambiente calcular las concentraciones estándar de los metales.

HIPOTESIS

Debido a que las PST provienen en un 73% del polvo del suelo, 21% de la actividad industrial y 6% del sector automovilístico, posiblemente habrá baja cantidad de Zinc (Zn), Plomo (Pb), Vanadio (V), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Cobalto (Co), Cadmio (Cd), Arsénico (As), y Antimonio (Sb) ya que estos metales están mas relacionados con las aereopartículas finas que se originan de la quema de combustibles, la actividad industrial y la fundición. En cuanto al Hierro (Fe) y el Manganeseo (Mn) quizás se encuentren mayores concentraciones ya que éstos son componentes importantes del suelo.

JUSTIFICACIÓN

Los problemas de la contaminación atmosférica en las grandes ciudades son consecuencia generalmente de las descargas incontroladas de gran la variedad de compuestos cuyas concentraciones son capaces de producir efectos adversos en los seres vivos. Algunos autores han adjudicado a la contaminación del aire una de las principales causas de cáncer pulmonar en el hombre (Samet 1992, Dockery et al. 1993) y a las partículas suspendidas totales como uno de los mejores indicadores de contaminación (Dams et al. 1975), considerándolas como uno de los agentes tóxicos de la mezcla de contaminantes (Schwartz y Marcus, 1990) que contribuyen mas a la morbilidad y a la mortalidad humanas aumentando el riesgo conforme disminuye el tamaño de la partícula respirable. (Dockery et al., 1993)

Los datos acerca de la presencia de metales en las partículas suspendidas en la atmósfera tienen gran importancia debido a que algunos de ellos, por ejemplo el Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Vanadio (V), Manganeseo (Mn), Plomo (Pb) y Níquel (Ni) presentan propiedades de alta toxicidad. Los efectos de estos elementos están relacionados con los problemas de salud tales como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón, e incluso, casos de muerte. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. (ATSDR, 1995)

En todo caso, medir y analizar la calidad del aire es importante para:

- a) Definir las interacciones entre los distintos contaminantes y sus patrones de comportamiento e identificar acciones necesarias para su control.
- b) Determinar los efectos de la contaminación del aire sobre el hombre y su ambiente.
- c) Evaluar el cumplimiento de las normas de calidad del aire y constatar los avances logrados en la lucha contra la contaminación.
- d) Informar a la población y propiciar su participación en la solución del problema. (Quadri y Sánchez, 1992)

ANTECEDENTES

El desarrollo y operación de del monitoreo atmosférico ha permitido que las autoridades ambientales de la mayoría de las grandes ciudades en el mundo enfrenten la problemática urbana de la contaminación atmosférica. A continuación se dan unos ejemplos del monitoreo de metales pesados como muestra del interés y preocupación para conocer la calidad del aire y así erradicar la amenaza a la salud humana y al ecosistema. (Zaragoza, 1999)

En 1996 se condujo un estudio de aerosoles atmosféricos. Muestras de aereopartículas finas fueron colectadas simultáneamente en cinco sitios de la zona Metropolitana de la Ciudad de México: en el Noreste, Noroeste, en el centro, Sureste y Suroeste. La zona Sureste presenta concentraciones más altas de Potasio (K), Calcio (Ca) y Titanio (Ti) más que los otros cuatro sitios. El centro de la zona metropolitana presenta valores más bajos de Aluminio (Al), Silicio (Si) y Titanio (Ti). Todos estos elementos de Aluminio (Al), Calcio (Ca), Potasio (K), Titanio (Ti), Silicio (Si) y Hierro (Fe) están comúnmente asociados con el polvo del suelo. El centro presenta bajas cantidades de aereopartículas originadas del polvo del suelo, esto es explicado debido a la presencia de carreteras pavimentadas en esta área. (Miranda et al., 1998)

Los resultados de estudios en muestras de aereopartículas finas y gruesas colectadas en Xalostoc (importante ciudad industrial localizada en la ciudad de México) permitieron identificar tres grupos de elementos. Uno de estos son el Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb) los cuales aparecen constantemente durante la noche y el día en las estaciones de invierno y verano, estos elementos están asociados con la actividad industrial. El Potasio (K), Calcio (Ca), Titanio (Ti), Manganeseo (Mn) y Hierro (Fe) son asignados al grupo de elementos de la corteza terrestre. En el último grupo aparece el Azufre (S) y el Vanadio (V) los cuales son asignados a la quema de combustibles fósiles, ya sea para la industria o para el sector automovilístico. Los resultados indican bajas concentraciones en verano comparado con la época de invierno cuando las inversiones térmicas son más frecuentes. Las concentraciones de las muestras de aereopartículas colectadas son menores mientras las lluvias se encuentran presentes. (Flores et al., 1999)

Un estudio fue conducido para conocer las concentraciones de metales en las partículas desplazadas en cinco estaciones de la ZMCM (zona metropolitana de la ciudad de

México); Cerro de la Estrella, Xalostoc, Merced, Pedregal y Tlalnepantla durante los años de 1996, 1997 y 1998. El estudio muestra que los metales están presentes en más altas proporciones en las Partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) que en las Partículas Suspendidas Totales (PST). El Noreste y el Suroeste fueron los sectores más contaminados de materia particulada (Xalostoc primeramente y luego el Cerro de la Estrella) y con las concentraciones de metales más altas tanto en partículas finas como en gruesas. El valor del estándar del Plomo (Pb), $1.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ no fue excedido en ningún caso. El Hierro (Fe) fue el metal con las más altas concentraciones. La variación estacional muestra que las concentraciones de las Partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y de las Partículas Suspendidas Totales (PST) disminuyeron en la temporada de lluvias. Este comportamiento no lo presentaron los metales quizás porque se encuentran en las partículas más pequeñas las cuales no son lavadas por la lluvia. (Mujica et al., 1998)

INTRODUCCIÓN

El estudio se enfocó a analizar y determinar los metales pesados: Arsénico (As), cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Plomo (Pb) y Vanadio (V) adsorbidos a las Partículas Suspendidas Totales (PST). En este análisis se tomaron en cuenta los parámetros meteorológicos de temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento para observar el comportamiento y posible origen tanto de los metales como de las Partículas Suspendidas Totales (PST).

Primeramente se analizó la concentración de las Partículas Suspendidas Totales (PST) durante el año 2002. Los resultados demuestran que la humedad relativa es el patrón esencial que influye en el comportamiento de la concentración de las Partículas Suspendidas Totales (PST). Así mismo el análisis de la dirección de vientos dio información útil sobre la trayectoria recorrida por estas aereopartículas.

Se analizaron las concentraciones del Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Plomo (Pb) y Vanadio (V), los resultados muestran que el Hierro (Fe) y el Cobre (Cu) fueron los metales obtenidos en mayor proporción. (83% y 10.8% respectivamente). Al analizar el coeficiente de correlación entre las PST y cada uno de los metales se observa que el Hierro (Fe) y el Manganeseo (Mn) se originan esencialmente del polvo del suelo, mientras que los demás metales están asociados con la actividad industrial y la resuspensión de las partículas del suelo.

En el capítulo uno se describe los conceptos generales de la contaminación ambiental; qué es, su origen, tipos de contaminantes y los factores que influyen en la dispersión de los contaminantes, también, se describe en forma general las causas principales de la contaminación en la ciudad de México. Los capítulos dos y tres hacen referencia acerca de las Partículas Suspendidas Totales (PST) y los metales pesados respectivamente, describen su origen, clasificación, comportamiento físico, efectos adversos y normatividad. El capítulo cuatro describe el método experimental utilizado en este trabajo para el muestreo de las aereopartículas y la extracción de los metales. En el capítulo cinco está el procedimiento de cálculo para obtener las concentraciones de los metales y las Partículas Suspendidas Totales (PST). El capítulo seis muestra los resultados, mientras que el capítulo siete describe el análisis de los resultados y las conclusiones.

CAPÍTULO UNO

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

1.1. DEFINICIONES

Contaminante: toda materia o sustancia, sus combinaciones o sus derivados; que al incorporarse al ambiente puedan alterar o modificar agresivamente sus características naturales. Ahora desde el punto de vista del bienestar humano. Se entiende por contaminación la presencia en el ambiente de sustancias físicas, químicas o biológicas que perjudiquen la salud y bienestar de los humanos. (Gutiérrez, 1999).

Atmósfera: consiste de una capa delgada de gases mezclados cubriendo la superficie de la tierra. El aire atmosférico está compuesto de 78%(de volumen) nitrógeno, 21.0%, oxígeno, 0.9% argón y 0.03% bióxido de carbono. Normalmente, el aire contiene de 1-3% vapor de agua (de volumen). Adicionalmente, el aire contiene una variedad de indicios de gases a niveles por debajo del 0.002%, incluyendo neón, helio, metano, kriptón, óxidos de nitrógeno, hidrógeno, xenón, bióxido de azufre, ozono, bióxido de nitrógeno, amoníaco y óxido de carbono(Manahan, 1999)

La atmósfera está dividida en cuatro capas: la troposfera, la estratosfera, la mesosfera y la termosfera. En la troposfera, la temperatura decrece al aumentar la altitud hasta alcanzar un mínimo de 15°C a 12Km. Casi toda la vida se manifiesta en la troposfera. La troposfera, la capa más baja, está compuesta por casi tres cuartos de la masa atmosférica y contiene casi todos los componentes hídricos de la atmósfera (vapor, nubes y precipitación). La troposfera, donde se encuentran las masas de aire, los frentes y las tormentas, es la capa más agitada y la que determina el clima de la tierra. Casi toda la contaminación del aire en exteriores se emite a la troposfera. (Díaz, 1993)

1.2 CAUSAS DE LA CONTAMINACION ATMOSFÉRICA

La causa principal de toda la contaminación del aire es la combustión. Cuando ocurre la combustión perfecta o teórica, el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, dióxido de carbono y vapor de agua. Sin embargo, las impurezas del combustible, una incorrecta relación entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o demasiado bajas son causas de

la formación de productos secundarios, tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas e hidrocarburos no quemados, todos ellos son contaminantes del aire. (Díaz, 1993)

Además de la combustión constituyen fuentes importantes de contaminación los residuos industriales, especialmente los de la industria química, metalúrgica y petrolera, así también los procesos de fabricación como el molido, fundición, trituración y molienda de granos contribuyen a la emisión de contaminantes. (Díaz, 1993)

1.3 FUENTES DE LOS CONTAMINANTES

Entre las fuentes de emisión principales de los contaminantes atmosféricos se encuentran:

- a) *Fuentes naturales*: son el polvo del suelo, erupciones volcánicas, incendios forestales, descomposición de la vegetación y también a partir de reacciones entre emisiones gaseosas naturales. (Manahan, 1999)
- b) *Fuentes agrícolas*: las prácticas agrícolas pueden crear materias biológicas contaminadoras, pero los contaminantes más importantes son insecticidas y herbicidas que se utilizan en la agricultura. (Díaz, 1993)
- c) *Fuentes antropogénicas*: se refiere a la emisión de los contaminantes ocasionada por el uso de combustibles tanto en fuentes fijas (lavanderías, sector industrial, uso doméstico, etc.) como en fuentes móviles (autos, camiones, aviones etc.) (Díaz, 1993)

1.4 TIPOS DE CONTAMINANTES

Los contaminantes emitidos en la atmósfera se clasifican en dos tipos:

- a) *Contaminantes primarios*: aquellos que son emitidos en forma directa a la atmósfera conservando su misma forma química en la cual fueron emitidos. El SO_2 y el CO son ejemplos de algunos contaminantes primarios. (Holgate y Samet, 1999)

b) *Contaminantes secundarios*: aquellos que se forman por reacciones químicas entre los contaminantes primarios y las especies químicas que se encuentran usualmente en la atmósfera. Los procesos de formación secundaria pueden resultar ya sea en la formación de nuevas aereopartículas o en la adición de material particulado a aereopartículas preexistentes. Una de las transformaciones más importantes que ocurre en la oxidación del SO₂ es la formación de ácido sulfúrico y sulfatos. (Díaz, 1993)

Algunos contaminantes, como el NO₂ y la materia particulada, se clasifican como primarios y secundarios. Ambos contaminantes son emitidos directamente a la atmósfera, y también formados a partir de otros contaminantes. En el caso del NO₂ algo es directamente emitido por la descarga de gases de los automóviles mientras que la mayoría de este contaminante es formado por la oxidación del NO en el aire. (Díaz, 1993)

En la atmósfera se encuentra una amplia gama de contaminantes. Entre estos los más importantes para evaluar la calidad del aire son las siguientes:

Figura 1.1 Principales contaminantes atmosféricos

Contaminante	Principales fuentes
Monóxido de carbono	Uso de combustibles fósiles
Bióxido de azufre	Combustión de carbón y petróleo que contiene azufre.
Trióxido de azufre	
Bióxido de Nitrógeno	Plantas generadoras de energía eléctrica (combustión a alta temperatura)
Monóxido de Nitrógeno	
Hidrocarburos no saturados y aromáticos	Uso del petróleo, gas natural y carbón.
Partículas sólidas y líquidas	Actividades industriales, de combustión y causas naturales.
Metales	Combustión de combustibles fósiles, incineración de residuos y la fundición.

Fuente: Díaz, 1993

1.5 NATURALEZA DE LOS CONTAMINANTES

Los contaminantes del aire pueden presentarse en forma de gases, de partículas sólidas o en aerosoles líquidos. Estas formas pueden existir, ya sea separadamente o combinadas entre ellas; por ejemplo las partículas o las gotas líquidas pueden absorber los gases. Los agentes contaminantes gaseosos, constituyen aproximadamente el 90% de la masa total emitida a la atmósfera, mientras que las partículas y los aerosoles líquidos constituyen el 10% restante. (Díaz, 1993)

1.6 FACTORES METEOROLOGICOS EN LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Los factores meteorológicos tienen gran influencia en la contaminación atmosférica, ya que de ellos depende que en un momento dado pueda haber concentración o dispersión de los contaminantes. Entre los factores meteorológicos se consideran: (Mujica y Figueroa, 1996).

- a) *El transporte convectivo horizontal*: Depende de las velocidades y direcciones del viento. El viento al transportar los contaminantes, produce su dispersión horizontal y determina la zona que va a estar expuesta a los mismos. Por lo general, una mayor velocidad del viento reducirá las concentraciones de contaminantes a nivel del suelo, ya que se producirá una mayor dilución y mezcla. (Mujica y Figueroa, 1996)

- b) *Transporte convectivo vertical*: una de las formas naturales de movimiento de las capas atmosféricas se lleva a cabo mediante el ascenso del aire que se ha calentado cerca de la superficie terrestre, el cual, por esta diferencia de temperaturas, es menos denso que el aire de las capas superiores y tiende a subir mientras que su temperatura va disminuyendo conforme atraviesa las capas de aire. Este movimiento ascendente vertical del aire es acompañado por el movimiento descendente del aire frío de las capas superiores, que es más denso, gracias a esta movilidad también conocida como *inestabilidad atmosférica*, los contaminantes pueden subir junto con el aire y dispersarse en las capas superiores de la atmósfera (Díaz, 1993). Cuando todo el desplazamiento vertical

del aire es inhibido, la atmósfera en estas condiciones es *estable*, en este caso la temperatura se incrementa con la altura (**inversión térmica**) y el volumen de aire no puede ascender, ya que al estar más frío es más denso lo que impide la posibilidad de mezclado y ocasiona que los contaminantes queden atrapados bajo una masa de aire caliente. La condición de inversión térmica puede durar días especialmente en épocas de invierno. (Mujica y Figueroa, 1996).

Otros factores meteorológicos básicos que afectan la concentración de contaminantes en el aire ambiental son: la radiación solar, la precipitación y la humedad. La radiación solar contribuye a la formación de ozono y contaminantes secundarios en el aire. La humedad y la precipitación también pueden favorecer la aparición de contaminantes secundarios peligrosos, tales como las sustancias responsables de la lluvia ácida. La precipitación puede tener un efecto beneficioso porque lava las partículas contaminantes del aire y ayuda a minimizar las partículas provenientes de actividades como la construcción y algunos procesos industriales. (Secretaría del Medio Ambiente, 2004)

1.7 FACTORES TOPOGRÁFICOS EN LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Los factores topográficos o rasgos del terreno no solo influyen en el calentamiento de la Tierra y del aire que la rodea sino también al flujo de aire cercano a la superficie terrestre (Díaz, 1993)

Rasgos montaña/valle: en el caso de un valle, los vientos descendentes se pueden producir en las pendientes opuestas del valle, lo que determina que el aire frío y denso se acumule o se deposite en el suelo. Además, como el aire frío desciende al suelo del valle, el aire en altura se vuelve más cálido. Esto da lugar a una inversión térmica que restringe el transporte de los contaminantes del aire. Además, los vientos de un valle soplan predominantemente hacia la parte superior o hacia la parte baja del valle. Esto puede conducir a concentraciones altas de contaminantes del aire en el suelo debido a que la geometría del valle restringe las variaciones en la dirección del viento. (Díaz, 1993)

1.8 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

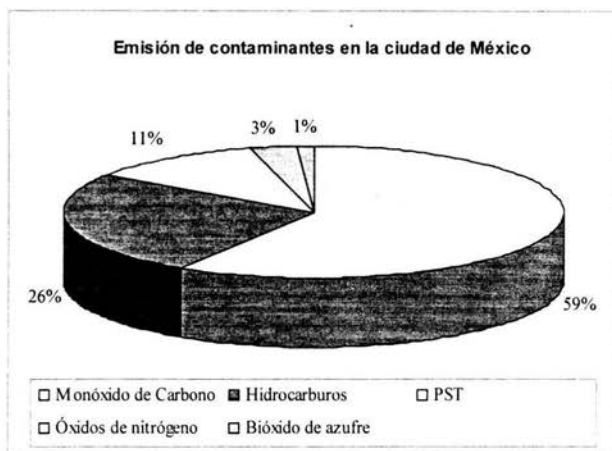
La ciudad de México también conocida como el área metropolitana de la ciudad de México (MCMA), como otros sitios urbanos en el mundo, enfrenta severo deterioro de la calidad del aire. Casi 20 millones de habitantes están expuestos diariamente a emisiones de contaminantes provenientes de cientos de procesos de micro industrias, a más de 3.5 millones de vehículos y a contaminantes a partir de fuentes naturales como el volcán Popocatepetl y a emisiones de sólidos. Algunos autores han sugerido que la mayoría de las partículas suspendidas (DDF, 1996) se originaron en la parte norte y oriente del área metropolitana de la ciudad de México desde que hay grandes áreas de suelos sin vegetación. *La presencia de materia particulada en la ciudad de México representa después del ozono en la troposfera, el segundo problema de contaminación atmosférica más significativa.* A pesar de numerosos esfuerzos de autoridades gubernamentales, la concentración de estas partículas está usualmente por arriba de los estándares de la calidad del aire mexicanos e internacionales. (Mujica, et., al, 2001).

Los principales contaminantes atmosféricos presentes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) son los siguientes:

1. Partículas Suspendidas Totales (PST)
2. Óxidos de Azufre (SO₂) y Bióxido de nitrógeno (NO₂)
3. Bióxido de Carbono (CO₂)
4. Monóxido de Carbono (CO)
5. Ozono (O₃)
6. Hidrocarburos
7. Clorofluorocarbonos
8. Metales Pesados: Plomo (Pb), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Cadmio (Cd) y Níquel.

Más de la mitad de la industria del país se encuentra localizada en el área urbana de más o menos 1050 kilómetros cuadrados inscrita en la MCMA. Adicionalmente, más de una quinta parte de la población nacional habita en la Ciudad, donde se consume más de 150 veces el promedio nacional de energía por unidad de área y circulan las tres quintas partes de los vehículos del país. Esta combinación del uso de recursos trae como consecuencia la liberación de 11.7 mil toneladas de contaminantes cada día, es decir 4.35 millones de toneladas al año. (Secretaría del

Medio Ambiente, 2000). De estas emisiones, el 58.8% es monóxido de carbono, 25.7% son hidrocarburos, 11.2% corresponden a partículas suspendidas, 3.2% son óxidos de nitrógeno y 1.1% es bióxido de azufre. (Dirección de Educación Ambiental, 2002)



Fuente: Dirección de Educación Ambiental, 2002

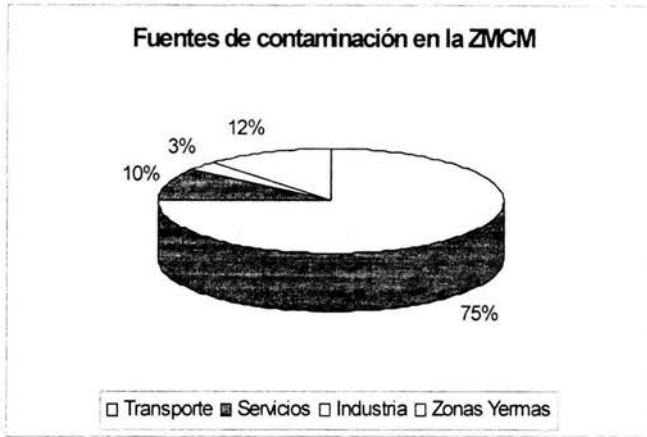
La ciudad está casi completamente rodeada por montañas que alcanzan 1,200 metros de altura. Las montañas, que constituyen una barrera para la circulación del aire, dan lugar al estancamiento de los contaminantes provenientes de la actividad urbana. (Mujica y Figueroa, 1996)

1.9 FUENTES DE EMISION DE LOS CONTAMINANTES EN EL ZMCM (Zona Metropolitana de la ciudad de México)

En la ciudad de México las principales fuentes antropogénicas son:

- a) La combustión realizada por el transporte
- b) Servicios (la construcción por ejemplo) y termoeléctricas
- c) La industria
- d) Durante la época de estiaje la fuente principal de aereopartículas son las tolvaneras.

