

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

**"DETERMINACION DE FUENTES FIJAS
GENERADORAS DE MATERIAL PARTICULADO
MENOR DE 10 μm (PM_{10}) EN LA CIUDAD DE
GUATEMALA Y SUS ALREDEDORES"**

Informe de tesis

Presentado por:

David Estuardo Serrano Hernández

**Para optar al título de
Químico Farmacéutico**

Guatemala, noviembre del 2000

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
06
+(2092)

**JUNTA DIRECTIVA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

DECANA: Licda. Hada Marieta Alvarado Beteta

SECRETARIO: Lic. Oscar Federico Nave Herrera

VOCAL I: Dr. Oscar Manuel Cobar Pinto

VOCAL II: Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda

VOCAL III: Dr. Federico Adolfo Richter Martinez

VOCAL IV: Br. César Alfredo Flores López

VOCAL V: Br. Manuel Anibal Leal Gómez

DEDICATORIA

A DIOS

A LA VIRGEN MARIA

A MI PATRIA

A MIS PADRES

PEDRO SERRANO AGUILAR
CARMEN HIDALME HERNANDEZ GARCIA
DE SERRANO

A MIS HERMANAS

ANGELA MARIELA
MONICA AZUCENA

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

A MIS CATEDRATICOS

A MI FACULTAD

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y
FARMACIA

A MI UNIVERSIDAD

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por ser luz y guía de mi camino de superación porque sin El no hubiese alcanzado esta meta.

A LA VIRGEN MARIA, por las bendiciones derramadas sobre mí y por ser modelo de amor, bondad y entrega a Dios.

A MIS PADRES, por su amor y apoyo incondicional durante toda mi vida.

A MIS HERMANAS, por el cariño y felicidad que me han dado durante mi vida.

A MIS FAMILIARES, por se parte importante en mi vida.

A YURIKO ASADA, por su amor, apoyo y comprensión.

AL LIC. LUIS FERNANDO GIRON, por su confianza y tiempo dedicado para asesorar este trabajo de investigación.

A LA LICDA. THELMA ALVARADO DE GALLARDO, por su colaboración y orientación.

AL LIC. PABLO OLIVA, por su valioso apoyo y colaboración para la realización de este proyecto.

A JHONI ALVAREZ, por su gran colaboración y participación en el desarrollo de este trabajo.

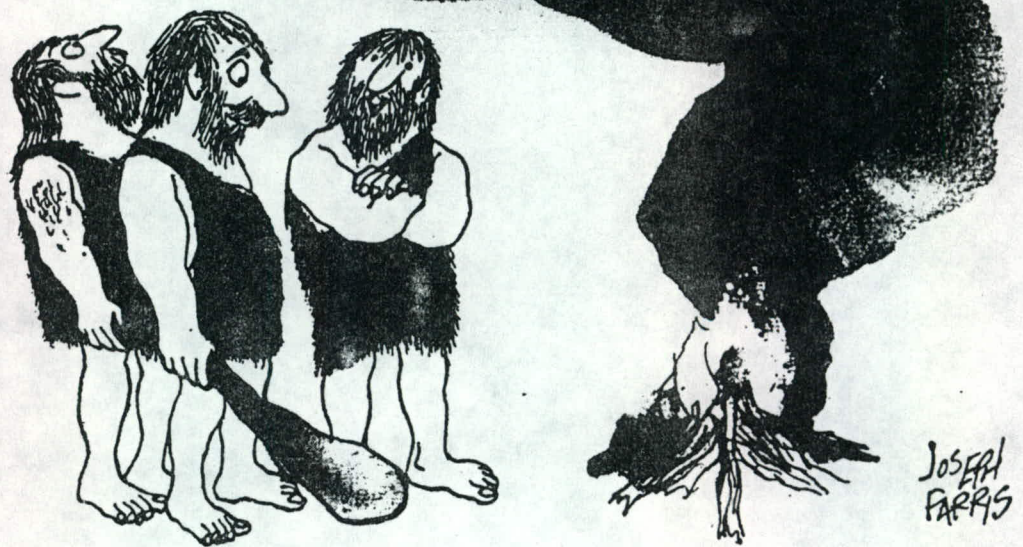
A MIS AMIGOS, por los grandes momentos que hemos vivido y compartido juntos.

A MIS CATEDRATICOS, por sus sabias enseñanzas que me conducen al camino del desarrollo profesional.

A LA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA, porque dentro de sus aulas recibí las enseñanzas que me llevaran a ser persona de bien dentro de la sociedad.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, de la que guardaré hermosos recuerdos, que vivirán eternamente en el caminar de mi vida futura como profesional.

A TODAS LAS PERSONAS, que colaboraron para llevar a cabo esta investigación.



"Acabo de inventar el fuego y la polución"

Polución: anglicismo equivalente a contaminación.

1.- RESUMEN

Guatemala no es indiferente al desarrollo que se produce a nivel mundial y con el crecimiento de la población de las regiones urbanas en Guatemala, el cual está ligado al aumento de flota vehicular e industrial, se evidencian las consecuencias que esto conlleva, por que lo existe la urgente necesidad de frenar la contaminación de nuestro ambiente para restablecer el equilibrio.

La contaminación del aire que se produce durante el uso de automóviles y otros medios de transporte, procesos industriales donde se involucra la combustión del carbón, gasolina y petróleo, así como la combustión de basura, y otras actividades productoras de contaminación provoca efectos nocivos sobre la salud.

En el caso de los contaminantes atmosféricos, uno de los más importantes es el material particulado menor a 10 μm de tamaño (PM_{10}).¹ La población en general y los trabajadores de las industrias que realizan actividades donde se produce este tipo de contaminante están expuestos de manera simultánea e inevitable, a una multiplicidad de agentes que generan diversos efectos sobre el sistema respiratorio, y afectará tanto las vías respiratorias superiores como también las inferiores (pulmones).

Eventualmente, la exposición crónica al material particulado menor a 10 micras puede causar bronquitis, ataques de asma, enfisema, bronquitis crónica, inclusive la muerte, y los grupos de la población que pueden resultar más afectados son los niños y ancianos. Adicionalmente a los efectos en el sistema respiratorio, se presenta irritación de los ojos y de la piel, también se observan los efectos propios de los contaminantes como plomo, hidrocarburos, plaguicidas, etc. , cuya presencia en el aire varía en cada región y en cada temporada.

Existe un aumento de visitas a clínicas médicas, y otras entidades de salud debido al aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias asociadas a la contaminación ambiental.

El Laboratorio de Monitoreo del Aire de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala realiza estudios que

¹ Materia particulada cuyo diámetro es menor a 10 μm . por sus siglas en inglés.

determinan la calidad del aire en la ciudad de Guatemala y monitorea la contaminación ambiental proveniente de fuentes móviles (automóviles), y según los informes anuales del proyecto, se ha determinado que uno de los mayores contaminantes que se producen en la ciudad de Guatemala es precisamente el material particulado menor a $10\mu\text{m}$ (2-6), pero aún no se ha realizado ningún estudio que involucre a fuentes fijas como productoras de contaminación. Este estudio tuvo como propósito determinar las regiones donde se encuentran localizada la mayor concentración de fuentes fijas generadoras de material particulado menor a 10 micras, para dar paso a posteriores trabajos donde ya se tengan ubicados los sectores clave para mediciones de este contaminante.

Se identificaron 28 actividades que se realizan en fuentes fijas dentro de la ciudad capital y sus alrededores, donde se producen partículas menores a 10 micras. Se identificó geográficamente que las áreas más afectadas por este tipo de contaminante son las zonas 7, 6, 3, 11, 12 y Villa Nueva.

Según la densidad de fuentes fijas en regiones de la ciudad y sus alrededores, y las condiciones ambientales (meteorológicas) del período de abril a mayo, se ubicaron 8 puntos de muestreo en la ciudad capital, para poder hacer mediciones de PM_{10} y poder corroborar que a mayor cantidad de fuentes fijas por área, mayor es la cantidad de contaminación por material particulado.

Las mediciones en cada punto se realizaron por triplicado y se determinó que en todas las regiones donde se ubicó el equipo impactador de material menor a 10 micras (PM_{10}) se sobrepasó el valor máximo permitido por la OMS ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) para mediciones de 24 horas continuas, durante un año, pero no sobrepasaron el valor máximo permitido de $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ para mediciones independientes.

También se logró comprobar con datos meteorológicos que la dirección del viento durante el período de muestreo fue en promedio de sur a norte y en menor proporción de sur a oeste, como lo indicaba la fuente INSIVUMEH.