Figura 1.2 Fuentes de emisión de los contaminantes en la zona metropolitana de la ciudad de México.



Fuente Dirección de Educación Ambiental, 2002

1.10 MEDICIONES DE LA CONTAMINACIÓN EN EL AIRE

El Índice Metropolitano de la Calidad del aire (IMECA) es un valor de referencia para que la población conozca los niveles de contaminación prevalentes en su zona de residencia, de manera precisa y oportuna, para que se tomen las medidas pertinentes de protección. Cuando el IMECA de cualquier contaminante rebasa los 100 puntos, significa que sus niveles son perjudiciales para la salud y en la medida en que aumenta el valor del IMECA se agudizan los síntomas (Mujica y Figueroa, 1996)

Figura 1.3 Valores IMECA para las PST

IMECA	Calidad del aire	PST (24 hrs.)
0-100	Satisfactoria	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
101-200	No satisfactoria	546 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
201-300	Mala	627 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
301-500	Muy mala	1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fuente: INE-CENICA (1997)

CAPITULO 2

PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST)

PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST)

2.1 DEFINICIONES

Aereopartículas: Término que se emplea para describir la materia sólida o líquida dispersa y arrastrada por el aire, el diámetro de las aereopartículas oscila entre 0.0002 y 500 micrómetros (μm). En conjunto se designa como partículas suspendidas totales o PST. (Sistema de Monitoreo Atmosférico, 2004)

Figura 2.1 Definiciones concernientes acerca de las aereopartículas.

Términos importantes que describen a las aereopartículas	
Polvo	Partículas formadas por la desintegración mecánica de sólidos, capaces de estar en suspensión temporal en el aire.
smoke	Materia particulada ($<15\mu\text{m}$) compuesta de varios contaminantes que resulta de la combustión incompleta de los combustibles fósiles.
Neblina	Se refiere a altos niveles de gotas de agua.
Niebla	Son gotas pequeñas que se forman por condensación de un vapor, dispersión de un líquido o como producto de una reacción química
Hollín	Una aglomeración de partículas de carbón con compuestos orgánicos e inorgánicos.
Humo	Partículas finas sólidas menores a $1\mu\text{m}$, formadas de la combustión incompleta del carbón, madera y tabaco.
Aerosoles	Están constituidos por materia sólida o líquida suspendida en el aire. Su tamaño está comprendido entre $0.01\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$.

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente, 2004

Tamaño de la partícula: Usualmente expresa el diámetro de la partícula. La razón a la cual una partícula se asienta es función del diámetro de la partícula y de la densidad. La velocidad de asentamiento de la partícula es importante en la determinación de los efectos de la partícula en la atmósfera.

Diámetro aerodinámico (D_a): depende de la densidad de la partícula y está definido como el diámetro de una partícula con la misma velocidad de asentamiento que una partícula esférica con densidad igual a la unidad (1g/cm³). Aereopartículas con el mismo tamaño y forma física pero diferentes densidades tendrán diferentes diámetros aerodinámicos. PMAQDC (U.S. EPA, 2002)

2.2 FUENTES DE EMISION DE LAS PST

Las fuentes de emisión de las aereopartículas pueden ser naturales o antropogénicas.

a) *Fuentes antropogénicas*: aereopartículas finas (<2.0 µm de D_a)

- Combustión de combustibles fósiles (transporte e industria)
- Centrales térmicas
- Fundiciones
- Plantas asfálticas
- Fábricas de cristal
- Fábricas de cerámica
- Cementeras y minería
- Cremaciones agrícolas
- Refinerías
- Fabricación de hierro y acero
- Incineradores y quema de basura doméstica

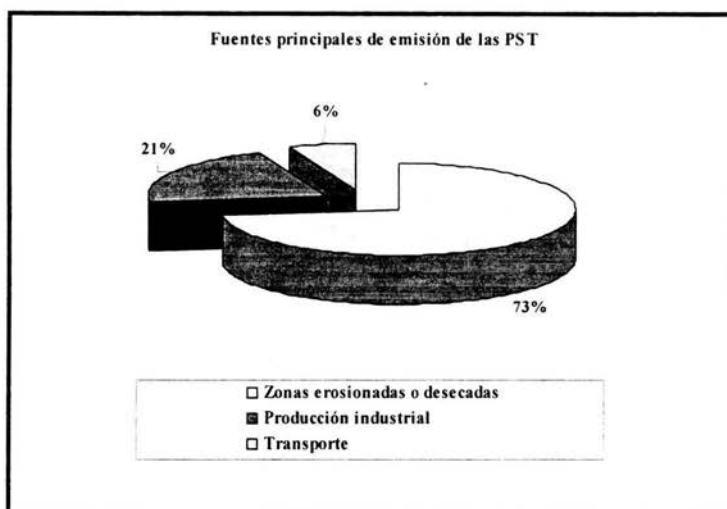
b) *Fuentes naturales*: aereopartículas gruesas (>2.0µm de D_a)

- Polvo del suelo arrastrado por el viento (principalmente)
- Erupciones volcánicas
- Incendios forestales y/o agrícolas
- La descomposición de la vegetación.

Sin embargo, una basta variedad de actividades humanas provocan el rompimiento y la dispersión de material a la atmósfera, por ejemplo las demoliciones, trituraciones, las excavaciones y la circulación de carros en la tierra provoca el levantamiento del polvo. El cultivo de la tierra la ha hecho mucho más susceptible a provocar erosiones. (Manahan, 1999)

Entre las fuentes principales de emisión de PST se encuentran las siguientes:

Figura 2.2 Fuentes principales de emisión de las PST



Fuente: (Quadri y Sánchez, 1992)

2.3 FORMACION Y CRECIMIENTO DE LAS PST

Se han identificado tres maneras por las cuales los aerosoles pueden ser formados: 1) modo de nucleación, que le corresponden "aereopartículas ultrafinas" por debajo de $0.1 \mu\text{m}$ de diámetro 2) modo de acumulación, de 0.1 a $2.0 \mu\text{m}$ de diámetro 3) El modo grueso, que contiene partículas mayores a $2.0 \mu\text{m}$ de diámetro. El modo fino incluye el modo de núcleo y el modo de acumulación. PMAQDC (U.S. EPA, 2002)

Las aereopartículas pertenecientes al modo de nucleación podrían crecer por coagulación como dos aereopartículas que se combinan para formar una sola. Las aereopartículas también podrían crecer por condensación, es decir un gas se condensa sobre una partícula ya existente. De esta manera el tamaño de las aereopartículas aumenta y llega a formar parte del modo de acumulación. Las aereopartículas del modo de nucleación crecen dentro del modo de acumulación pero las aereopartículas del modo de acumulación no crecen dentro del modo grueso. PMAQDC (U.S. EPA, 2002)

2.4 PROCESOS DE ELIMINACIÓN DE LAS PST

- a) *Deposición en seco*: La vida de las aereopartículas varía de acuerdo a su tamaño. Las aereopartículas gruesas pueden asentarse rápidamente en la atmósfera dentro de unas horas, y normalmente viajan distancias cortas (1-10Km). Solamente cuando hay borrascas las aereopartículas gruesas viajan de 100 a 1000 Km. Las aereopartículas ultrafinas tienen vida media de minutos a horas y viajan de 1 a 10 kilómetros. En el modo de acumulación las aereopartículas se mantienen suspendidas por movimientos de aire normal viajando de 100 a 1000 Km. El tiempo de vida en el aire de estas aereopartículas es de días a semanas, teniendo velocidades de deposición muy baja. (PMAQDC, 2002)
- b) *Deposición húmeda*: Las aereopartículas finas son eliminadas por la lluvia, principalmente. Las aereopartículas finas especialmente aquellas con un componente higroscópico crecen mientras la humedad relativa aumenta, sirven como núcleo de condensación de la nube y crecen dentro de las gotas de agua. Si las gotas de agua crecen grandes lo suficiente para formar la lluvia, las aereopartículas son removidas en la lluvia. El descenso de las gotas de lluvia golpea a las aereopartículas gruesas y las elimina (PMAQDC, 2002).

2.5 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN A LAS PST

Las partículas están constituidas por diversos compuestos orgánicos e inorgánicos. Entre los componentes orgánicos se encuentran: fenoles, ácidos, alcoholes y material biológico (polen, protozoarios, bacterias, virus, hongos, esporas y algas). Entre los compuestos inorgánicos se encuentran los nitratos, sulfatos, polímeros, silicatos, metales pesados (hierro, plomo, manganeso, zinc o vanadio) y elementos derivados de pesticidas y plaguicidas. Los metales aparecen en un rango de solamente 0.01 a 3% del total de las aereopartículas pero pueden afectar mucho al acumularse. (Mujica y Figueroa, 1996).

2.6 CLASIFICACIÓN DE LAS PST

La clasificación de las PST de acuerdo con su efecto sobre la salud humana es:

- a) *Aereopartículas sedimentables ($>10\mu\text{m}$)*: Son partículas que por su peso tienden a precipitarse con más facilidad, razón por lo cual permanecen suspendidas en el aire en periodos cortos de tiempo. Por lo general no representan riesgos significativos a la salud humana. (Sistema de Monitoreo Atmosférico, 2004)
- b) *Aereopartículas menores a 10 micrómetros (PM_{10})*: Son partículas de diámetro aerodinámico equivalente o menor a $10\mu\text{m}$. Se consideran perjudiciales para la salud debido a que se acumulan a lo largo de todo el sistema respiratorio hasta los pulmones, produciendo irritación y deterioro de las vías respiratorias, enfermedades cardiovasculares e incidiendo en la aparición de cáncer. (Sistema de Monitoreo Atmosférico, 2004)
- c) *Aereopartículas menores a $2.5\mu\text{m}$ ($PM_{2.5}$)*: En esta categoría se incluyen las aereopartículas inhalables de mayor penetración en el sistema respiratorio (alvéolos) y, por lo tanto, las más dañinas a la salud, incrementando el riesgo de padecer enfermedades crónicas cardiovasculares y muerte prematura en la población. (Quadri y Sánchez, 1992)

2.7 EFECTOS DE LAS PST

- a) *Daños a la salud humana*: las partículas mayores a $10\mu\text{m}$ son retenidas básicamente en las vías respiratorias superiores y eliminadas en su mayor parte por el sistema de limpieza natural del tracto respiratorio, por lo que no son consideradas significativamente dañinas para la salud, sin embargo la exposición continua a altas concentraciones puede causar irritación de garganta y mucosas. La contaminación por aereopartículas menores a $10\mu\text{m}$ puede: agravar el asma, causar dificultad o dolor al respirar, provocar bronquitis crónica, neumonía, enfermedades cardiovasculares y pulmonares, cáncer, muerte prematura etc. (PMAQDC, 2002)

- b) *Efectos sobre los materiales*: las partículas actúan como catalizadores sobre superficies metálicas, favoreciendo su oxidación. Además pueden absorber gases como los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, los cuales reaccionan con la humedad del entorno y forman partículas de ácido sulfúrico o nítrico. Estos ácidos dañan las construcciones, estructuras metálicas, pinturas de los edificios. También producen alteraciones a las telas y objetos domésticos, así como también dañan la piel, los ojos y el cabello de los seres vivos. (Díaz, 1993)
- c) *Efectos sobre la vegetación, agua y el suelo*: los daños principales son: reducción del crecimiento de las plantas, obtención de productos pequeños y destrucción de las flores. Las aereopartículas pueden viajar a grandes distancias y asentarse en el suelo o en el agua provocando: 1) acidez en los lagos y ríos, 2) cambio en el balance nutricional en aguas costeras, lagos y ríos, 3) agotamiento de los nutrientes del suelo etc. (Díaz, 1993)
- d) *Daños al medio ambiente*: El efecto más evidente de contaminación sobre la atmósfera es la reducción de la visibilidad, que es el resultado de la absorción y dispersión de la luz que provocan las aereopartículas (Mujica y Figueroa, 1996). Las aereopartículas reflejan y absorben parte de la energía solar, lo cual provoca un decremento de la temperatura en algunas regiones del planeta. (Sistema de Monitoreo Atmosférico, 2004)

2.8 ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AIRE PARA PST

Estándar de calidad del aire: es un objetivo nacional para una concentración aceptable (concentración máxima permisible) de un contaminante específico en el aire.

La concentración máxima permisible de una sustancia nociva en el aire es su máxima concentración referida a un determinado periodo de exposición que dado el conocimiento actual no ejerce influencia perjudicial demostrable directa o indirecta sobre el organismo humano, incluidas las consecuencias tardías para la actual generación y las sucesivas, no reduce la capacidad de trabajo del hombre y no afecta su bienestar. (Díaz, 1993)

Para el monitoreo atmosférico se han desarrollado dos estándares para cada contaminante: (Díaz, 1993)

- a) *Un estándar primario*: el cual está basado en la información relacionada a la salud humana. (Díaz, 1993)
- b) *Un estándar secundario*: El cual protege el bienestar público que incluye los efectos al suelo, agua, vegetación, construcciones, animales y otros valores económicos. (Díaz, 1993)

Figura 2.3 Estándares de calidad del aire

Estándares de calidad del aire para las PST NOM-024-SSA1-1993	
Estándar Primario (24 hrs.)	260µg/m ³
Estándar Secundario (24 hrs.)	150µg/m ³

Fuente: (Quadri y Sánchez, 1992)

2.9 MONITOREO DE LAS PST

El monitoreo del aire: es el resultado de los procedimientos de muestreo y análisis de los contaminantes. El muestreo es el procedimiento por el cual las muestras son recolectadas, mientras que el análisis involucra los métodos para determinar las concentraciones de los contaminantes en una muestra de aire. (Díaz, 1993)

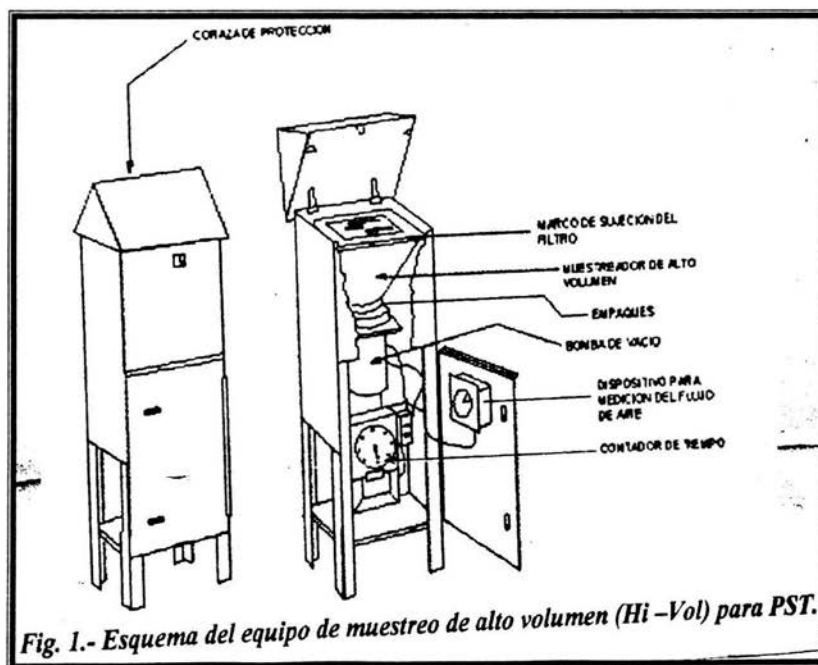
El monitoreo atmosférico es una herramienta que *permite* conocer con niveles aceptables de confiabilidad la calidad del aire con respecto a contaminantes específicos y formular, con base a los datos obtenidos, las estrategias de control y las medidas oportunas y adecuadas para una efectiva administración de la calidad de este recurso todo ello en el marco de la Gestión Ambiental. (Díaz, 1993)

Para medir la calidad del aire ambiental o las emisiones puntuales de contaminantes se debe especificar el método de medición. Un método especificado como estándar, se denomina *método de referencia*. Un *método equivalente* se define como el que

proporciona resultados comparables con los obtenidos por el método de referencia. (Bravo y Sosa, 1987)

El método de referencia basado en la Norma oficial mexicana NOM-035-ECOL-1993 permite medir la concentración de aeropartículas suspendidas totales en el aire por medio de un muestreador (hi-Vol.) adecuadamente localizado, que succiona a través de un filtro una cantidad determinada de aire ambiente hacia el interior de una caseta o coraza de protección, durante un periodo de muestreo de 24 hrs. La velocidad de flujo del aire ambiente y la geometría del muestreador son tales que favorecen la recolección de aeropartículas hasta de 50 μm de diámetro aerodinámico, dependiendo la velocidad del viento y su dirección.

Figura 2.4 Esquema del equipo hi-Vol. para muestreo de PST



Fuente: NOM-035-ECOL-1993

CAPÍTULO 3

METALES PESADOS EN LAS PST

METALES PESADOS EN LAS PST

3.1 DEFINICIONES

Los contaminantes tóxicos o peligrosos del aire: se definen como aquellos contaminantes que son conocidos o sospechosos de causar cáncer u otros efectos serios de salud, tales como defectos de nacimiento, retardos en el desarrollo, reducción en el sistema inmunológico, daños al sistema respiratorio y efectos adversos al medio ambiente. (Agencia para la Protección del Medio ambiente, 1999)

Los contaminantes tóxicos del aire incluyen metales pesados, químicos volátiles, derivados de la combustión y solventes. La EPA identificó a los metales pesados de Arsénico (As), Berilio (Be), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Plomo (Pb), Manganeso (Mn), Mercurio (Hg) y Níquel (Ni) como algunos de los 188 contaminantes tóxicos que ocasionan las mayores amenazas a la salud pública en áreas urbanas. (Agencia para la Protección del Medio ambiente, 1999)

Metal pesado: se refiere a cualquier elemento químico metálico que tiene relativamente alta densidad (densidad mayor a 5g/cm³) y es tóxico o venenoso a concentraciones bajas. (Foulkes, 1994)

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra. En un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire. Algunos metales pesados Cobre (Cu), Selenio (Se) y Zinc (Zn) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo en concentraciones más altas puede conducir al envenenamiento. (Agencia para la Protección del Medio ambiente, 1999)

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación. (Fergusson, 1990)

3.2 FUENTES NATURALES

Las partículas del aire contaminado provenientes de fuentes naturales usualmente tienen diámetro aerodinámico mayor que $2.5\mu\text{m}$. Los metales originados de fuentes naturales varían con el origen de las partículas, aquellos metales en las más altas concentraciones en polvos de la corteza son Fe, Mn, Zn, Al, Si, Ti, Na y K. Cenizas volcánicas pueden tener una gran cantidad de Fe, Mn, V, Zn, Co, As, Sb. Y las emanaciones biológicas contienen bajas concentraciones de Zn (de hojas y árboles), Hg., V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, As, Pb, Cd, Sb (árboles coníferos). (Holgate y Samet 1999)

3.3 FUENTES ANTROPOGÉNICAS

Los metales están más frecuentemente asociados con las partículas de aire contaminado de origen antropogénico (combustión de combustibles fósiles). Estas tienen valores de diámetro aerodinámico menores que $2.5\mu\text{m}$. (Holgate y Samet 1999)

Las principales fuentes antropogénicas de metales en la atmósfera son:

- a) *La quema de combustibles fósiles* es el origen antropogénico de de Sb, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Hg, Mo, Ni, Pb, V, y Zn.
- b) *La incineración de residuos* es importante en la emisión de Cd, Hg, Zn, Fe, Pb, Ti, As, Cd, Co, Cu, Mn, Ni y Sb.
- c) *La fundición de metales* es una fuente importante de As, Cd, Cu y Zn. El Cr y Mn provienen de procesos que involucran la producción de Fe y acero. (Holgate y Samet 1999)

El Cu, Zn, Cd, Sb, Ba y Pb son emitidos del tráfico automovilístico en considerables cantidades (Sternbeck, et. al, 2002). En el caso de las emisiones de partículas en el aire contaminado, tanto de fuentes naturales como antropogénicas, el Fe es el metal en las más altas concentraciones. (Holgate y Samet 1999)

Cantidades notables de productos de la combustión en las partículas finas son el hollín y las cenizas volantes. Las cenizas volantes están compuestas de Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , Al_2O_3 , SiO_2 . La composición de las cenizas volantes varía totalmente, dependiendo del

combustible. Los constituyentes predominantes son óxido de aluminio, calcio, hierro y silicio. Otros elementos que ocurren en las cenizas volantes son magnesio, sulfuro, titanio, fósforo, potasio y el sodio. El hollín, que es una mezcla de carbón particulado con compuestos orgánicos e inorgánicos es un constituyente significativo de las cenizas volantes. (Manahan, 1999)

3.4 DESCRIPCIÓN DE LOS METALES PESADOS EMITIDOS AL AIRE

A continuación se da una descripción general del As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V.