Queda comprobado que en las regiones donde existe mayor número de fuentes fijas generadoras de PM_{10} , también existen valores altos de este contaminante, lo que indica que existe una relación directa entre el número de fuentes de contaminación y la concentración de la contaminación.

2.- INTRODUCCION

En Guatemala, como en otros países, los sectores urbanos densamente poblados ofrecen mejores condiciones de vida o en su defecto mejor poder adquisitivo y esto ha generado una mayor solvencia económica. Este desarrollo trae como consecuencia la modificación del medio ambiente (nuevas carreteras, ampliación de vías, construcción de viviendas, etc.) que repercutirá en los habitantes ya que los contaminantes generados por combustión incompleta en los vehículos automotores, procesos industriales y fuentes naturales son transportados a la atmósfera donde pueden seguir reaccionando y producir contaminantes secundarios los que además pueden ser depositados en el cuerpo humano, a través de las vías respiratorias. (1)

El material particulado, es considerado uno de los más serios contaminantes del aire. Las partículas de diámetro menores a $10\ \mu\text{m}$ denominadas PM_{10} son más peligrosas debido a su poco peso, lo que hace que se mantengan suspendidas en el aire. Estas penetran con mayor facilidad en las áreas profundas de los pulmones, además se ha encontrado que están asociadas con sulfatos, nitratos, etc.

La concentración de PM_{10} que rebasa el valor guía recomendado por la OMS de $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ para mediciones durante 24 horas durante un año, tiene un impacto socioeconómico y sanitario, por aumento en: la mortalidad, admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, visitas a salas de emergencia de hospitales, restricción de días de trabajo, bronquitis en niños, ataques de asma, síntomas respiratorios por bronquitis crónica. Es necesario tomar en cuenta el impacto económico para tomar conciencia de lo grave que es alterar el ambiente. (8)

En Guatemala se han comenzado a sentir los efectos que trae para el ambiente la contaminación, así como para sus pobladores; además de los efectos toxicológicos que sufren los trabajadores de industrias que son fuentes generadoras de material particulado.

Este estudio tuvo como propósito identificar los lugares dentro de la ciudad de Guatemala y sus alrededores donde se encuentran ubicadas importantes fuentes fijas que por su actividad industrial las convierte en generadoras de contaminación de partículas menores a $10\ \mu\text{m}$.

Este fue el primer paso para la búsqueda de mecanismos que permitan ser utilizados para detener en la Ciudad de Guatemala el deterioro ambiental debido a emanaciones industriales.

3.- ANTECEDENTES

Ultimamente ha tomado auge la realización de estudios que se fundamentan en la determinación de la calidad del aire en ciertas regiones. A continuación se pueden mencionar algunos de estos estudios que tienen relación con la contaminación ambiental por material particulado:

Cortez, R. **Contaminación con PM₁₀ y plomo en la región centroamericana.** (1996) Los objetivos de este estudio fueron relacionar la densidad del tráfico vehicular con los niveles de PM₁₀ y plomo y la variación de contaminación por el uso de gasolina con o sin plomo. Se presentan los resultados promedios obtenidos en el período durante el cual se midió la cantidad de material particulado en suspensión de diámetro 10 µm y plomo en siete puntos de San Salvador, El Salvador, 6 en Managua, Nicaragua y 6 en San José, Costa Rica. Los resultados obtenidos muestran que alrededor de un 60-70% de la contaminación del aire es generada por las emisiones vehiculares, por lo que se puede decir que para regular la contaminación del mismo debe existir un control estricto en el proceso de combustión de gasolina al igual que de los aditivos y del proceso de refinamiento de la misma. (1)

Alvarado de Gallardo, Th. **Proyecto Monitoreo de la Calidad del Aire en la Ciudad de Guatemala.** En 1994, la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, en cooperación con Swisscontact, fundación suiza de cooperación para el desarrollo técnico, dió inicio al monitoreo de la calidad del aire de la Ciudad de Guatemala. El monitoreo empezó en febrero de 1994 con la instalación de 9 estaciones de muestreo en la ciudad de Guatemala y 2 en el municipio de San José Pinula, Guatemala. Este año los resultados obtenidos muestran claramente un deterioro en la calidad del aire en la Ciudad de Guatemala, y se ve la necesidad de mantener constante dicho proyecto. (2)

Alvarado deGallardo, Th. **Informes anuales (1995-1999) Proyecto Monitoreo de la Calidad del aire en la Ciudad de Guatemala.** En 1995 se hizo un monitoreo de las emisiones automotores de la Ciudad de Guatemala. El proyecto se desarrolló en la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia con la ayuda de Swisscontact/Proeco. Los resultados obtenidos muestran el deterioro de la calidad de

aire en la Ciudad de Guatemala. También se determinó que las TPS (total de partículas en suspensión) corresponden al mayor contaminante de los estudiados en la Ciudad de Guatemala. (2)

En el informe del proyecto "Monitoreo de emisiones Automotores de la Ciudad de Guatemala de **1996**", se monitorearon los siguientes contaminantes: TPS, plomo, dióxido de nitrógeno, ozono, benceno, tolueno, xileno, polvo de precipitación, PM_{10} (este monitoreo se comenzó en junio de 1996) y monóxido de carbono. Los resultados obtenidos muestran nuevamente el deterioro del aire dentro de la Ciudad de Guatemala, y se determina que los mayores contaminantes son las TPS y PM_{10} que se encuentran por encima de los valores guía establecidos por la OMS, y se encuentra que el menor contaminante es el plomo, con valores inferiores a los guía de la OMS. (3)

El informe de **1997** presenta los resultados obtenidos en el muestreo del proyecto "Monitoreo de la Calidad del Aire de la Ciudad de Guatemala". Los contaminantes muestreados fueron: material particulado en suspensión -TPS-, plomo, dióxido de nitrógeno, ozono, benceno, tolueno, xileno, polvo de precipitación, PM_{10} y monóxido de carbono. Los resultados mostraron que el aire está altamente contaminado, y nuevamente las TPS y PM_{10} se encuentran por encima de los valores guía de la OMS. También se detectó una menor cantidad de plomo de acuerdo con los valores guía de la OMS. (4)

El informe de **1998** muestra los resultados de los siguientes contaminantes: TPS, PM_{10} , ozono, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, polvos de precipitación y pH (en una estación). Y se concluye que sí existe contaminación clara en la ciudad de Guatemala y se detecta que los mayores contaminantes son: TPS y PM_{10} , situación similar en años anteriores, y el plomo sigue por debajo de los valores guía de la OMS. (5)

El informe del año **1999** el dióxido de nitrógeno (NO_2) y las partículas menores a 10 micras (PM_{10}) son los contaminantes más problemáticos en esta ciudad. Los resultados del monitoreo del aire en el año 1999 demuestran que los Guatemaltecos están expuestos a cantidades de contaminantes atmosféricos superiores a los valores guía durante todo el año. Solamente uno de los siete sitios de muestreo se mantuvo debajo de los valores guía. (6)

4.- JUSTIFICACION

El crecimiento de la población de las regiones urbanas de Guatemala, especialmente en la capital, está ligado al aumento del desarrollo industrial, lo que ha creado la urgente necesidad de frenar la contaminación del ambiente, para poder mantener el equilibrio necesario. Este es un reto que pone a prueba la capacidad de disminuir la contaminación generada por las emisiones industriales.

En la Ciudad de Guatemala se ha llevado a cabo proyectos de monitoreo de emisiones vehiculares, donde se han incluido dentro de los contaminantes a analizar las partículas totales en suspensión -TPS-² y las PM₁₀ y se ha determinado que estos contaminantes son los que sobrepasan los valores guía establecidos por la OMS. Pero estos contaminantes provienen en un 70% de emisiones vehiculares (fuentes móviles), y un 30% provienen de actividades industriales (fuentes fijas). (2-6)

Actualmente los proyectos de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Guatemala se enfocan principalmente a las fuentes móviles, pero debe tomarse en cuenta las emisiones de fuentes fijas.

Debido a los efectos potenciales que tiene el material particulado producido por fuentes fijas sobre las poblaciones que se encuentran expuestas se provoca un incremento en la tasa de morbi-mortalidad por enfermedades respiratorias principalmente en niños, ancianos y trabajadores, lo que hizo necesario realizar un estudio que detectara primeramente los sectores geográficos que sean fuentes generadores de dicho material particulado (PM₁₀) dentro de la ciudad de Guatemala y sus alrededores, y que conlleve a estudios subsecuentes que demuestren la situación actual de la contaminación ambiental de la ciudad de Guatemala provocada por procesos industriales y su repercusión en la salud de la población y de los trabajadores de la industria.