Figura 3.1 Descripción general del Arsénico

ARSENICO (As)	
Origen	Es un elemento natural de la corteza terrestre. Emitido al aire por la actividad industrial, por la quema de madera tratada con As, por la fundición de metales, por la producción de aleaciones, refinería entre otras actividades.
Forma química	El arsénico es combinado con el oxígeno, el cloro y el azufre para formar compuestos inorgánicos de arsénico. El arsénico en plantas y animales se combina con carbón e Hidrógeno para formar compuestos orgánicos de Arsénico. El arsenito y el arsenato son los compuestos más comunes del As en el aire.
Comportamiento	El arsénico no se puede destruir en el medio ambiente, sólo cambia su forma. El arsénico en el aire se asienta en el suelo o se elimina del aire mediante la lluvia. Muchos compuestos de arsénico se pueden disolver en el agua.

Fuente: ATSDR. 1995.

3.2 Descripción general del Cadmio

CADMIO (Cd)	
Origen	<p>Elemento natural de la corteza terrestre.</p> <p>El Cd entra al aire principalmente por la actividad minera, industrial, por la quema de carbón y combustibles fósiles (automóvil) así como por la quema de residuos municipales.</p> <p>El rango del tamaño de la partícula en la cual se encuentra el Cd es de 0.3 a 0.8μm (D_a)</p>
Forma química	<p>Es encontrado como un mineral combinado con otros elementos para obtenerlo en la forma de óxido de cadmio, cloruro de cadmio o como sulfato de cadmio.</p>
Comportamiento	<p>Las partículas de Cd en el aire pueden viajar largas distancias antes de caer al suelo o al agua.</p> <p>El Cd se ata fuertemente a las partículas del suelo. Algo de cadmio se disuelve en agua, este metal no se destruye en el medio ambiente pero puede cambiar su forma.</p> <p>El Cd permanece en el organismo por un largo periodo de tiempo.</p>

Fuente: ATSDR. 1995.

Figura 3.3 Descripción general del Cromo

CROMO (Cr)	
Origen	<p>Es abundante en la corteza terrestre. Sus fuentes naturales son el polvo del suelo y cenizas volcánicas.</p> <p>La fuente antropogénica principal del Cr es el sector industrial.</p> <p>El rango del tamaño de la partícula en la cual se encuentra el Cr es de 1.0 a 5.0μm (D_a)</p>
Forma química	<p>El cromo hexavalente existe en varias formas: cromato de calcio, tróxico de cromo, cromato de plomo, cromato de estroncio, cromato de zinc y dicromato de potasio.</p> <p>Los compuestos más importantes de cromo son: cromatos de sodio y potasio y los dicromatos.</p>

Comportamiento	Algunos compuestos de Cr son solubles en agua, en ácidos (sulfúrico, nítrico) y en álcalis. Otros compuestos son insolubles en agua. Algunos compuestos reaccionan con ácido nítrico, clorhídrico y con sales de amonio. Insoluble en bases. Es estable al aire y no reacciona con el agua.
-----------------------	--

Fuente: ATSDR.1995

Figura 3.4 Descripción general del Cobre

COBRE (Cu)	
Origen	Se encuentra en la corteza terrestre, en muchos minerales: cuprita, malaquita, azurita, calcopirita, bornita etc. El Cu se encuentra asociado con la actividad industrial y el sector automovilístico
Forma química	Las menas más importantes son los sulfuros, óxidos y carbonatos. El sulfato de cobre (II) es la sal más importante.
Comportamiento	Es un oligoelemento importante para los seres vivos. No es tóxico aunque en grandes cantidades produce vómitos.

Fuente: ATSDR. 1995.

Figura 3.5 Descripción general del hierro

HIERRO (Fe)	
Origen	En la corteza es el cuarto elemento más abundante (5.63% en peso), tras el silicio, oxígeno y aluminio. Está relacionado también con la actividad industrial.
Forma química	Entre sus compuestos destacan: el óxido de hierro (III), el óxido ferroso-férrico (II, III). El sulfato de hierro (II)
Comportamiento	El Fe generalmente está aleado con carbono y otros metales, el metal puro es muy reactivo, rápidamente se corroe, especialmente en aire húmedo o agua conteniendo CO ₂ .

Fuente: ATSDR. 1995.

Figura 3.6 Descripción general del Manganeso

MANGANESO (Mn)	
Origen	Elemento derivado de la corteza terrestre. También está relacionado con los procesos industriales. El rango del tamaño de la partícula en la cual se encuentra el Mn es de 1.0 a 5.0 μ m (D _a)
Forma química	No se encuentra aislado. Entre sus combinaciones naturales destacan: óxidos, carbonatos y silicatos.
Comportamiento	Es reactivo y descompone el agua fría lentamente, desprendiendo hidrógeno. Se oxida lentamente en el aire. Se disuelve en los ácidos. A temperatura ambiente reacciona lentamente con los no metales.

Fuente: ATSDR. 1995.

Figura 3.7 Descripción general del Plomo

PLOMO (Pb)	
Origen	Se origina a partir de fuentes naturales tales como el deterioro de las rocas, actividad volcánica, polvo del suelo e incendios forestales. El principal origen del Pb en el área urbana es el transporte. También está relacionado con los procesos de fundición e industriales. El rango del tamaño de la partícula en la cual se encuentra el Pb es de 0.3 a 0.8 μ m (D _a)
Forma química	La materia principal de la descarga de un carro es el PbClBr, PbO, Pb (OH) Cl, Pb (OH) Br. Otros compuestos de plomo son los carbonatos y cromatos. La materia proveniente de la fundición contiene PbS y PbSO ₄
Comportamiento	La mayor parte de los compuestos de plomo se introducen a la atmósfera en partículas muy pequeñas, las cuales viajan a grandes distancias antes de su eliminación, aunque las grandes partículas son depositadas por la lluvia

Fuente: ATSDR. 1995.

Figura 3.8 Descripción general del Vanadio

VANADIO (V)	
Origen	Elemento relacionado con la combustión de combustibles fósiles debido a que es el principal constituyente organometálico del aceite. Su D_5 se encuentra en el rango de 1-5 μ m.
Forma química	No se encuentra en estado elemental, pero sí en una gran cantidad de minerales (carnosita, roscoleita etc.). Se encuentra en fosfatos y ciertos minerales de hierro y plomo, en arcillas, en campos de labrado etc. Se encuentra como V_2O_5
Comportamiento	En estado pulverento, arde en el aire. Se disuelve en los ácidos oxidantes o en ácido sulfúrico.

Fuente: ATSDR. 1995.

3.5 EFECTOS A LA SALUD HUMANA

A continuación se da una lista general de los efectos a la salud más comunes de los metales pesados en el aire.

Figura 3.9 Efectos de los metales a la salud humana

EFECTOS DE LOS METALES A LA SALUD HUMANA	
Metal	Efecto adverso
As	Puede causar náuseas y vómito, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos. Causa dermatitis, bronquitis, es un carcinógeno en la boca, laringe y en la vejiga. Puede incrementar el riesgo de cáncer pulmonar, de la piel, del hígado, del riñón y de la próstata.
Cd	Cantidades altas de Cd dañan los pulmones y pueden causar la muerte también daña a los órganos reproductivos. Causa fragilidad de los huesos y fiebre continua.
Cr	Exposiciones prolongadas por trabajadores y vecinos de las industrias, puede causar cáncer, irritación del sistema respiratorio, perforación en las vías respiratorias, congestión, enfisema, bronquitis, faringitis, daño a los ojos, a los pulmones. La exposición de la piel al cromo puede causar dermatitis y úlceras.
Mn	Causa daños neurológicos, sus manifestaciones clínicas desde dolores de cabeza, irritabilidad, anorexia van hacia temblores, pérdida de la memoria, rigidez muscular etc.
Pb	Incrementa la presión en la sangre de los adultos. Se acumula en los tejidos musculares y huesos, particularmente en el cerebro resultando en la reducción de sus funciones.
V	Produce irritación en el sistema digestivo y respiratorio y puede inhibir la síntesis del colesterol

Fuente: Dulka y Risby (The Pennsylvania State University)

3.6 CONCENTRACIONES MÁXIMAS PERMISIBLES DE LOS METALES PESADOS

Varios países desarrollan políticas de control ambiental con base en normas, éstas establecen las concentraciones máximas permisibles de contaminantes para asegurar la protección de la salud y el bienestar de la población.

Figura 3.10 Concentraciones máximas permisibles de los metales en la atmósfera dados a conocer por la ATSDR en Estados Unidos de América.

CONCENTRACIONES MAXIMAS PERMISIBLES DE LOS METALES EN LA ATMÓSFERA

Metal	Límite máximo permisible.
As	0.1 mg/m ³ (100µg/m ³) en un periodo de 8 horas.
Cd	El promedio diario inhalado para los humanos está estimado como 0.15µg /m ³
Cr	La máxima concentración tolerada es 0.1 mg/m ³ (100µg/m ³) de CrO ₃ El límite máximo es de 1.0 mg/m ³ durante 8 hrs.
Mn	La exposición a polvo, vapor y compuestos de Mn no debe exceder de 5 mg/m ³ durante cortos periodos de tiempo.
Pb	En tres meses 1.5 µg/m ³
V	La máxima cantidad de vapor (o polvo) de V ₂ O ₅ admitida es 0.05 mg/m ³ (50µg/m ³)

Fuente: ATSDR. 1995.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE TRABAJO

METODOLOGÍA DE TRABAJO

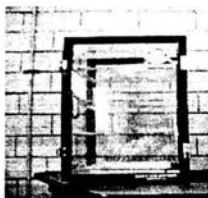
4.1 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO (NOM-035-ECOL-1993) DE LAS PST

Para el monitoreo de las PST se utilizaron filtros de tamaño de 20.3 x 25.40 cm. elaborados con material de fibra de vidrio (FVPST). Con eficiencia de recolección mínima del 99% para partículas de 0.3 μm de diámetro.

El procedimiento de muestreo de las PST llevado a cabo en el Centro Tecnológico Aragón para este proyecto se describe a continuación:

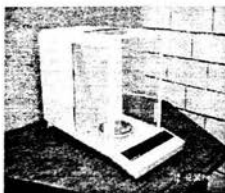
1. Colocar el filtro en el horno (a 125°C aprox.) por un periodo mínimo de 24 hrs.
2. Mantener en condiciones ambientales controladas (temperatura entre 15 y 30 °C y con humedad relativa menor al 50%) al filtro por lo menos 24 horas dentro de un desecador.

Figura 4.1 Desecador para los filtros PST



3. Se pesa el filtro y se anota su peso neto (**Pi**) en una hoja de registro.

Figura 4.2 Balanza digital para pesar los filtros PST



4. El filtro se guarda entre hojas blancas limpias y se introduce en un fôlder para así poder llevarlo al sitio donde se encuentra el equipo hi-Vol.

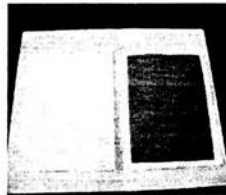
5. Se coloca el filtro en el marco de succión del equipo hi-Vol. procurando no doblar o maltratar el filtro.

Figura 4.3 Marco de succión en donde se coloca el filtro a muestrear



6. Activar el controlador de tiempo (TIMER) para que el equipo lleve a cabo el muestreo de PST por 24 horas.
7. Se quita cuidadosamente el filtro tocando únicamente los bordes del filtro, usando guantes de algodón.

Figura 4.4 Filtros antes y después del muestreo



8. Se coloca el filtro dentro del desecador por lo menos 24 horas para eliminar la humedad (entre 20 y 30%HR) que haya absorbido durante el tiempo de muestreo.
9. Pesar el filtro nuevamente y registrar el peso final neto (Pf).

4.2 PROCEDIMIENTO DE DIGESTIÓN DE LOS FILTROS MUESTREADOS

Una vez que se han muestreado los filtros se procede a extraerles los metales pesados de la siguiente manera:

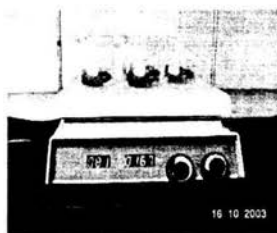
1. Se prepara una solución de ácido nítrico suprapuro al 20% en peso utilizando agua desionizada.

Figura 4.5 Solución de ácido nítrico al 20% en peso



2. A nueve vasos de precipitado de 200 mL limpios (ver procedimiento de lavado de material en el apéndice B) se les colocan etiquetas con sus respectivas fechas de muestreo y se les agrega 100 mL de solución de ácido nítrico suprapuro al 20% en peso.
3. Se sumergen los filtros muestreados en la solución y se procede a tapar los vasos con placas de vidrio para evitar el escape del vapor al momento del calentamiento.
4. Se colocan los nueve vasos de precipitado alrededor de la plancha de calentamiento. El calentamiento se lleva a cabo por una hora manteniendo la solución a temperatura de 80°C.

Figura 4.6 Plancha de calentamiento en donde se lleva a cabo la digestión



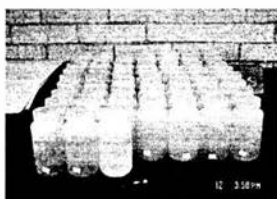
5. A nueve matraces aforados de 200ml se les coloca una etiqueta con la fecha de muestreo de su filtro correspondiente.
6. Una vez que el tiempo de digestión ha concluido, la solución de ácido nítrico caliente de cada vaso se traspa a su matraz aforado quedando solamente los filtros en los vasos de precipitado.

Figura 4.7 Solución obtenida de la primera parte de la digestión de los filtros



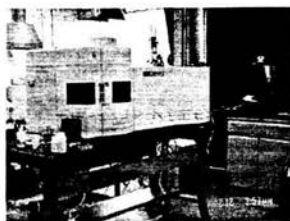
7. A los filtros se les agrega 100ml de agua desionizada y se colocan nuevamente en la plancha de calentamiento durante una hora a la temperatura de 80°C.
8. Después de haber concluido el calentamiento. Las soluciones se vacían a sus matraces aforados y se terminan de aforar a 200mL.
9. Las soluciones se envasan en frascos de polietileno y se tapan de manera que no haya derrame de la solución ácida.

Figura 4.8 Dibujo de las soluciones que contienen a los metales extraídos con ácido nítrico suprapuro



10. Se realizan las lecturas en el equipo de Espectrometría de Emisión Óptica Por Plasma Acoplada Inductivamente (ICP-OES).

Figura 4.9 Equipo de Espectrometría de Emisión por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES)



CAPÍTULO 5

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

5.1 PARA OBTENER LA CONCENTRACIÓN DE LAS PST

$$a) \Delta P = P_f - P_i = mg$$

Donde: ΔP = Diferencia de peso en miligramos.

P_f = peso del filtro muestreado en miligramos

P_i = peso inicial del filtro blanco en miligramos

$$b) \Delta T = (T_f - T_i) 0.6$$

Donde: ΔT = Diferencia de tiempo en minutos.

T_f = Tiempo final de muestreo del equipo hi-Vol. en minutos

T_i = Tiempo inicial de muestreo del equipo hi-Vol. en minutos

0.6= factor de conversión para transformar a minutos el tiempo.

$$c) \text{Conc. real} = \Delta P * 1000 / F_c * \Delta T$$

Donde: Conc.real = Es la concentración real de las PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

F_c = Flujo de aire obtenido en la gráfica de calibración en m^3/min .

ΔP = Diferencia de peso en miligramos

ΔT = Diferencia de tiempo en minutos.

$$d) \text{Conc. STD} = \text{Conc. real} * T_1 * P_2 / T_2 * P_1$$

Donde: Conc.STD= concentración estándar de las PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

T_1 = Temperatura a condiciones estándar 25°C.

P_1 = Presión a condiciones estándar 1 atm.

T_2 = Temperatura promedio en grados centígrados (°C) del día de muestreo.

P_2 = Presión atmosférica a la cual está la MCMA en atmósferas (atm).

$$e) \text{Vol. Real} = F_c * \Delta T$$

Donde: Vol. real = volumen real de aire succionado por el equipo en m^3

F_c = Flujo de aire obtenido de la gráfica de calibración en m^3/min .

ΔT = La diferencia de tiempo en minutos.

$$f) \text{ Vol. STD} = \text{Vol. real} \cdot T_1 \cdot P_2 / T_2 \cdot P_1$$

Donde: Vol. STD= volumen estándar del aire succionado por el equipo en m³

T₁= Temperatura a condiciones estándar, 25°C

P₁= Presión a condiciones estándar, 1 atmósfera

T₂= Temperatura promedio del día de monitoreo en °C

P₂= Presión a la cual se encuentra el D.F en atmósferas.

Vol. real = volumen real de aire succionado por el equipo en m³

5.2 PARA OBTENER LAS CONCENTRACIONES DE LOS METALES PESADOS

$$a) \text{ Conc. Metal} = (\text{Conc. FM} - \text{Con. FB}) \cdot 1000$$

Donde: Conc. Metal= Es la concentración del metal obtenida en µg/L

Conc. FM = Es la concentración (mg/L) del metal en la solución digerida del filtro muestreado.

Conc. FB =Es la concentración (mg/L) del metal en la solución digerida del filtro blanco.

1000= factor de para transformar miligramos a microgramos

$$b) \text{ Masa del metal} = \text{Conc. Metal} \cdot V$$

Donde V= es el volumen al cual se aforaron las soluciones (0.2 y 0.25L)

La masa del metal se expresa en microgramos.

$$c) \text{ Conc. metal} = \text{Masa del metal} / \text{Vol. STD}$$

Donde Conc. metal es la concentración del metal en µg/m³

Vol. STD= volumen estándar del aire succionado por el equipo en m³

5.3 PARA OBTENER LOS VALORES IMECA

A partir de las concentraciones estándar de las PST se procede a calcular los valores IMECA de la siguiente manera:

a) $IPST = 0.384615 * Conc.PST$

Si los valores de PST son de 0- 260 μ g/m³

b) $IPST = 0.540540 * Conc.PST - 40.540541$

Si los valores de PST son de 260-1000 μ g/m³

5.4 PARA OBTENER LA GRÁFICA DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO hi-Vol.

La siguiente tabla muestra las consideraciones que se tuvieron que tomar en cuenta para calcular el flujo volumétrico de aire succionado por el equipo.

Figura 5.1 Consideraciones empleadas para calcular el flujo volumétrico de aire succionado por el equipo

Manómetro1 A	Manómetro1 B	Manómetro2 C	Suma manometro1	Reg. Lineal	$y=mx+b$
		X	Y=A+B	m, b, r	Y = ajustada
--	--	--	--	--	--

a) $A + B = Y$

Donde los valores de “Y” y “X” con regresión lineal obtendrán los datos de m, de b y de r.

b) $y = mX + b$

Donde los valores de C son sustituidos en X de la ecuación de la recta obteniéndose un valor de “y ajustada” para cada valor de C

Una vez que se obtiene la “y ajustada”, esta será leída en la gráfica de calibración y dará la lectura de flujos volumétricos en ft³/min (Q).

c) $Q_c = Q / 35.31$

Donde: Q_c= flujo volumétrico del aire que el equipo succiona en m³/min.

35.31= factor de conversión para transformar ft³ a m³

$$Q_c = (Q/35.31) * 1.14 * 1.0$$

Donde 1.14= factor de corrección para la presión de 0.77 atm en la zona Metropolitana de la Ciudad de México.

1.0= factor de corrección por temperatura, que abarca de 23- 27°C

Con los datos de Q_c y los datos de C (manómetro2 ó X) se construye la gráfica de calibración. Donde el eje de las x será el flujo Vol. y el eje de la y será la presión manométrica en pulgadas de agua del equipo.

5.5 PARA OBTENER EL RENDIMIENTO (%) DE LOS METALES

Para calcular el rendimiento de los metales obtenido del procedimiento de digestión por plancha (validación del método de digestión), se tomaron en cuenta los valores de los elementos especificados en el SRM (Standard Referente Material) 1648 que a continuación se muestra.

Figura 5.2 Valores de los elementos constituyentes del SRM 1648

Valores de los elementos constituyentes del SRM 1648 para materia particulada urbana	
Metal	Contenido
As	115±10 mg/Kg
Cd	75±7 mg/Kg
Cr	403±12 mg/Kg
Cu	609±27 mg/Kg
Mg	786±17 mg/Kg
Fe	3.91±0.10 (% en fracción masa)
Pb	0.655±0.008 (% en fracción masa)

a) Para el As

$$\text{Masa teórica del As} = (0.1005 * 0.115) / 1000$$

La masa del metal se expresa en gramos

Donde 0.115= es el contenido de As (g/Kg) encontrado en la certificación del SRM 1648.

0.1005= es la cantidad en gramos de SRM digerida en 50 mL de ácido nítrico.

Masa experimental del As = $\text{Conc. SRM} \cdot 0.1 / 1000$

Donde Conc. SRM = La concentración (mg/L) del SRM leída en el equipo ICP.

0.1 = 0.1 litros a la cual se aforó la muestra = L

1000 = factor de conversión para pasar de miligramos a gramos.

Rendimiento (%) de As = $(\text{Masa Teórica} / \text{Masa Experimental}) \cdot 100$

Este procedimiento se aplica para calcular el rendimiento del Cd, Cr, Cu, Mg y V

b) Para el Pb y el Fe

Masa experimental del Pb = $\text{Conc. SRM} \cdot 0.1 / 1000$

La masa experimental del metal se expresa en gramos

Donde Conc. SRM = La concentración (mg/L) del SRM leída en el equipo ICP.

0.1 = 0.1 litros a la cual se aforó la muestra = L

1000 = factor de conversión para pasar de miligramos a gramos

Masa teórica del Pb = $(0.1005 \cdot 0.66) / 100 = \text{gramos}$

Donde 0.66 = es el contenido en fracción masa (w%) de Pb encontrado en la certificación del SRM 1648.

0.1005 = es la cantidad (g) de SRM digerida en ácido nítrico.

La fórmula para calcular la masa teórica del Pb también se aplica para calcular la masa del Fe.

Rendimiento (%) de Pb = $(\text{Masa Teórica} / \text{Masa Experimental}) \cdot 100$

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

RESULTADOS

6.1 RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos en esta tesis son los siguientes:

- Datos estadísticos y comportamiento de las concentraciones de PST de enero a octubre del año 2002.
- Datos de las concentraciones de PST que rebasaron la norma NOM-024-SSA1-1993.
- Cálculo de los valores IMECA a partir de las concentraciones de PST
- Datos estadísticos de las variables meteorológicas (Temperatura, %Humedad relativa, Velocidad y Dirección del viento).
- Correlación simple de la concentración de PST contra cada una de las variables meteorológicas; temperatura, %Humedad relativa y velocidad del viento (T, %HR y V.V)
- Correlación (p) multivariable de la concentración de PST contra las tres variables: T, %HR y V.V
- Datos estadísticos y comportamiento de las concentraciones del As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V.
- Correlación simple de la concentración de cada metal (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V) contra cada una de las variables meteorológicas (T, %HR y V.V)
- Correlación (p) multivariable de la concentración de cada metal (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V) contra las tres variables meteorológicas (T, %HR, V.V)
- Correlación (p) multivariable de los metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V).
- Datos de los porcentajes de cada metal (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V) contenido en la concentración de PST.
- Correlación simple de la concentración de PST contra cada uno de los metales (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V).
- Gráficas comparativas entre PST y cada metal (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V).
- Posibles puntos de origen de las PST de acuerdo a la dirección del viento y al mapa topográfico-urbano de la zona de monitoreo.

Consideraciones a tomar en cuenta en la cuantificación de:

a) La concentración de las PST

El muestreo de las PST se llevó a cabo en la ENEP Aragón (zona Noreste de la ciudad De México) cuyo periodo de monitoreo fue de enero a octubre del 2002, no abarcando los meses de noviembre y diciembre ya que el equipo hi-Vol. presentó fallas severas.

Se eliminaron varias fechas de muestreo porque el equipo presentó fallas técnicas durante su funcionamiento así como también hubo imprevistos de calendario escolar en la ENEP Aragón. Las fechas se encuentran registradas en el Apéndice A.

El equipo hi-Vol. se calibró dos veces durante el periodo de muestreo (enero a octubre del 2002) debido a mantenimiento del equipo. Los datos de la calibración se encuentran en el Apéndice A.

b) La concentración de los metales pesados

Las muestras digeridas que abarcaron de enero a octubre del 2002 se leyeron en el ICP-OES en tres etapas: Aragón1 inicial, Aragón2 inicial y Aragón3 inicial.

El procedimiento de digestión (extracción de metales) en plancha se llevó a cabo de la misma manera que se realiza en el Departamento de Metalurgia del edificio D del Instituto de Química.

c) Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos de Temperatura, %Humedad relativa, Velocidad y Dirección del viento fueron obtenidos de la R.A.M.A (Red Automática de Monitoreo Atmosférico) de la zona Metropolitana de la Ciudad de México. Se tomaron los datos de Hangares debido a su cercanía con la zona de monitoreo, los cuales fueron reportados por hora, por lo que para cada día de muestreo, los valores de T y %HR se calcularon promediando los 24 datos pertenecientes a ese día. Los promedios mensuales de T y %HR se obtuvieron solamente de los días en que se llevaron a cabo los muestreos. Mientras que la distribución de frecuencias se calculó tomando en cuenta los promedios de velocidad y dirección del viento de todos los días del mes.

6.2 RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES DE PST

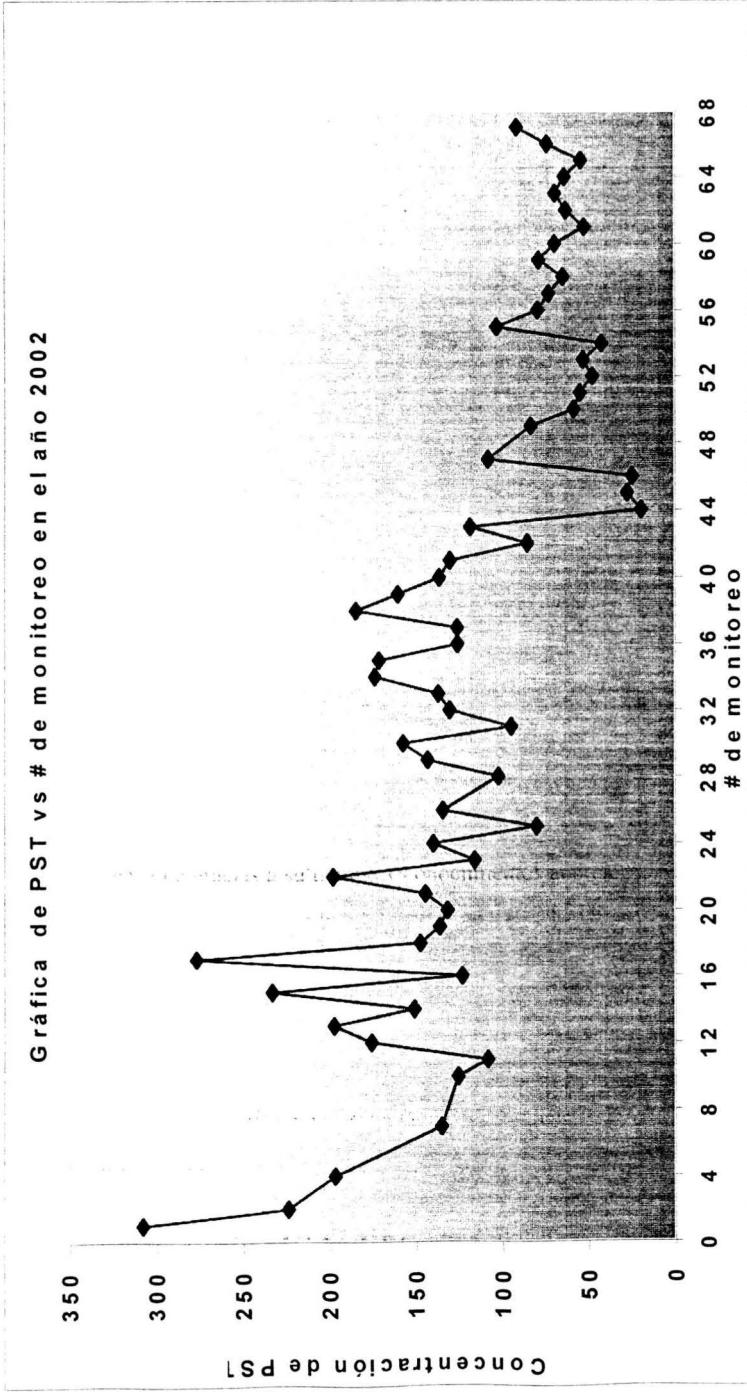


Figura 6.2 Datos estadísticos de la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de las PST

Tabla de datos estadísticos de las concentraciones de PST
De enero a octubre del año 2002.

Mes	Promedio STD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Desviación Estándar	Máximo Reg.	Mínimo Reg.
Enero	216.3	71.7	308.4	135.6
Febrero	165.7	46.5	233.8	108.8
Marzo	160.5	58.0	277.6	123.8
Abril	134.2	36.0	198.5	80.2
mayo	143.3	26.7	185.3	95.3
Junio	64.3	45.2	118.8	19.8
Julio	67.4	18.3	103.6	42.6
Ago-Sep-Oct	67.5	12.3	91.9	52.7
Anual	133.9	60.6	308.4	19.8

Figura 6.3 Monitoreos que rebasaron la concentración máxima permisible de PST

Monitoreos que rebasaron la concentración máxima
permisible establecida por la NOM-024-SSA1-1993
En México para PST ($260\mu\text{g}/\text{m}^3$ por 24 hrs.)

Día de monitoreo	Concentración STD en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	% de concentración de PST
Miércoles 09-Ene-02	308.4	18.6%
Lunes 04-Mar-02	277.6	6.8%

Figura 6.4 Datos estadísticos de los valores IMECA

Datos estadísticos de los valores IMECA para PST de enero a octubre del 2002			
Mes	IMECA	Máximo Reg.	Mínimo Reg.
Enero	85.11	126.17	52.18
Febrero	63.73	89.93	41.83
Marzo	62.19	109.52	47.62
Abril	51.65	76.35	30.86
Mayo	55.10	71.26	36.66
Junio	24.73	45.70	7.63
Julio	25.92	39.86	16.37
Ago-Sep-Oct	25.96	35.33	20.26

Figura 6.5 Datos estadísticos de la variable meteorológica: temperatura

Promedio y Desviación estándar de la TEMPERATURA de enero a octubre del año 2002		
Mes	Promedio	Desviación estándar
Enero	14.4	2.500
Febrero	14.3	2.509
Marzo	18.0	1.568
Abril	19.7	1.877
Mayo	20.4	2.483
Junio	18.8	0.952
Julio	17.6	0.788
Ago-Sep-Oct	16.8	1.187
Anual	17.9	2.61

Figura 6.6 Datos estadísticos de la variable meteorológica: humedad

Promedio y Desviación estándar HUMEDAD de Enero a octubre del año 2002		
Mes	Promedio	Desviación estándar
Enero	38.5	10.0
Febrero	50.7	16.0
Marzo	44.8	8.8
Abril	52.8	8.9
Mayo	50.7	11.1
Junio	69.1	8.0
Julio	76.0	6.2
Ago-Sep-Oct	60.5	16.1
Anual	57.37	15.6

Figura 6.7 Intervalos predominantes de velocidad y dirección del viento de enero a octubre del año 2002

Velocidad y dirección del viento predominantes de enero a octubre del año 2002		
Mes de Monitoreo	Intervalo de velocidad(m/s) predominante	Intervalo de dirección(°) predominante
Enero	0.5-1.0	50-75
Febrero	1.0-1.5	25-50
Marzo	0.5-1.5	25-50
Abril	1.0-1.5	25-50
Mayo	1.0-1.5	10-50
Junio	0.5-1.5	10-50
Julio	1.0-1.5	25-75
Agosto	1.0-1.5	25-50
Septiembre	0.5-2.0	325-350
Octubre	0.5-1.5	25-50

Figura 6.8 Gráfica comparativa de PST contra el % de humedad relativa

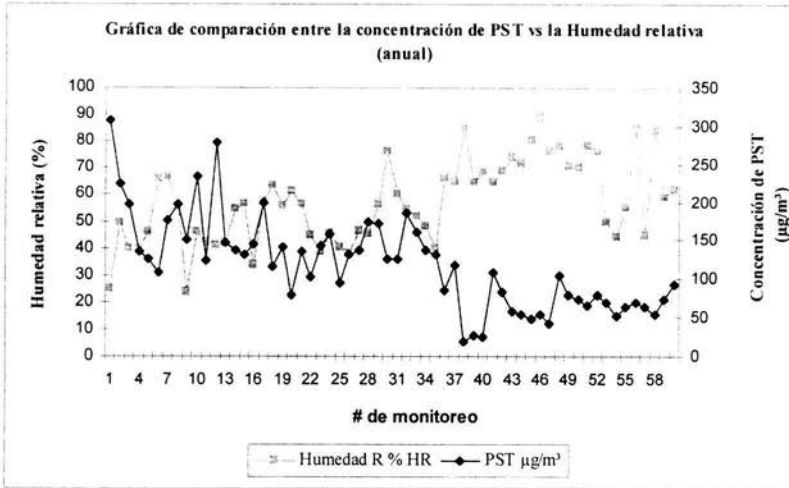


Figura 6.9 Gráfica comparativa de PST contra la velocidad del viento.

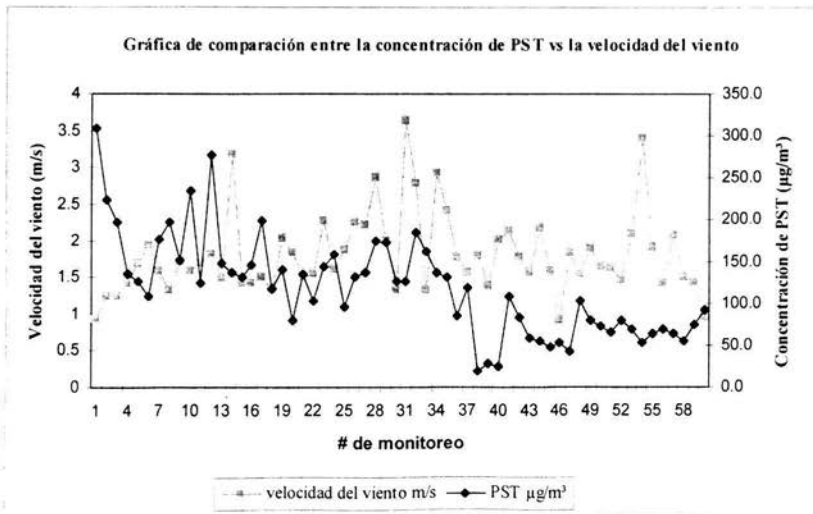


Figura 6.10 Gráfica comparativa de PST contra la temperatura

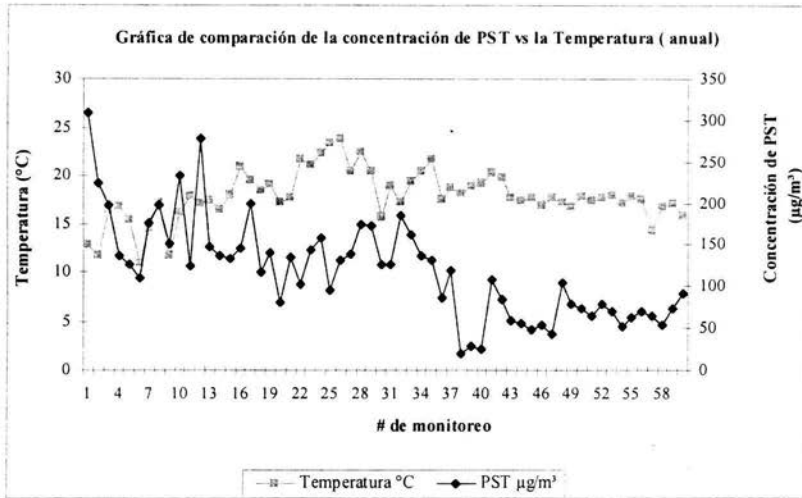


Figura 6.11 Coeficientes de correlación simple (r) de la concentración de PST contra la temperatura, humedad relativa y la velocidad del viento (T, H, V.V)

Tabla de Coeficientes de Correlación (simple) de PST contra la temperatura, la humedad relativa y la velocidad de viento.

Mes	T vs. PST	H vs. PST	V.V vs. PST
Enero	-0.7271	-0.6117	-0.9846
Febrero	0.7005	-0.0838	-0.7270
Marzo	-0.2297	-0.2732	-0.0399
Abril	0.3183	-0.1764	-0.0368
Mayo	-0.2737	0.1411	0.1160
Junio	0.2199	-0.5624	0.1498
Julio	0.1613	-0.3056	0.0070
Ago-Sep-Oct	-0.1654	0.0504	-0.6995
Anual	-0.138	-0.618	-0.079

Figura 6.12 Correlación (p) multivariable de la concentración de PST contra la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

Correlación (p) Multivariable de la concentración de PST contra a Temperatura, la %HR. y la Velocidad del viento			
Variable	Conc.PST	Temperatura	Humedad
Temperatura	-0.138	*	*
Humedad	-0.618	-0.097	*
Velocidad V	-0.079	0.289	-0.175

6.3 RESULTADOS DE LOS METALES PESADOS

A continuación se dan los resultados referentes a los metales pesados adsorbidos a las Partículas Suspendidas Totales.