² Partículas Totales Suspendidas -TPS- por sus siglas en inglés.

5.- OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

5.1.1 Elaborar un estudio para detectar en el área geográfica de la ciudad de Guatemala y sus alrededores , los focos importantes de contaminación por fuentes fijas generadoras de material particulado de 10 μm (PM_{10}).

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

5.2.1 Identificar las actividades industriales que se realizan en la ciudad de Guatemala y sus alrededores que sean generadoras potenciales de material particulado de 10 μm .

5.2.2 Determinar cuáles son las posibles fuentes fijas generadoras de material particulado de 10 μm (PM_{10}) en la ciudad capital y su entorno.

5.2.3 Localizar las regiones dentro de la ciudad de Guatemala y sus alrededores donde se encuentren las fuentes fijas más importantes generadores de material particulado.

5.2.4 Realizar mediciones de PM_{10} no sistemáticas en los puntos de interés con el fin de confirmar el mapeo de las fuentes fijas generadoras de material particulado.

6.- HIPOTESIS

En la ciudad de Guatemala y sus alrededores existen áreas geográficas importantes donde se encuentran fuentes fijas generadoras de contaminación ambiental con material particulado de $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}).

7.- MATERIALES Y METODOS

7.1 Universo de trabajo y muestra:

Este estuvo conformado por los lugares en la ciudad de Guatemala y sus alrededores que poseen fuentes fijas generadoras de material particulado de 10 μm (PM_{10}).

7.2 Recursos:

7.2.1 Recursos Humanos:

a. Autor:

David Estuardo Serrano Hernández

b. Asesor:

Lic. Luis Fernando Girón

c. Revisora:

Licda. Thelma Alvarado de Gallardo

7.2.2 Materiales y equipo:

a. Filtros de teflón de 37 mm

b. Cajas de petri para almacenar y trasladar los filtros.

c. Microbalanza con un eliminador de estática

d. Impactador de PM_{10} con orificio crítico, bomba de succión (4L/min).
(ver Anexos)

e. Horno para eliminar humedad.

7.3 Metodología:

7.3.1 Revisión Bibliográfica.

7.3.2 Identificación de las actividades industriales que generan material particulado.

7.3.3 Ubicación de las fuentes potenciales generadoras de PM_{10} en la ciudad de Guatemala y sus alrededores

7.3.4 .Realización de mediciones no sistemáticas de PM_{10} en áreas determinadas de mayor concentración industrial. Estas mediciones se

realizaron en 8 diferentes puntos en la ciudad de Guatemala y sus alrededores (ver tabla puntos de muestreo en resultados). Las mediciones se realizaron 3 veces en cada punto, en intervalos aproximadamente de 15 días entre cada una.

Fundamento de la medición de PM₁₀:

La toma de la muestra de aire se efectúa succionando un volumen de aire, haciéndolo pasar a través de un filtro que se coloca en el portafiltro, para atrapar las partículas cuyo diámetro es menor a 10 μm . El tiempo de muestreo recomendado según "Selected Methods of Measuring air pollutants" (WHO 1976) es de 24 horas continuas en estaciones establecidas. La técnica analítica empleada (gravimetría) se basa en la determinación de la masa de material recogido y del volumen de aire que se succiona durante el período de muestreo. Para las mediciones de partículas de 10 μm se utiliza un impactador diseñado para el muestreo de este tipo de partículas, con un orificio crítico con el que se logra mantener un flujo constante (los orificios críticos utilizados tienen un flujo constante de 4.2 L/min., sin embargo por las condiciones atmosféricas propias de una región este valor puede variar, por lo que se recomienda obtener un flujo real), se requiere además una bomba de succión.

Procedimiento analítico de muestreo:

- Después que el filtro permaneció 24 horas en un horno a 28-30^o C se pesó cada filtro de trabajo (uno por cada medición), después se almacenó nuevamente a temperatura ambiente en una desecadora. El objetivo es balancear la ganancia o pérdida de humedad ambiental durante el proceso de muestreo.
- Cada filtro de trabajo se colocó dentro de un porta filtro adecuado, llenando previamente la hoja de muestreo correspondiente, para su traslado posterior al sitio de muestreo.