Figura 6.13 Datos estadísticos de las concentraciones del As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V en forma anual (2002)

Datos estadísticos del As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V en forma anual (2002)			
Elemento	Promedio	Máximo Registrado	Mínimo Registrado
As	0.0036± 0.0019	0.0083	0.0007
Cd	0.0022 ± 0.0016	0.0086	0.0009
Cr	0.0035 ± 0.0015	0.0068	0.0004
Cu	0.0976 ± 0.0509	0.2029	0.0067
Fe	1.1369 ± 0.7035	2.8613	0.1309
Mn	0.0334 ± 0.0211	0.0806	0.0048
Pb	0.0273 ± 0.0133	0.0597	0.0050
V	0.0265 ± 0.0358	0.2225	0.0028

Figura 6.14 Comportamiento del As en el año 2002

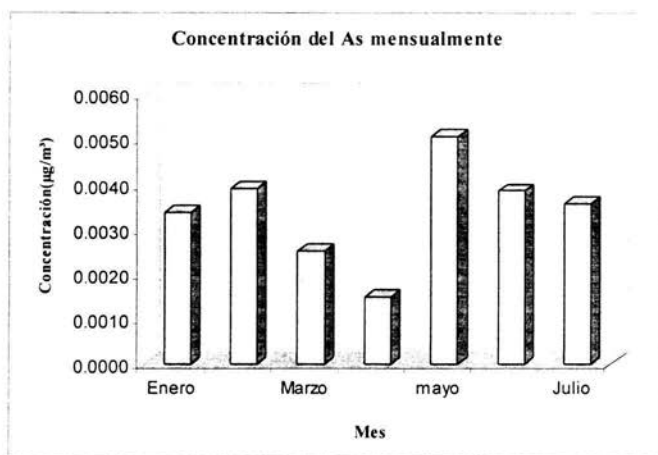


Figura 6.15 Comportamiento del Cd en el año 2002

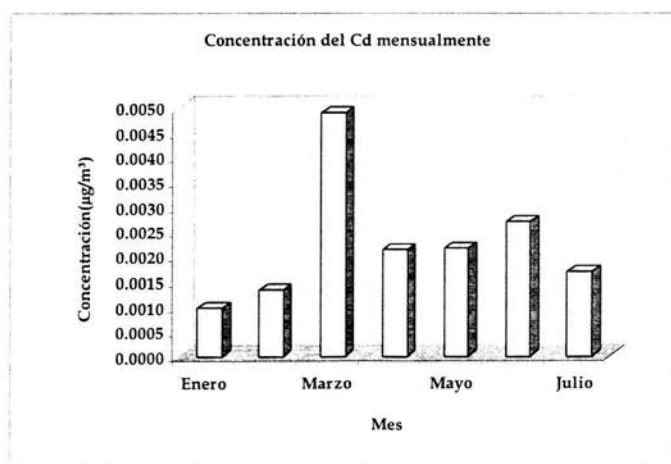


Figura 6.16 Comportamiento del Cr en el año 2002

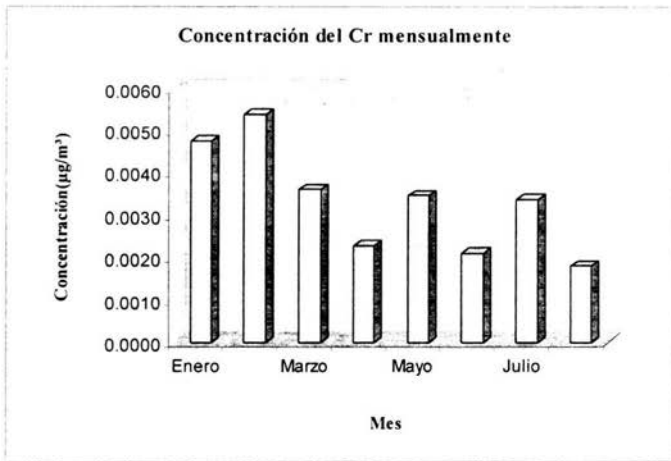


Figura 6.17 Comportamiento del Cu en el año 2002

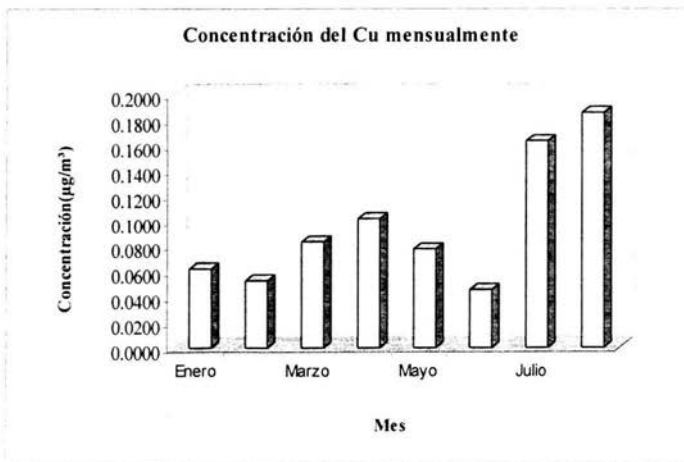


Figura 6.18 Comportamiento del Fe en el año 2002

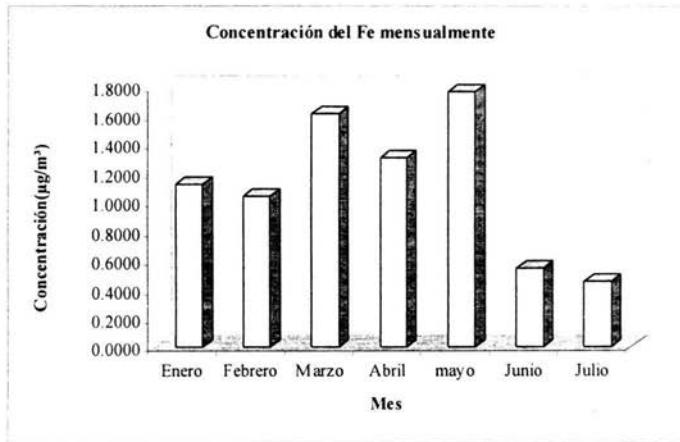


Figura 6.19 Comportamiento del Mn en el año 2002

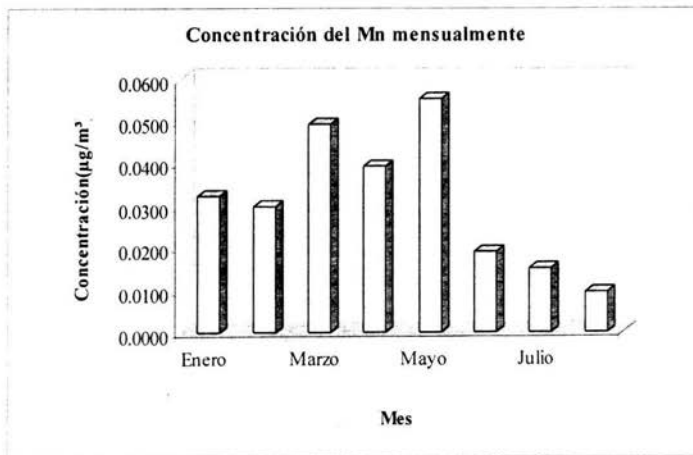


Figura 6.20 Comportamiento del Pb en el año 2002

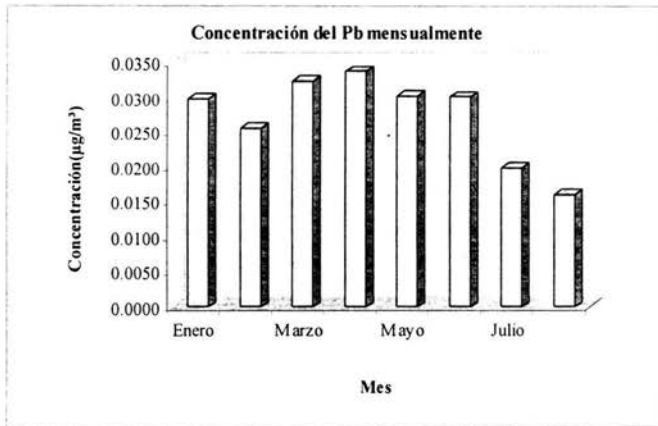


Figura 6.21 Comportamiento del V en el año 2002

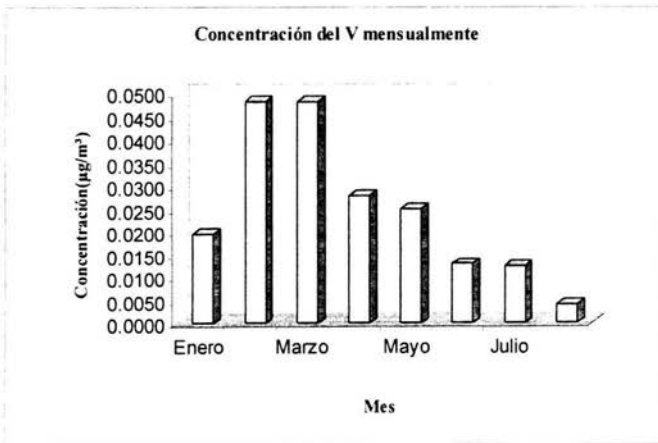


Figura 6.22 Correlación simple (r) de la concentración del As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V contra la temperatura, humedad y velocidad del viento.

Coeficiente de Correlación simple (r) de los metales contra T, %HR y la V.V en el 2002 (enero-agosto)			
Elemento	Temperatura	H	V
As	-0.0117	0.1226	0.2751
Cd	0.3984	-0.1783	0.0680
Cr	-0.3328	-0.2310	-0.1831
Cu	0.0901	0.3877	-0.0278
Fe	0.4718	-0.6527	0.2596
Mn	0.4856	-0.6221	0.2851
Pb	0.0084	-0.2127	-0.1714
V	-0.1315	-0.1790	-0.0256

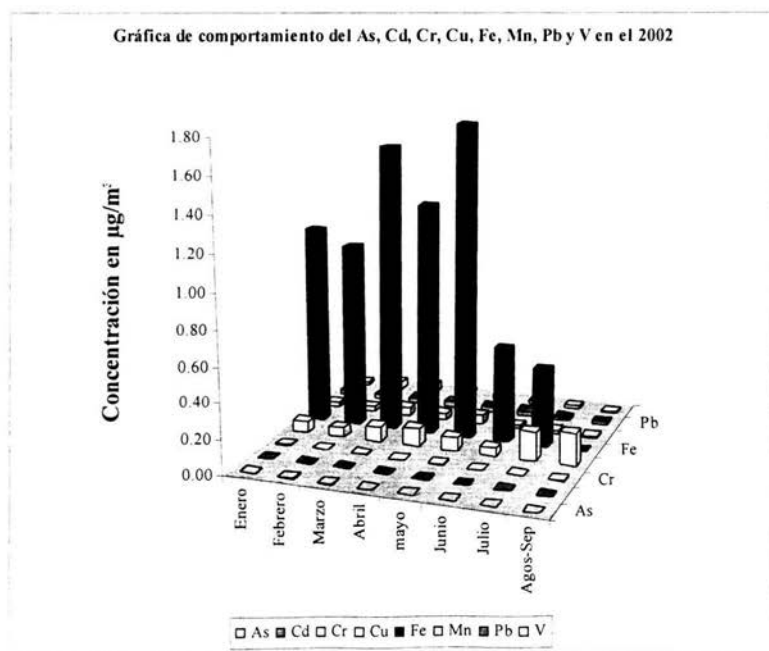
Figura 6.23 Correlación (P) multivariable del As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V contra la temperatura, humedad y velocidad del viento.

Correlación (p) multivariable anual de los metales contra la T, %HR y V.V								
Variable	Metales							
	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	V
Temperatura	-0.01	0.396	-0.336	0.091	0.473	0.485	0.011	-0.131
Humedad R.	0.123	-0.182	-0.233	0.388	-0.654	-0.623	-0.217	-0.178
Velocidad	0.276	0.066	-0.185	-0.028	0.26	0.285	-0.171	-0.026

Figura 24. Correlación (P) multivariable de los metales pesados

Correlación (p) multivariable de los metales analizados en la zona Noreste de la Ciudad de México (ENEP Aragón) en el 2002							
	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
Cd	0.045	*	*	*	*	*	*
Cr	0.215	0.238	*	*	*	*	*
Cu	-0.358	-0.007	-0.236	*	*	*	*
Fe	-0.016	0.002	0.065	0.403	*	*	*
Mn	0.002	0.077	0.045	0.473	0.973	*	*
Pb	-0.146	-0.025	0.117	0.531	-0.042	0.013	*
V	-0.203	-0.090	0.242	-0.195	0.209	0.091	-0.152

Figura 6.25 Comportamiento de los metales durante el año 2002



6.4 ANÁLISIS DE LOS METALES EN LAS PST

Figura 6.26 Porcentaje anual de los metales en las PST

Tabla de los porcentajes anuales de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V en las PST	
Mes	Porcentaje anual (%)
As	0.0037
Cd	0.0019
Cr	0.0032
Cu	0.1083
Fe	0.8667
Mn	0.0266
Pb	0.0233
V	0.0188

Figura 6.27 Porcentaje anual de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V en las PST

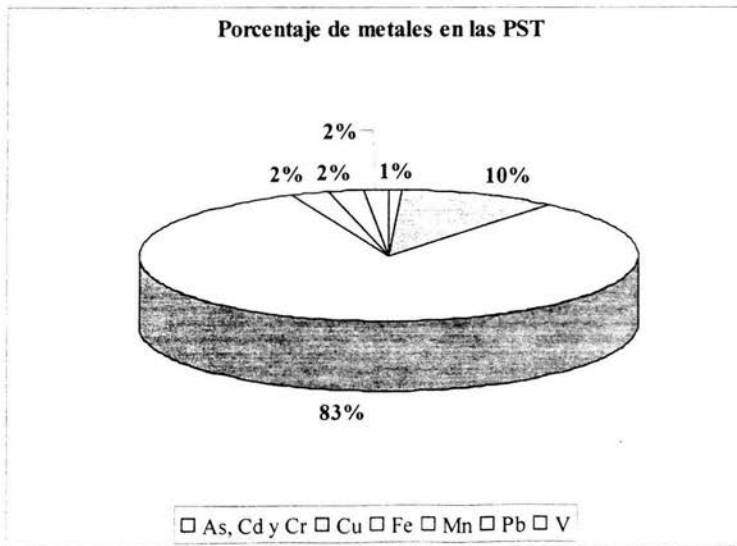


Figura 6.28 Gráfica del porcentaje total de metales en las PST

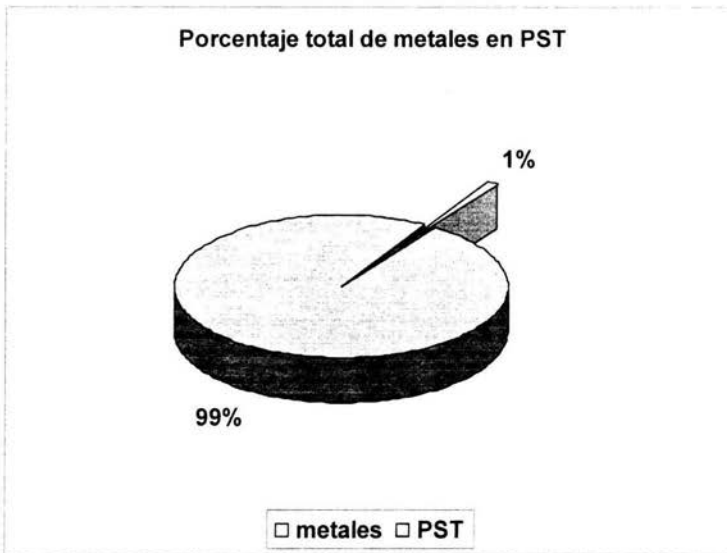


Figura 6.29 Correlación simple(r) de la concentración de PST contra cada uno de los metales (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V)

Tabla de Coeficiente de Correlación simple anual (2002) de PST contra cada metal		
PST	As	-0.1429
PST	Cd	-0.1620
PST	Cr	0.5581
PST	Cu	-0.3043
PST	Fe	0.6779
PST	Mn	0.6780
PST	Pb	0.2964
PST	V	0.4577

Figura 6.30 Comparación del comportamiento de las PST y del As

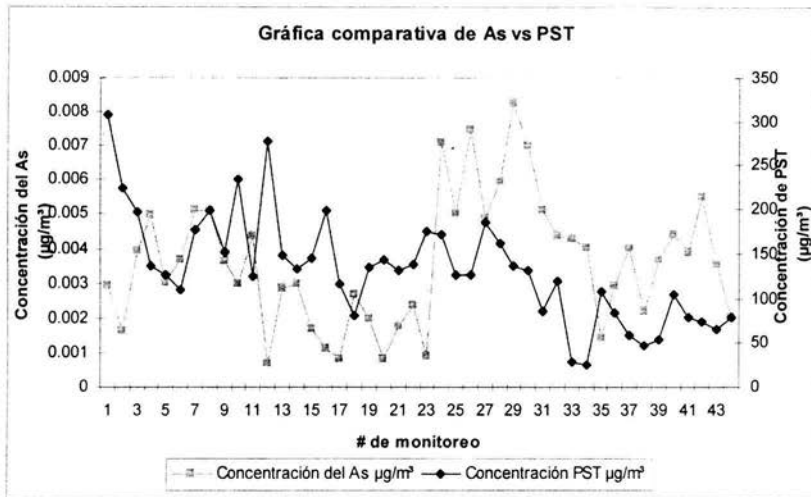


Figura 6.31 Comparación del comportamiento de las PST y del Cd

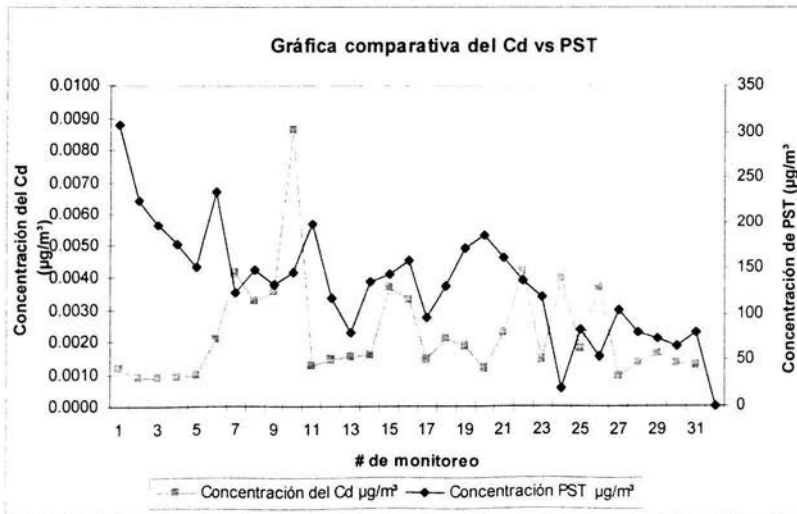


Figura 6.32 Comparación del comportamiento de las PST y del Cr

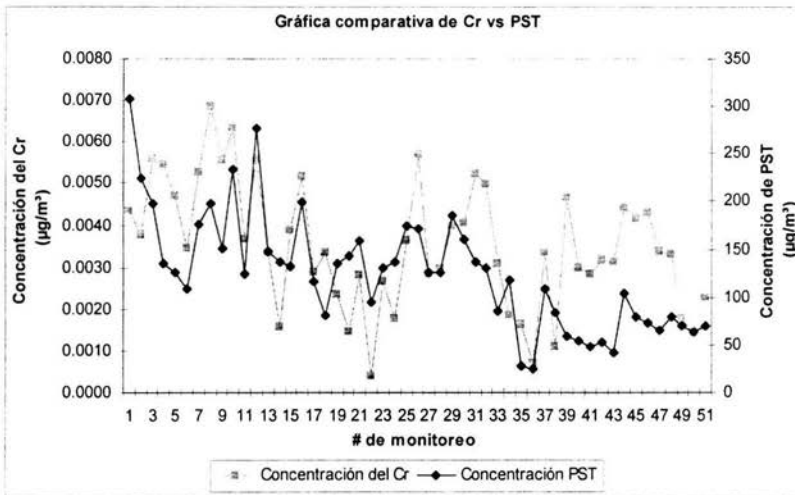


Figura 6.33 Comparación del comportamiento de las PST y del Cu

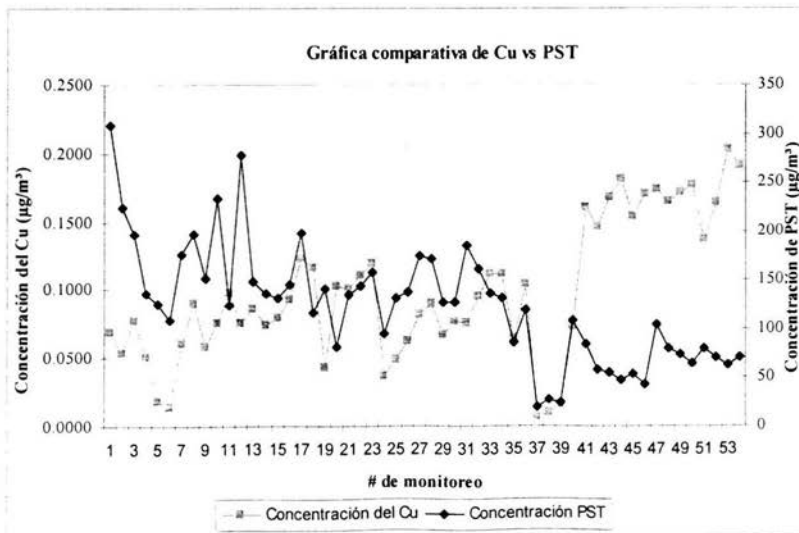


Figura 6.34 Comparación del comportamiento de las PST y del Fe

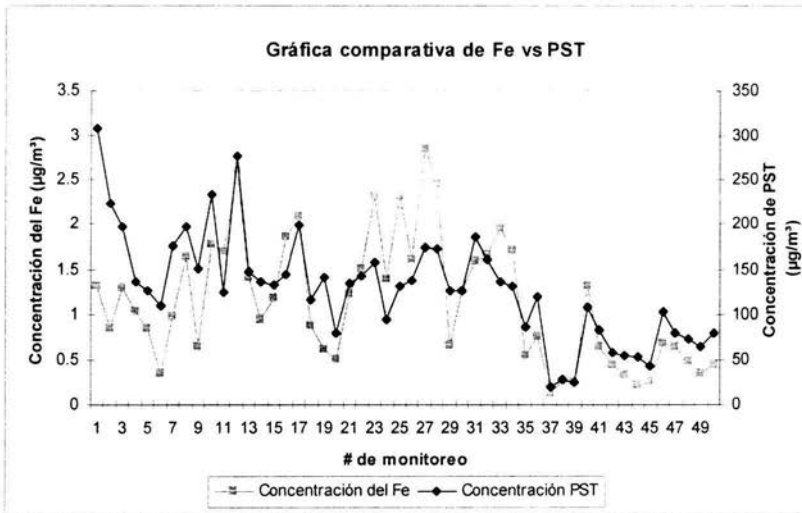


Figura 6.35 Comparación del comportamiento de las PST y del Mn

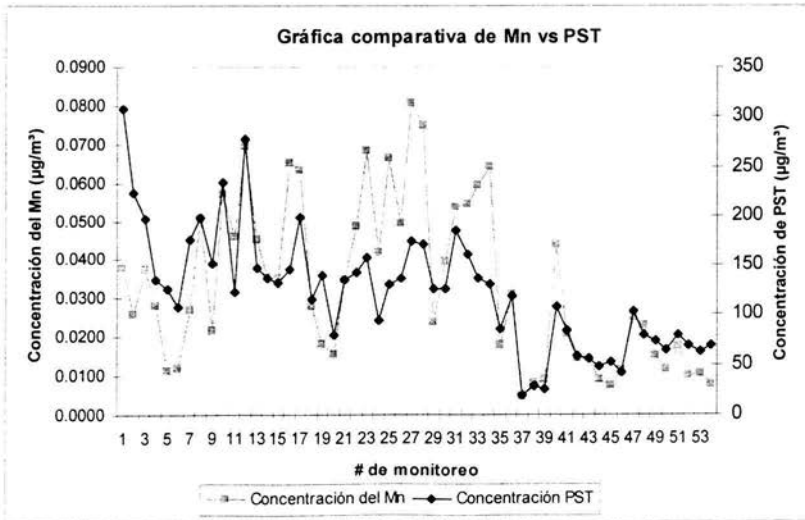


Figura 6.36 Comparación del comportamiento de las PST y del Pb

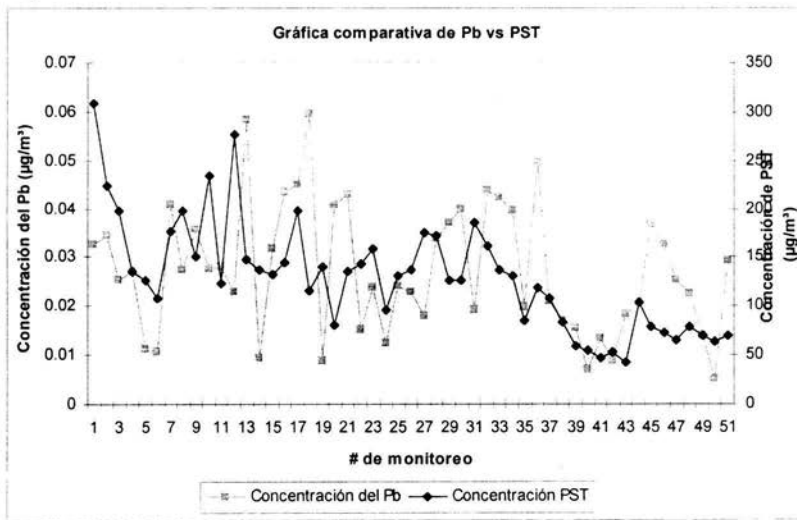


Figura 6.37 Comparación del comportamiento de las PST y del V

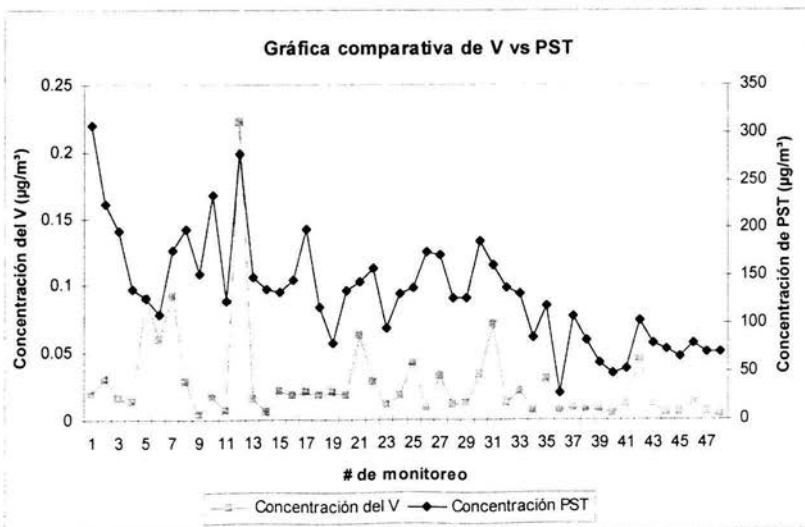


Figura 6.38 Mapa urbano #1 Ubicación y alrededores de la zona de monitoreo (ENEP Aragón)

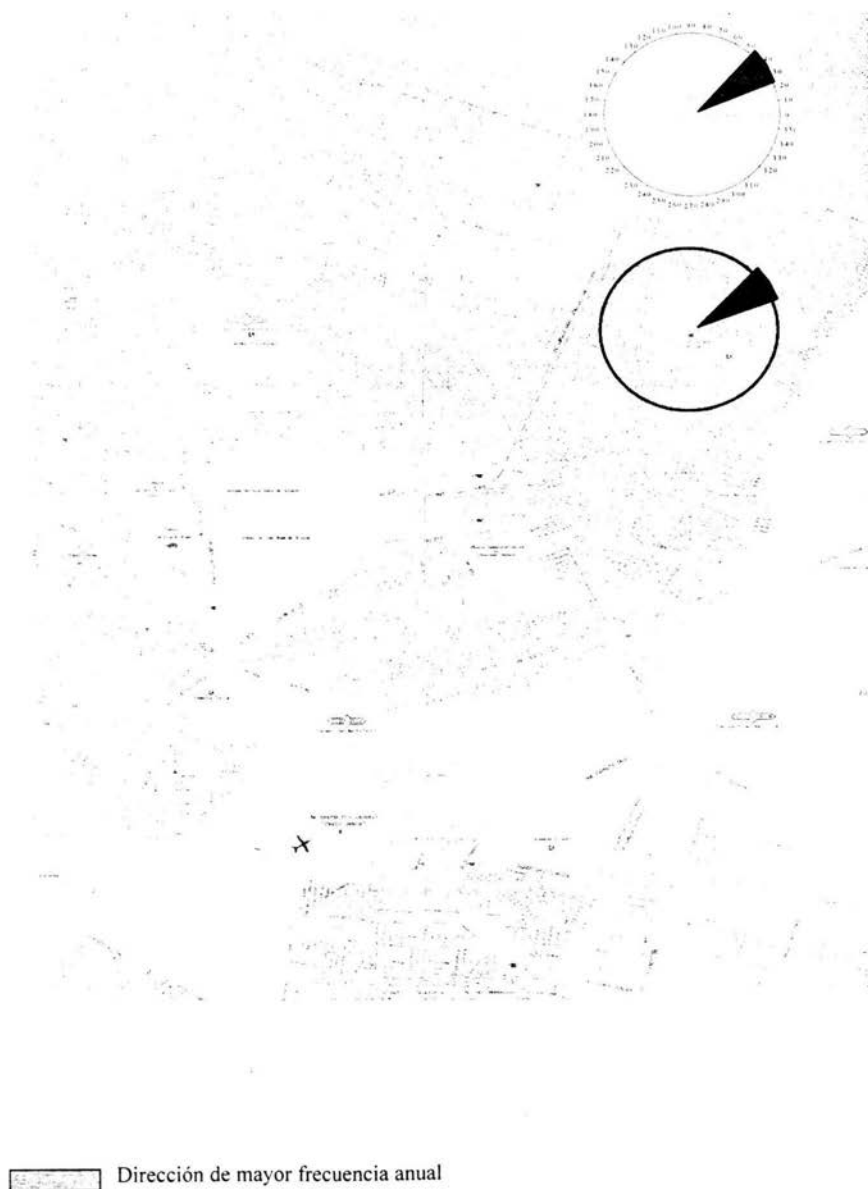


Figura 6.39 Mapa urbano #2 ubicación de la zona de monitoreo (ENEP Aragón)



CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

7.1 ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo seis.

- a) Las **Figuras 6.1 y 6.2** muestran el comportamiento de la concentración de las Partículas Suspensas Totales (PST) de enero a octubre del año 2002. Como se puede observar las concentraciones más altas de PST se presentaron en la época de secas, existiendo una disminución de la concentración en la temporada de lluvias (junio- octubre).
- b) La **Figura 6.3** muestra los dos días en que la concentración de PST rebasó la concentración máxima permisible establecida por la norma NOM-024-SSA1-1993. Debido a que la fecha del 09 de enero corresponde a la temporada de invierno en la cual las inversiones térmicas son más frecuentes y esto da como resultado el estancamiento de los contaminantes, posiblemente por esta razón se rebasó la norma en un 18.6%. En lo que respecta a la fecha del 04 de marzo, sabemos que en este mes se presentan vientos más frecuentes, lo cual provoca la resuspensión y transporte de las aereopartículas de un lugar a otro, esta circunstancia probablemente causó que la concentración de PST rebasara la norma.
- c) La **Figura 6.4** muestra el Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA) que se obtuvo a partir de los datos de concentración de PST previamente calculados. Como se puede observar los valores promedios del IMECA para cada mes del año 2002 se encontraron dentro del rango satisfactorio de calidad del aire (0-100 IMECA)
- d) La **Figura 6.8** muestra que la relación entre la humedad relativa y la concentración de PST es inversamente proporcional, como lo ilustra el comportamiento, a medida que aumenta la humedad relativa, la concentración de PST disminuye. Los valores de la *correlación simple*(r) y los valores la *correlación (p) multivariable* presentados de las **Figuras 6.11 y 6.12**, también muestran que la relación entre la concentración de PST y la humedad relativa es inversamente proporcional. Es decir, la eliminación de las aereopartículas es

afectada por las precipitaciones, pues el descenso de las gotas de lluvia golpea a las aereopartículas gruesas provocando su eliminación del aire y una mayor dificultad de resuspensión, lo que ocasiona bajas concentraciones de PST.

- e) En las **Figuras 6.9 y 6.10** se muestra que el comportamiento de la concentración de PST no depende únicamente de la velocidad del viento ni solamente de la temperatura ya que otros factores (dirección del viento, episodios de contaminación, factores topográficos etc.) también pueden ser significativos en el comportamiento de los contaminantes atmosféricos.
- f) **Las Figuras 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17** muestran que las concentraciones del As, Cd, Cr y Cu presentaron variaciones significativas durante todo el año. **Las Figuras 6.18, 6.19 y 6.21** muestran que las concentraciones de Fe, Mn y V fueron mayores en la temporada de secas que en la época de lluvias. La **Figura 6.20** presenta un comportamiento muy constante de la concentración del Pb durante todo el 2002.
- g) Las **Figura 6.22 y Figura 6.23** ilustran que las *correlaciones* más altas las presentó la humedad relativa con el Fe y también con el Mn. Estos resultados nos indican que la relación es inversamente proporcional. A medida que la humedad aumenta, las concentraciones de Fe y Mn disminuyen, y si la humedad disminuye, la concentración de estos metales aumenta. Como la concentración del Fe y el Mn varía de la misma manera que la concentración de PST conforme la humedad cambia (**Figuras 6.29, 6.34 y 6.35**) se puede decir que estos metales al igual que las PST provienen esencialmente de las partículas del suelo, pues la eliminación o resuspensión en el aire de éstas es afectada por las precipitaciones que involucran la variación de la humedad relativa.
- h) En la **Figura 6.24** los coeficientes de correlación fueron obtenidos para cada par de metales. Si el coeficiente entre dos metales es alto, esto significa que el origen de emisión para ambos metales es el mismo. Debido a que el coeficiente de correlación del Fe y el Mn fue de 0.973 se concluye que estos metales provienen de las mismas fuentes de emisión, en este caso del polvo del suelo principalmente y también de alguna misma actividad industrial.

- i) En la **Figura 6.25 y 6.27** se muestra que las más altas proporciones de metales en las PST fueron el Fe (83%) y el Cu (10%), siguiéndoles el Mn (2%), Pb (2%) y el V (2%), solamente hubo indicios de As, Cd y Cr (1% en total). Se puede decir entonces que los metales que más sobresalieron en el monitoreo de las PST en la zona noreste de la ciudad de México (ENEP Aragón) fueron el hierro (Fe) y el cobre (Cu), siendo el polvo del suelo (esencialmente) y la actividad industrial sus respectivos orígenes.
- j) La **Figura 6.30** compara el comportamiento de la concentración del As con respecto al comportamiento de PST. Como se observa, no hay relación definida entre ambas variables, es decir al ir disminuyendo la concentración de PST, la concentración del As aumenta y disminuye tanto en la época de secas como en la de lluvias. Esta situación es semejante en las **Figuras 6.31, 6.32, 6.33, 6.36 y 6.37** en las cuales tampoco hay relación en el comportamiento entre el Cd, Cr, Cu, Pb, V y las PST. Debido a que estos metales están más relacionados con las partículas finas y que las PST se originan en un 73% del polvo del suelo, 21% de la industria y un 6% del sector automovilístico se puede decir que el origen del As, Cd, Cr, Cu, Pb, V es la actividad industrial y que la suspensión de las partículas en el aire provocada por la velocidad del viento o por la actividad del hombre (circulación de carros, actividades de la construcción etc.) también puede generar la presencia de dichos metales.
- k) En la **Figura 6.7** se observa que el rango de la dirección del viento predominante en el periodo de muestreo (enero a octubre del 2002) de las PST fue de 25 a 50 grados. En los **Figuras 6.38 y 6.39** se muestra la dirección predominante del viento tiende a localizarse de Suroeste a Noreste. Como se puede observar, la zona que el viento recorrió fue urbana, la cual en su mayor parte se encuentra pavimentada mientras que otros sitios están cubiertos por vegetación, por lo tanto el arrastre y resuspensión de las aereopartículas no fue significativo, lo cual provocó bajas concentraciones ($< 260\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PST. Como la dirección del viento no proviene de una zona industrial, y la ENEP Aragón tampoco está ubicada en un área industrial, se puede decir que por estas razones, las concentraciones de los metales adsorbidos en las PST resultaron bajas.

- l) Se eliminaron al Sb y Co ya que presentaron concentraciones por debajo del límite de detección lo cual indica que no habían trazas de estos metales en los filtros muestreados. Estos resultados podrían deberse a que dichos metales se originan esencialmente de los procesos metalúrgicos, y, debido a que en la zona de monitoreo y la dirección del viento predominante no indican la existencia de plantas metalúrgicas que generen estos contaminantes, se puede concluir que la presencia de estos metales es casi nula.
- m) Las concentraciones de Zn reportadas en las lecturas de los filtros blancos (filtros control utilizados para cuantificar la concentración de metales presentes antes del muestreo de las PST) fueron mucho mayores a las concentraciones de Zn encontradas en los filtros ya muestreados; por lo tanto tampoco se tomó en cuenta al Zn para el estudio de los metales puesto que los filtros antes de ser muestreados ya contenían altas concentraciones de Zn.
- n) Debido a que en la emisión de partículas contaminantes tanto de origen natural como antropogénico, el Fe es el metal que se encuentra en las más altas concentraciones y que la emisión vehicular puede contener concentraciones relativamente pequeñas de Zn y Fe (Holgate y Samet 1999), se puede concluir que además del polvo del suelo, la actividad industrial es posiblemente una fuente importante en la emisión del Fe.

7.2 CONCLUSIONES

El estudio y análisis de As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Sb, V y Zn en las Partículas Suspendidas Totales (PST) en zona Noreste de la Ciudad de México (ENEP Aragón), cuyo periodo de muestreo fue de enero a octubre del 2002 da las siguientes conclusiones:

- a) La concentración de PST fue mayor en la temporada de secas presentando descenso en la temporada de lluvias.
- b) Las concentraciones de PST durante el periodo y lugar de muestreo solamente rebasaron dos veces la concentración máxima permisible ($260\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 24 horas) establecida por la norma NOM-024-SSA1-1993.

- c) Observando que existe cierta relación entre las PST y el Fe así también con el Mn, se puede concluir que el origen predominante del Fe y el Mn es el polvo del suelo arrastrado por el viento.
- d) Debido a que la industria es origen importante de las PST después del polvo del suelo, se concluye que el As, Cd, Cr, Cu, Pb y el V se emiten de la actividad industrial y que la resuspensión de las partículas en el aire provocada por la velocidad del viento, circulación de carros ó actividades de la construcción también puede generar la presencia de dichos metales en la zona monitoreada (ENEP Aragón).
- e) Las concentraciones de los metales adsorbidos a las PST no rebasaron los límites máximos permisibles establecidos por la ATSDR (Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades), por lo tanto se puede decir que la calidad del aire en la zona monitoreada fue satisfactoria.
- f) El estudio de la emisión de los contaminantes es útil porque día con día la contaminación va deteriorando el planeta, por lo cual es necesario que la información que se va generando no solo se de a conocer al público sino que también se transmita la importancia de participar en las medidas de control para conservar el medio ambiente que en un futuro heredarán nuevas generaciones.
- g) Es importante analizar a las Partículas Suspensas Totales (PST) ya que éstas son uno de los principales contaminantes atmosféricos presentes en la zona metropolitana de la ciudad de México, aunque no son consideradas significativamente dañinas para la salud, la exposición continua a altas concentraciones puede causar irritación de garganta y mucosas. La presencia de metales en las PST tiene gran importancia debido a que algunos de ellos por ejemplo el Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Vanadio (V), Manganeseo (Mn) etc. presentan propiedades de alta toxicidad al no ser química ni biológicamente degradables, y, una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar daños a la salud.

7.3 RECOMENDACIONES

Entre las medidas que se pueden realizar para proteger la salud se consideran:

- a) Evitar exponerse al aire libre cuando la condición de calidad del aire sea NO SATISFACTORIA, antes de realizar cualquier actividad física al aire libre, consultar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire.
- b) Realizar ejercicio y otras actividades al aire libre durante el período de horas que este contaminante tiene concentraciones bajas.
- c) Ingerir alimentos que contienen antioxidantes (frutas y verduras) y agua en forma abundante.
- d) No realizar ejercicio y actividades que requieran de un esfuerzo físico considerable en suelos erosionados (canchas deportivas sin cobertura vegetal o pavimento), pues no beneficia a nuestra salud.
- e) Proteger las vías respiratorias con cubre-bocas o trapos húmedos en caso de tolvaneras.
- f) Fomentar la reforestación y recuperación de suelos erosionados, para así minimizar la resuspensión de las partículas del suelo ya que debido a los elementos que contienen resultan ser dañinas.

BIBLIOGRAFÍA

- Amador M. O., Delgado R. A., Villalobos P. R., Mounive C. Z., Ortiz M. R., Díaz G. G., Bravo C. J. L. & Gómez A. S. (2001). Partículas Suspendidas, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y Mutagenicidad en el Suroeste de la Ciudad de México. Rev. Int. Centum. Ambient. 17(4), 193-204.
- ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (Agosto, 1995). Public Health Statement for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). [En red] Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/contacts.html>
- Balance Térmico de la Atmósfera. [En red] Disponible en: Meteorología_C_Aire. LECCIÓN 2. pdf CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Bravo, A. H. & Sosa R. (1987). La contaminación del aire en México. México, Universo veintiuno (Colección Medio Ambiente).
- Center for Environmental Research Information .Office of research and Development.
– Compendium Method IO-3.4 Determination of Metals in Ambient Particulate Matter Using Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy. [En red] Disponible en: EPA/625/R-96/010ª.
- Circulación Vertical y Estabilidad Atmosférica. [En red] Disponible en: Meteorología_C_Aire. LECCIÓN 4. pdf CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Díaz, R. (1993) Contaminación del aire. [En red] Disponible en Cuadref.pdf CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA) Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). (Enero-Diciembre 2002). Datos

meteorológicos y calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Puntos de monitoreo "Hangares y San Agustín". Informe mensual. [En red]
Disponibile en: http://www.sma.df.gob.mx/imeca_web/

- Dulka J.J. Risby H.T. Department of Chemistry. The Pennsylvania State University.
Ultratrace Metals in Some Environmental and Biological Systems.

- Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).
Perkin Elmer.

- Fergusson Jack.E. The heavy elements, Chemistry, Environmental Impact and Health effects. Edit. Pergamon Press. Oxford-N.Y. Seul-Tokio.1990.

- Flores J. Aldape F. Diaz R. Hernández B & García R. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. (1999). PIXE analysis of airborne particulate matter from Xalostoc, México: winter to summer comparison. [En red] Disponible en: www.elsevier.com.

- Foulkes E.C. Metal Carcinogenesis. Edit. CRC Press. Boston. 2000

- Fritz. J.S. (1986) Química Analítica cuantitativa. 3ra edición. Edit. Limusa. México.

- Gutiérrez A. V. J. Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental del Instituto Nacional de Ecología. (16 de Octubre de 2000). II Encuentro Latinoamericano de Calidad del Aire y Salud: Calidad del Aire en México. [En red]Ubicación: MEXICO1.PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/

- Harvey. D. (2002) Química Analítica Moderna. Edit. Mc Graw-Hill. España.

- Hui-Jung Yun, Seung-Muk Yi & Y. P. kim. Atmospheric Environment. (27 May 2002).
Dry deposition fluxes of ambient particulate heavy metals in a small city, Korea.
Disponibile en: www.elsevier.com/locate/atmosenv.

- Holgate S. T., Samet J. M. (1999). Air Pollution and health. Ed. Academic, San Diego. E.U.

- Instituto Nacional de Ecología, NOM-035-ECOL-1994, México.

- Instituto Nacional de Ecología – CENICA -JICA (1997), Segundo informe sobre la calidad del aire en ciudades Mexicanas de 1997. México.

- La Estructura Dinámica de la Atmósfera. [En red] Disponible en: Meteorología_C_Aire. LECCIÓN 3. pdf CEPIS www.cepis.ops-oms.org/

- La Meteorología y la Atmósfera. [En red] Disponible en: Meteorología_C_Aire. LECCIÓN 1. pdf CEPIS www.cepis.ops-oms.org/

- Lipfert W. F. Air pollution and community health. Edit. Van Nostrand Reinhold. New York.1994

- Manahan S. E., (1999). Environmental Chemistry. Séptima Edición. Lewis Publisher. E.U.

- Miranda J. López A. Paredes R. González S. De Lucio O. Andrade E. Morales J & Ávila-Sobarzo. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. (1998). A study of atmospheric aerosol from five sites in México city using PIXE. [En red] Disponible en: www.elsevier.com.

- Mujica A.V. & Figueroa L. J. (1996). Contaminación Ambiental Causas y Control. 1ª edición. UAM. Unidad Azcapotzalco. México.

- Mujica V. Maubert M. Torres M. Muñoz J & Rico E. Journal of Aerosol Science. (18 May 2001). Temporal and Spatial Variations of Metal Content in TSP and PM10 in

Mexico City During 1996-1998. [En red] Disponible en: www.elsevier.com/locate/jaerosci

- Quadri, T. G. Sánchez C. L. (1992). La ciudad de México y la contaminación atmosférica. Ed. Limusa, México.

- Robinson J.F. (2000) Química Analítica Contemporánea. 1ª edición. Edit. Pearson Education. México.

- Secretaría del Medio Ambiente. Programa de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). [En red] Disponible en: http://www.sma.df.gob.mx/imeca_web/

- Secretaría del Medio Ambiente. Programa de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA). [En red] Disponible en <http://www.sma.df.gob.mx>.

-Secretaría de Salud (SSA), NOM-024-SSA-1993, México.

- Skoog, D.A. West. D. M. (1995) Química Analítica. 6ta edición. Edit. Mc Graw-Hill.

- Stoepler.M. Hazardous metals in the environment. Techniques and instrumentation in analytical chemistry. Vol 12. Edit. Elsevier. Amsterdam-London-Tokyo. 1992

- Sternbeck J. Sjödin A & Andréasson K. Atmospheric Environment (12 July 2002). Metal emission-results from two tunnel studies. [En red] Disponible en: www.elsevier.com/locate/atmosenv.

- U. S. Environmental Protection Agency. (18 de Julio de 1997). Federal Register 40 CFR Part 50, Appendix B, Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High-Volume Method)
- U.S. Environmental Protection Agency. (October 1999). Office of Research and Development. Air Quality Criteria for Particulate Matter Volume 1. [En red] Disponible en: EPA 600/P- 99/002a. PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- U.S. Environmental Protection Agency. (June, 2003). Fourth External Review Draft of Air Quality Criteria for Particulate Matter Volume 1. [En red] Disponible en: EPA 600/P- 99/002a. PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- U. S. Environmental Protection Agency. Center of Environmental Research Information Office of Research and Development. (Enero 1999). Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air. Compendium TO-13A. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in ambient air using Gas Chromatography/Mass Spectrometry GC/MS. Second Edition. Cincinnati, Oh. U. S. Environmental Protection Agency. [En red] Disponible en to-13arr.pdf USEPA www.epa.gov/
- Villalobos P. R., Gómez A. S., Delgado R. A. & Amador. M. O. (1998). Mutagenicidad de las Aeropartículas.
- Zaragoza. A. J. Subdirección de Evaluación de la Calidad del aire. Instituto Nacional de Ecología. Desarrollo del Sistema Metropolitano para Monitoreo Atmosférico en el Valle de México. [En red] Disponible en: R_0210. PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/

GLOSARIO

Adsorción: penetración superficial de un gas, un sólido o un líquido en un sólido.

Aglomerar: amontonar, juntar, reunir etc.

Álcali: sustancia de propiedades químicas análogas a las de las sustancias básicas.

Alvéolos: pequeñas cavidades pulmonares donde se extrae el oxígeno del aire traspasándolo al torrente sanguíneo. Inversamente eliminan el dióxido de carbono de la sangre. Los humanos poseen unos 300 millones de alvéolos.

Asma: se caracteriza por un estrechamiento temporal de las vías respiratorias. Los ataques de asma pueden ser generados por polvo, humo de cigarro, cucarachas y algunos productos químicos.

Borrasca: fuerte perturbación de la atmósfera acompañada de variaciones en la presión ambiente.

Bronquitis: es la inflamación de los bronquios en los pulmones. Siempre se debe a virus o bacterias, pero el humo del cigarro y la contaminación también pueden ser culpables de este mal.

Cáncer: no es una sola enfermedad sino un grupo de más de 200 enfermedades distintas en las que se produce un crecimiento anormal de las células, hasta convertirse en masas de tejidos llamados tumores. Los tumores malignos o cancerosos se conocen por su capacidad para invadir y destruir órganos y tejidos. La muerte se produce cuando la propagación del cáncer daña los órganos y tejidos vitales, de manera que no pueden funcionar.

Coagular: cuajar o solidificar.

Combustión: El proceso de quemar. Vehículos de motor y equipos típicamente queman combustible en un motor para producir energía. En realidad, el proceso de combustión no es perfecto y los motores emiten varios tipos de contaminantes como subproductos de la combustión.

Combustible fósil: combustibles tales como el carbón, gas natural y petróleo crudo, que provienen de los restos condensados de plantas y animales antiguos. La gasolina y el diesel son combustibles fósiles que pueden ser quemados en máquinas de combustión interna para producir energía.

Componente hídrico: se refiere a lo que se relacionan con el agua como por ejemplo, vapor, nubes y precipitaciones húmedas.

Daño neurológico: lo padecen aquellas personas que tienen dañado su sistema Nervioso Central que le impide, mover, contraer y relajar sus músculos de acuerdo a sus necesidades y deseos.

Dermatitis: describe una respuesta inflamatoria de la piel causada por contacto con irritantes, exposición al sol o circulación deficiente y aún el estrés.

Dirección del viento: indica la trayectoria del viaje de los contaminantes

Dispersión: proceso natural de esparcimiento de un contaminante en la cercanía de la fuente donde se emite y que da lugar a concentraciones ambientales menores.

Efecto sinérgico: es aquel que se observa cuando el efecto combinado de dos sustancias tóxicas administradas de manera simultánea, es mayor que la suma de los efectos de cada agente administrado por si solo.

Emanación: difundir o esparcir materia.

Enfisema: es un trastorno en el que las estructuras de los pulmones conocidas como alvéolos se inflan de manera excesiva. Esta inflación excesiva resulta en la destrucción de las paredes alveolares, lo que causa una disminución de la función respiratoria y, a menudo, falta de aire.

Erosión: procesos naturales (de naturaleza física y química) que desgastan y destruyen continuamente los suelos y rocas de la corteza terrestre.

Erupción: Emisión de materia sólida, líquida o gaseosa por aberturas o grietas de la corteza terrestre.

Estiaje: Nivel más bajo o caudal mínimo de un río u otra corriente en época de sequía.

Faringitis: es una enfermedad inflamatoria de la mucosa que reviste la faringe y que se manifiesta por enrojecimiento e hinchazón de la misma.

Frente: límite entre dos masas de aire con diferentes características de humedad y temperatura.

Fuente u origen: cualquier lugar u objeto del cual los contaminantes son emitidos tales como plantas químicas, fábricas, carros u otras máquinas.

Herbicida: sustancia química que mata las plantas o inhibe el desarrollo de las hierbas.

Insecticida: sustancia capaz de controlar o matar insectos.

Lluvia ácida: fenómeno contaminante que se produce al combinarse el vapor de agua atmosférico con óxidos de azufre y de nitrógeno, formando ácido sulfúrico y ácido nítrico.

Mena: una fuente de elementos o minerales útiles, que generalmente contiene grandes cantidades de otros materiales, como arena y arcilla.

Metal: elemento que tiene brillo, conduce bien la electricidad y el calor, son maleables y dúctiles, tienen densidades y puntos de fusión elevados, son duros y no se combinan fácilmente unos con otros.

Metalurgia: ciencia de la extracción de los metales a partir de sus fuentes naturales por una combinación de procesos químicos y físicos.

Meteorología de la contaminación del aire: Estudio de la forma como los procesos atmosféricos tales como el viento y el intercambio de calor afectan el destino de los contaminantes del aire.

Mineral: sustancia inorgánica, sólida, homogénea, de composición química definida y de estructura determina, que se encuentra en la naturaleza.

Morbilidad: Porción de enfermos en lugar y tiempo determinados.

Mortalidad: cantidad proporcional de defunciones correspondiente a población o tiempo determinado.

Oligoelemento: sustancia indispensable para el organismo vivo y que se haya en muy pequeñas cantidades.

Oxidación: reacción química en la que una sustancia pierde electrones.

Ozono: Gas irritante, incoloro, tóxico y muy oxidante. Cuando es producto de las reacciones fotoquímicas que ocurren en la troposfera es un contaminante secundario.

Partícula respirable: aquellas partículas que se depositan en la región traqueo bronquial ó en los alvéolos.

Radiación solar: transferencia de calor desde el sol hacia la tierra.

Transporte convectivo: transferencia de calor producida por el movimiento masivo de un fluido tal como el agua o el aire.

Topografía: Características físicas de la superficie terrestre tales como terreno plano o presencia de montañas y valles. La topografía influye en la manera como la Tierra y su aire circundante se calientan, así como en la manera como fluye el aire.

Úlcera: es una erosión en la mucosa del aparato gastrointestinal al ponerse en contacto con los ácidos gástricos.

Velocidad del viento: determinará el tiempo en que se deje sentir la influencia del contaminante en un punto determinado.

Viento: término referido al movimiento del aire.

Visibilidad: se define como el grado por el cual la atmósfera es transparente a la luz visible.

APÉNDICE A

CUANTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACION DE LAS PARTICULAS TOTALES SUSPENDIDAS (PST)

REGISTRO DE LOS DATOS DEL MUESTREO DE LAS PST

A continuación se presentan los datos de % de humedad relativa, temperatura del día, tiempo de muestreo del equipo y el flujo volumétrico del aire para cada fecha en que se llevó a cabo el muestreo de las PST. Estos datos son importantes ya que fueron considerados para el cálculo de las concentraciones de PST.

Figura 1. Registro del % de humedad relativa durante el muestreo de las PST

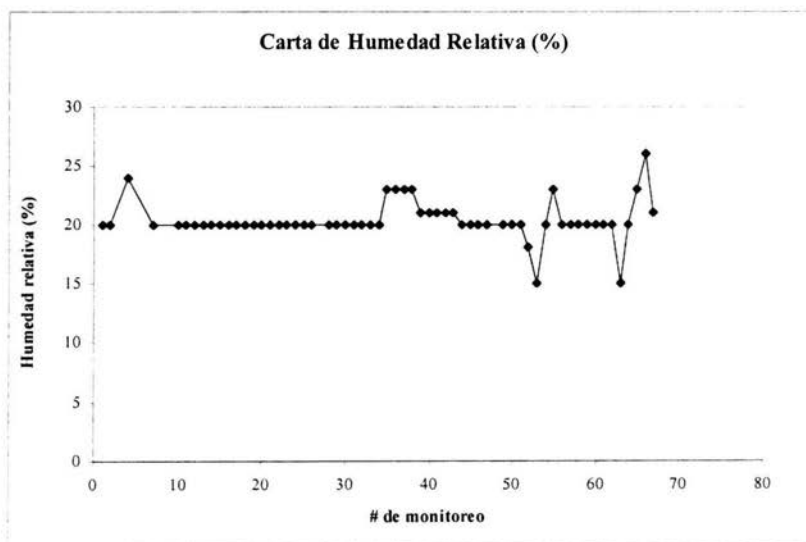


Figura 2. Registro de la temperatura del día de muestreo de las PST

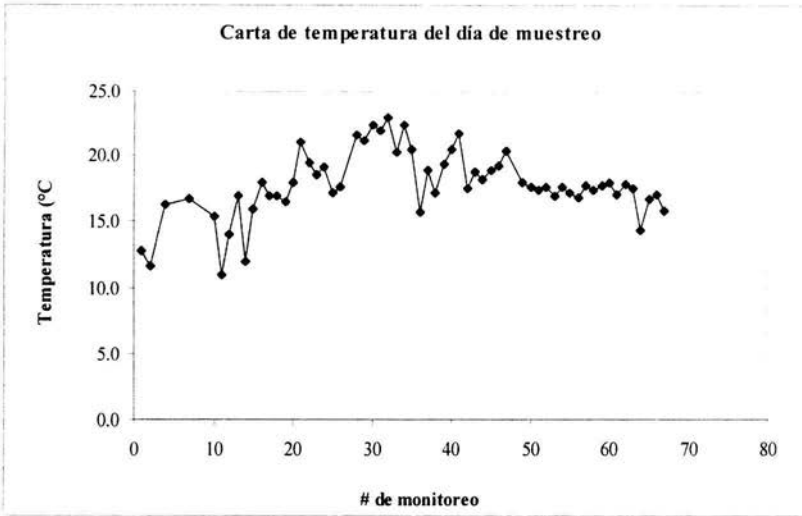


Figura 3. Tiempo de muestreo durante el muestreo de las PST

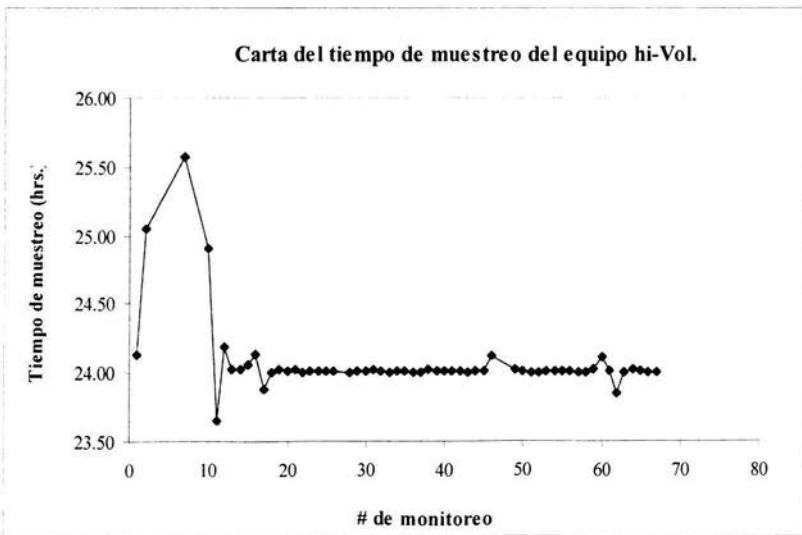
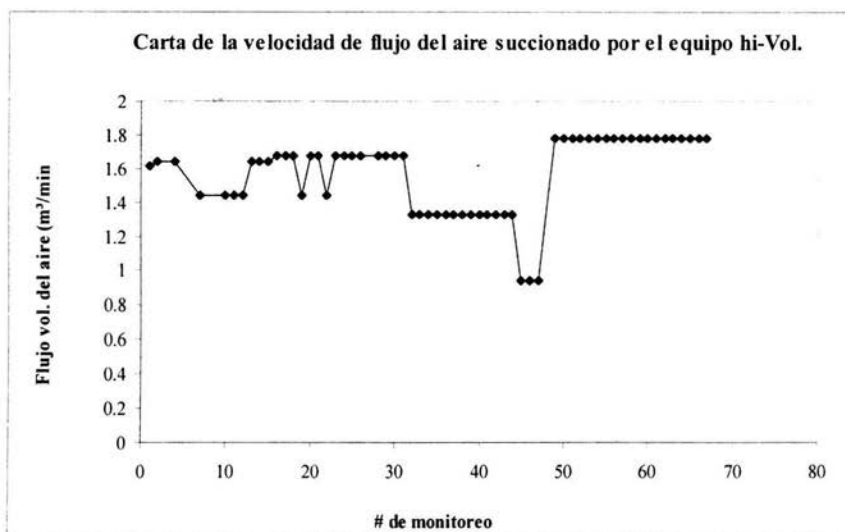


Figura 4. Velocidad del flujo reportada durante el muestreo de las PST



FECHAS DE MUESTREO ELIMINADAS

Se eliminaron varias fechas de monitoreo ya que el equipo presentó fallas de funcionamiento así como también hubo imprevistos de fechas de calendario, entre estas circunstancias se presentaron las siguientes:

- La fecha del 19 de enero del 2002 se anuló ya que el equipo monitoreó más de 24 horas (56.4 horas).
- El 24 de enero del 2002 se cambiaron carbones al motor por lo cual el equipo no operó.
- El 27 de enero del 2002 el equipo no operó por fallas técnicas.
- El 02 de febrero del 2002, día no operable del equipo.
- El 05 de febrero del 2002 no hubo labores en la ENEP Aragón, por lo tanto no pudo operar el equipo.
- El 18 de abril del 2002 el equipo operó más de 24 horas (35.1 horas).
- El 12 de mayo del 2002 se presentó un incendio en Chimalhuacán (a las 18:00 hrs.) que duró aproximadamente 3 días.

- El 20 de junio del 2002 se hizo el cambio de carbones y se calibró el equipo por lo cual no fue operado.

METODOLOGÍA PARA LA CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Para efectuar la calibración del muestreador de alto volumen hi-Vol. mediante el empleo de un calibrador de flujo variable (Vari-flow) se sigue los siguientes pasos:

- Colocar la placa ajustador y atornillar sobre la placa el cilindro del vari-flow apretando con la mano la rosca plástica, asegurándose de que no existan fugas de aire en las uniones.
- Conectar los manómetros #1(del calibrador) y #2(del hi-Vol) a las salidas respectivas, el #1 al calibrador y el #2 a la tobera que cubre el motor del muestreador.
- Abrir las válvulas del manómetro #1 para nivelar la presión de ambos brazos del manómetro.
- Verificar el nivel a ceros, desplazando la escala del manómetro #1 de tal modo que coincida el nivel de agua con el cero, en caso de no poderse conseguir esto, significará que debe añadir o quitar agua del manómetro (para realizar esta operación deberá aflojar uno de los tornillos- válvulas del manómetro).
- Manómetro #2, ajustar la escala aflojando los tornillos; desplazar la regla hasta conseguir que el menisco inferior del nivel del agua quede en 15 (0 referencia=15). En caso necesario, añadir agua mediante un embudo fino, cuidando que no queden burbujas de aire dentro de los tubos.
- Girar la perilla del calibrador, de tal modo que los orificios queden completamente abiertos (1pulgada). Tomar la temperatura (°C) y presión atmosférica (mm Hg) del lugar de calibración.
- Encender el muestreador, dejarlo trabajar durante 5 minutos para que se estabilice.
- Tomar las lecturas del manómetro #1 y #2 (que es la suma de las diferencias de nivel en cada uno de los brazos del manómetro respectivo).
- Variar lentamente, mediante la perilla del calibrador, las diferencias de presión del manómetro #1 de 0.5 en 0.5 pulgadas de agua, anotando las lecturas de ambos manómetros hasta cerrar por completo la perilla del calibrador. Esperar 2 minutos para la toma de cada lectura con objeto de permitir la estabilización del flujo.

Figura 5. Equipo variflow (de calibración) montado en el hi-Vol.



DATOS DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

A continuación se muestran los datos de las calibraciones realizadas al equipo hi-Vol. durante el periodo de monitoreo de las PST.

Figura 6. Datos de la calibración del equipo hi-Vol. realizada en marzo del 2002

Datos de la calibración realizada en Marzo del 2002 utilizando el equipo variflow						
A	B	C	D	E	F	
Manómetro #1	Manómetro #1	Manómetro #2, PST	Suma del Manómetro # 1	Reg. Lineal	y=mx+b	
A, in H2O	B, in H2O	C, in H2O	□H2O (y) in H2O	m	□H2O ajustada (y) in H2O	
2.75	2.75	1.50	5.5	4.149	5.7	
2.13	2.06	1.13	4.2	b	4.2	
1.63	1.63	0.81	3.3	-0.507	2.9	
1.44	1.31	0.75	2.8		2.6	
1.00	0.88	0.50	1.9	r	1.6	
0.50	0.44	0.44	0.9	0.985	1.3	
0.44	0.38	0.38	0.8		1.1	

G	H	I
Lectura directa sobre la carta de la curva del calibrador del Dr. Muhlia	Flujo dividido entre 35.31(factor de corrección para pasar de ft ³ /min a m ³ /min	Q, m3/min, corregidos a la presión de 777 mb de la Ciudad de México
Q, ft ³ /min, curva de calibración		
52	1.47	1.68
45	1.27	1.45
37	1.05	1.19
35	0.99	1.13
28	0.79	0.90
26	0.74	0.84
24	0.68	0.77

J	K
Q, m3/min, corregidos a la temperatura promedio de la Ciudad de México	Manómetro lectura, PST in H2O
1.68	1.50
1.45	1.13
1.19	0.81
1.13	0.75
0.90	0.50
0.84	0.44
0.77	0.38

Figura 7. Flujo de aire obtenido a partir de los cálculos de calibración realizada en marzo del 2002

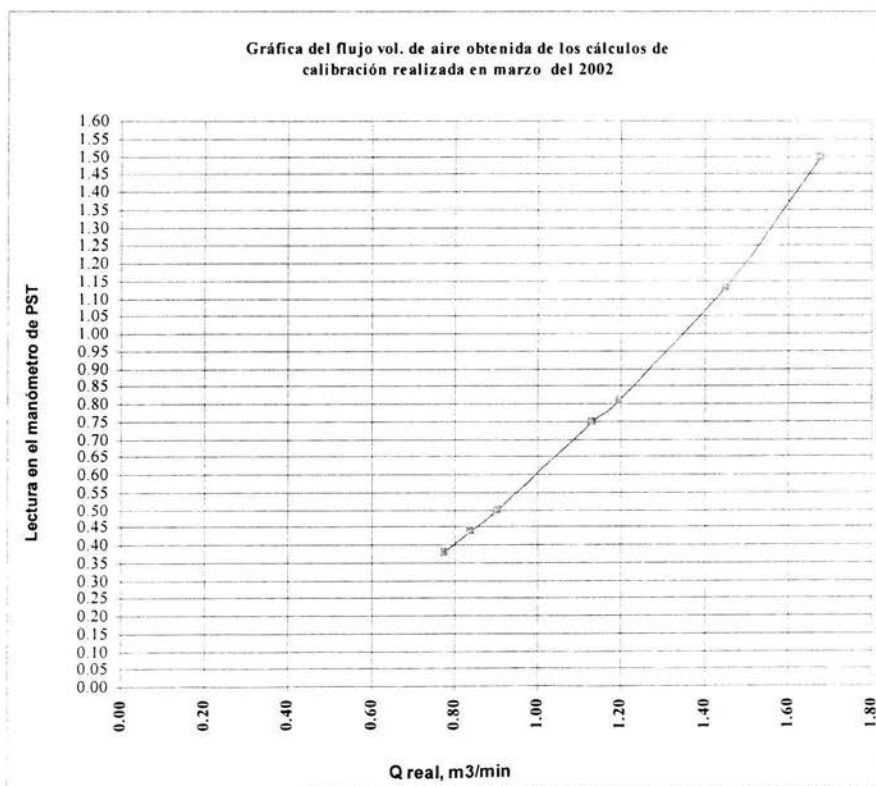


Figura 8. Datos de la calibración del equipo hi-Vol. realizada en mayo del 2002

Datos de la Calibración realizada en Mayo del 2002 del equipo PST utilizando equipo variflow

A	B	C	D	E	F
Manómetro #1	Manómetro #1	Manómetro #2, PST	Suma del man. # 1	Reg. lineal	$y=mx+b$
A, in H2O	B, in H2O	C, in H2O	$\Delta H_2O (y)$ in H2O	m	$\square H_2O$ ajustada (y) in H2O
		X	Y (A+B)		
3.56	3.50	2.94	7.1	2.387	6.9
3.31	3.25	2.75	6.6	b	6.5
2.94	2.94	2.50	5.9	-0.104	5.9
2.06	2.06	1.81	4.1		4.2
1.75	1.75	1.63	3.5	r	3.8
1.50	1.50	1.38	3.0	0.997	3.2
1.13	1.13	1.00	2.3		2.3
0.75	0.75	0.63	1.5		1.4
0.50	0.50	0.38	1.0		0.8

G	H	I
Lectura directa sobre la carta de la curva del calibrador del Dr. Muhlia	Flujo dividido entre 35.31(factor de corrección para pasar de f^3/min a m^3/min)	Q, m^3/min , corregidos a la presión de 777 mb de la Ciudad de México
Q, ft^3/min , curva de calibración	Q, m^3/min	
57	1.61	1.84
56	1.57	1.79
53	1.50	1.71
45	1.27	1.45
43	1.20	1.37
39	1.10	1.26
33	0.93	1.07
26	0.74	0.84
20	0.57	0.65

J	K
Q, m^3/min , corregidos a la temperatura promedio de la Ciudad de México	Manómetro lectura, PST in H2O
1.84	2.94
1.79	2.75
1.71	2.50
1.45	1.81
1.37	1.63
1.26	1.38
1.07	1.00
0.84	0.63
0.65	0.38

Figura 9. Flujo de aire obtenido a partir de los cálculos de calibración realizada en mayo del 2002

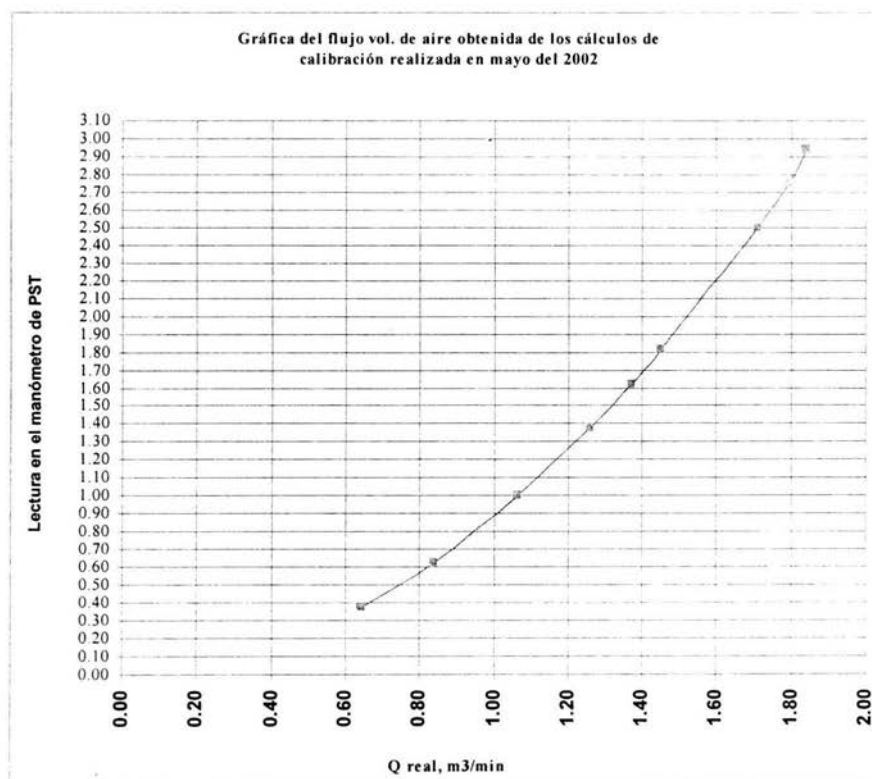


Figura 10. Equipo variflow para la calibración del hi- Vol.

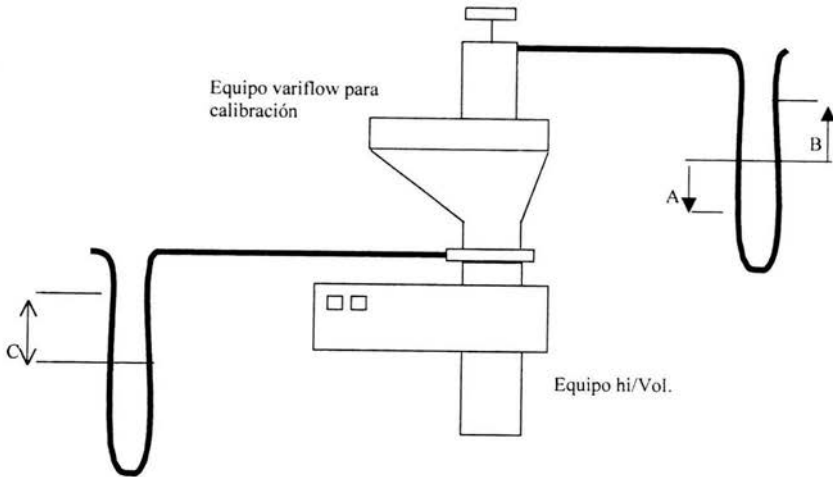
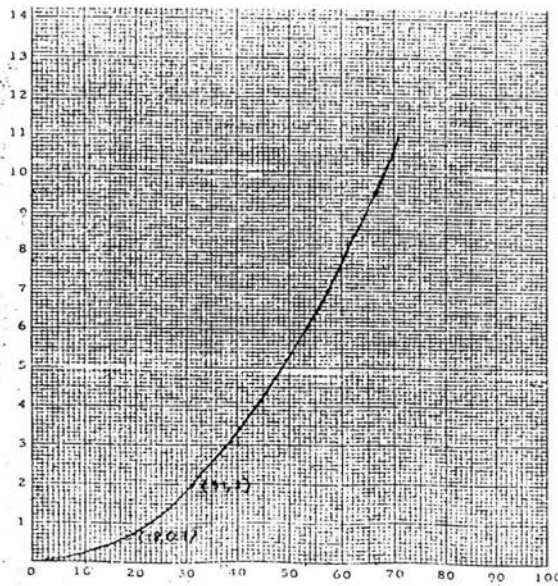


Figura 11. Curva de calibración del Dr. Muhlia.



APÉNDICE B

CUANTIFICACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS METALES PESADOS (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y V)

LÍMITES DE DETECCIÓN Y DE CUANTIFICACIÓN

Tabla de los límites de detección y límites de cuantificación de los metales calculados a partir del programa de regresión lineal de la Norma 054 utilizado para el análisis de metales pesados en aguas.

Figura 12. Límites de detección y cuantificación en Aragón 1 inicial

Aragón 1 inicial		
Elemento	Límite de detección	Límite de cuantificación
As	0.0228	0.0759
Cd	0.0123	0.041
Cr	0.0136	0.0455
Cu	0.0155	0.0516
Fe	0.0315	0.1049
Pb	0.0099	0.0331
Mn	0.0131	0.0436
V	0.0444	0.1479

Figura 13. Límites de detección y cuantificación en Aragón 2 inicial

Aragón 2 inicial		
Elemento	Límite de detección	Límite de cuantificación
As	0.0305	0.1017
Cd	0.0729	0.2429
Cr	0.0341	0.1137
Cu.	0.0014	0.0045
Fe	0.0474	0.1582
Pb	0.0332	0.1108
Mn	0.451	0.1505
V	0.0388	0.1294

Figura 14. Límites de detección y cuantificación en Aragón 3 inicial

Aragón 3 inicial		
Elemento	Límite de detección	Límite de cuantificación
As	0.0276	0.0921
Cr	0.0123	0.041
Cd	0.0048	0.016
Cu	0.0232	0.0772
Mn	0.017	0.0566
Pb	0.0268	0.0893
V	0.0874	0.2912

ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ÓPTICA POR PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-OES)

a) Fundamento teórico del equipo ICP-OES

Plasma: Es un gas caliente altamente ionizado con alta temperatura (6000-10000°C). En el plasma de argón empleada para el análisis de emisión, los iones de argón y los electrones son las principales especies conductoras. (Fritz, 1986)

Nebulización y atomización de la muestra: Si la muestra que se va a atomizar se introduce como líquido, son necesarios algunos pasos adicionales para el proceso de atomización. Con frecuencia las muestras líquidas se introducen a manera de aspersión al atomizador. Se emplean diversos aparatos que transforman la muestra líquida en atomizaciones de pequeñas gotas por el proceso de **nebulización** (en latín nebula significa nube). Como resultado, la parte del espectrómetro atómico (ya sea de absorción o emisión) que nebuliza el líquido se llama nebulizador. Tras la nebulización, se retira el disolvente y el material restante se descompone en átomos (atomización) empleando altas temperaturas. (Harvey, 2002)

Un plasma funciona como buen **atomizador**. El tipo más empleado en emisión atómica es la antorcha de plasma de acoplamiento inductivo (ICP, inductively coupled plasma). Como los plasmas funcionan a temperaturas muy superiores a las de las llamas, proporcionan una mejor atomización y estados de excitación mucho más poblados. Una

vez que el átomo se encuentra en el estado excitado (movimiento de un electrón de una zona de baja energía a una de alta energía), y como este estado es inestable, el electrón regresa a su estado original emitiendo la energía absorbida en forma de longitudes de onda. Desde que cada elemento (metal) tiene una estructura electrónica propia, la longitud de onda de la luz emitida es una propiedad única de cada elemento individual. Esta emisión de espectros puede ser usada como una característica única para la identificación cualitativa de los elementos. Las técnicas de emisión pueden ser también usadas para determinar la cantidad de un elemento presente en una muestra. Para un análisis cuantitativo, la intensidad de la luz emitida en la longitud de onda del elemento es determinada para medir cuantitativamente al elemento. (Robinson, 2000)

b) Condiciones instrumentales del equipo ICP- OES

Fue utilizado un ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente) Optima 4300 DV, Perkin Elmer, un detector simultáneo fue utilizado para la determinación de los metales pesados. La ventaja de este equipo es el uso de la visión axial para obtener aproximadamente 10x más señal y entonces un límite de detección más bajo. La detección simultánea permite seleccionar un tiempo de lectura mas largo y entonces una señal mas estable. Se utilizó una cámara ciclónica y un Nebulizador Gem Cone.

Las condiciones instrumentales fueron optimizadas para la determinación de estos metales incluyendo el flujo de gases y la potencia, estos parámetros están en la siguiente tabla

Figura 15. Condiciones instrumentales de trabajo del ICP-OES

Condiciones instrumentales para Optima 4300 DV OES-ICP	
Parámetros	Valores
Plasma Argón (l/min.)	15
Nebulizer Argón (l/min.)	0.8
Auxiliar Argón (l/min.)	0.5
Power (guatas)	1300
Resolución	Normal
Spectral Peak Processing	Peak Area
Nebulizer Argón (l/min.)	0.8
Read Time (s)	5
Plasma vision	Axial

La selección de las longitudes de onda son importantes en la determinación de los metales, debido a las posibles interferencias, se hizo un estudio previo de las longitudes de onda para encontrar las mejores líneas sin interferencias y se usaron para la determinación de metales. La siguiente tabla muestra las longitudes de onda de los metales.

Figura 16. Longitudes de onda de los metales analizados.

Elemento	Longitud de onda
As	188.979
Cd	228.802
Cr	267.716
Cu	327.393
Fe	238.204
Mn	257.610
Pb	220.353
V	290.880

c) Validación del equipo **ICP-OES**

La validación del IPC se hizo agregando un estándar multi-elemental a un filtro blanco, posteriormente se sometió a digestión y se leyó la muestra en el equipo, las concentraciones no variaron casi nada, esto indica que el IPC tiene una buena eficiencia de lectura.

Figura 17. Componentes del multielemental utilizado para la validación del ICP-OES

Componentes del Multielemental aplicado al filtro blanco			
Elemento	Concentración($\mu\text{g}/\text{mL}$)	mg/mL	Conc.(mg/L)
As	20	0.02	0.1
Cd	10	0.01	0.05
Cr	20	0.02	0.1
Cu	50	0.05	0.25
Pb	6	0.006	0.03
Mn	30	0.03	0.15
V	100	0.1	0.5

Figura 18. Concentraciones de los metales del filtro blanco 1.

Lectura en el ICP de la muestra del filtro blanco1(con el multielemental)			
Filtro blanco	Elemento	Conc.(mg/L)	Conc.real (mg/L)
Blanco1	As	0.1432	0.11
Blanco1	Cd	0.0469	0.04
Blanco1	Cr	0.152	0.11
Blanco1	Cu	0.3315	0.28
Blanco1	Pb	0.0276	0.03
Blanco1	Mn	0.169	0.16
Blanco1	V	0.4861	0.49

EXTRACCIÓN DE LOS METALES EN LOS FILTROS MUESTREADOS

a) Métodos de extracción de los metales

Dos de los métodos de extracción de los filtros muestreados para obtener a los metales pesados son los siguientes:

Figura 19. Métodos de extracción de los metales en los filtros muestreados

Métodos de extracción de los filtros muestreados		
	CEM Sistema de preparación de la muestra en Microonda	Plancha de calentamiento
Resumen	Este método suministra para la digestión (en ácido) de los filtros de acetato de celulosa un recipiente cerrado a presión que controla el calentamiento para la determinación de los metales.	La digestión (extracción de los metales) de los filtros muestreados es llevada a cabo en una placa de calentamiento.
Reactivos	HNO ₃ (70%) y agua desionizada.	HNO ₃ (20%) y agua desionizada.
Nota:	Este procedimiento está trazado para una línea de doce muestras. El procedimiento de extracción de una línea dura aproximadamente cuatro horas.	El procedimiento de extracción dura dos horas.

Para la extracción de los metales pesados se eligió el método de digestión en plancha de calentamiento ya que éste, aunque es de los más antiguos cuenta con una aceptada eficiencia de recuperación, además, este procedimiento de extracción es más rápido de realizar en comparación del equipo Microonda (el cual tarda de tres a cuatro horas en llevar a cabo la extracción), de igual manera, la limpieza del material de vidrio utilizado en el método de plancha es menos tardado.

El procedimiento de digestión por plancha de calentamiento fue elegido en base a que en CENICA y el Instituto de Metalurgia (Edificio D) de la Facultad de Química todavía siguen utilizando este método.

b) Validación del método de digestión por plancha.

En esta etapa se calculó el porcentaje de recuperación de los metales. Para la validación del método de digestión de los filtros por plancha se llevó a cabo la digestión de 0.1005g de SRM 1648 posteriormente la solución se leyó en el ICP-OES y por medio de los cálculos ya descritos en el Cáp. 4 se obtuvo el porcentaje de recuperación de cada metal. A continuación se da la lista del porcentaje de recuperación de los metales

Figura 20. Rendimiento obtenido en el procedimiento de digestión por plancha.

Tabla del rendimiento (%) de metales obtenido en el procedimiento de digestión por plancha.	
Metal	Rendimiento (%)
As	79.34
Cd	74.96
Cr	9.86
Cu	93.19
Mg	64.78
V	52.59
Fe	40.91
Pb	85.48

c) Procedimiento de digestión del SRM 1648

Para la validación del método de digestión de filtros por plancha se llevó a cabo la digestión de 0.1005 gramos de SRM1648 (estándar de referencia para materia particulada urbana) en 50 ml de una solución de ácido nítrico suprapuro al 20% en peso calentándola a 80°C durante una hora. Se traspaso la solución caliente a un matraz aforado de 100 mL quedando solamente el SRM1648 en el vaso de precipitado, en el

cual se agregaron 50 mL de agua desionizada y se calentó nuevamente a 80°C por una hora. Finalmente se terminó de aforar la solución a 100mL y se leyó en el ICP-OES.

PROCEDIMIENTO DEL LAVADO DE MATERIAL

1. Preparar en una tina de plástico (10 L aprox.) una solución de extran en agua potable al 5%
2. Se prepara una solución (10L aprox.) de ácido nítrico en agua desionizada al 5%.
3. El material de vidrio se deja remojar en la solución de extran por 24 horas y posteriormente es enjuagado con agua potable.
5. El material de vidrio se deja remojar por 24 hrs. en ácido nítrico al 5%.
6. Se enjuaga el material con agua desionizada.
7. Posteriormente se deja al material escurrir y secar
8. Guardar el material en un lugar limpio y protegido del polvo.

FILTROS BLANCOS

Por cada lote de diez filtros muestreados se eligió un filtro blanco obteniendo un total de seis filtros a los cuales se les extrajo los metales por medio de la digestión por plancha. De esta manera se pudo calcular la concentración real de los metales en los filtros muestreados.

Figura 21. Filtros blancos utilizados en la cuantificación de los metales.

Concentraciones de metales (mg/L) encontradas en los filtros blancos						
Elemento	Blanco 1	Blanco 2	Blanco 3	Blanco 4	Blanco 5	Blanco 6
As	N.D.	0.0346	0.0505	N.D.	0.039	N.D
Cd	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.016	N.D
Cr	N.D.	0.034	0.0521	0.0354	0.0496	N.D
Cu	0.0129	0.0823	0.0621	0.0506	0.0235	0.0095
Fe	0.947	0.463	0.78	0.391	0.686	0.8474
Mn	N.D.	N.D.	0.0242	N.D.	0.014	N.D
Pb	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.1824	N.D
V	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D
Zn	126.273	59.32	93.36	33.27	62.84	112.9654