- Se utilizó una caja de petri para transportar el filtro debidamente montado en el portafiltro antes y después del muestreo.
- Cuando se muestreó, se colocó el filtro con su portafiltro en el impactador, siguiendo la dirección del macho en la parte superior, sobre el soporte (también conocido como PADS de Milipore, tipo AP10).
- El sistema de muestreo estuvo colocado entre 2 y 5 pies del piso, en una superficie estable por un período de 24 horas. Anotando el tiempo exacto de muestreo.
- Se anotó el flujo y las condiciones climatológicas imperantes. El filtro expuesto se retiró del portafiltro con una pinza, se colocó dentro de una caja de petri, se etiquetó correctamente y se colocó nuevamente en el horno a 28-30^o C, por 24 horas para eliminar la humedad ambiental, después se colocó en un desecadora durante unos 30 minutos para eliminar la humedad y enfriar a temperatura ambiente para pesarlo posteriormente en la balanza analítica con el uso de 5 decimales, y así por medio de diferencia de peso se determinó la cantidad de contaminante menor a 10 micras que se obtuvo durante 24 horas.

Cálculos:

La concentración de partículas de 10 μm en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Partículas} < 10 \mu\text{m} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{(\text{Pf} - \text{Pi})}{\text{V}}$$

en la que: **Pf**: peso final del filtro de trabajo (μg)

Pi: Peso inicial del filtro de trabajo (μg)

V: Volumen real de muestreo m^3

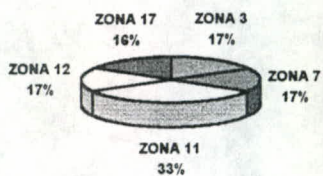
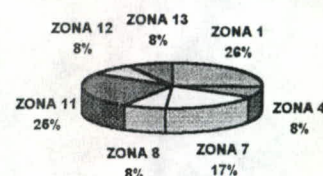
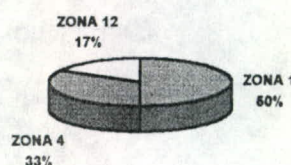
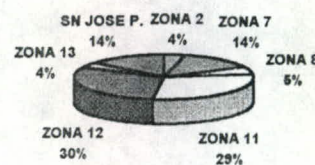
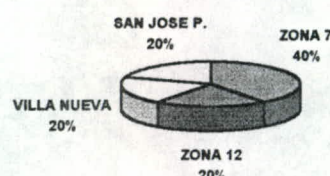
$\text{V} = \text{flujo medio de muestreo} (\text{m}^3/\text{min}) \times \text{tiempo de muestreo}(\text{min.})$ (7)

7.3.5 Confirmación del mapeo realizado con los resultados obtenidos en las mediciones de material de PM_{10} .

8.- RESULTADOS

TABLA 8.1 FUENTES FIJAS GENERADORAS DE MATERIAL PARTICULADO PM10 EN LA CIUDAD DE GUATEMALA Y SUS ALREDEDORES

No.	TIPO DE INDUSTRIA	REGION	%	GRAFICA
1	Granos (Café)	ZONA 2	16	<p>GRANOS</p> <p>ZONA 17 17% ZONA 2 16% ZONA 11 17% ZONA 12 50%</p>
		ZONA 11	17	
		ZONA 12	50	
		ZONA 17	17	
	Cereales (Avena, maíz, arroz)	ZONA 7	17	<p>CEREALES</p> <p>C. ATLANTICO 17% ZONA 7 17% ZONA 12 17% SN JOSE P. 16% VILLA NUEVA 33%</p>
		ZONA 12	17	
		SN JOSE P.	16	
		VILLA NUEVA	33	
		C. ATLANTICO	17	
3	Molinería (Harinas de trigo y maíz, avena, molida, fécula de maíz)	ZONA 11	9	<p>MOLINERIA</p> <p>VILLA CANAL 9% ZONA 11 9% VILLA NUEVA 18% ZONA 12 55% VILLA NUEVA 9%</p>
		ZONA 12	55	
		ZONA 18	9	
		VILLA NUEVA	18	
		VILLA CANAL.	9	
4	Aceites vegetales y animales	ZONA 12	34	<p>ACEITES COMESTIBLES</p> <p>FRAIJANES 33% ZONA 12 34% ZONA 18 33%</p>
		ZONA 18	33	
		FRAIJANES	33	

No.	TIPO DE INDUSTRIA	REGION	%	GRAFICA
5	Procesamiento de carnes (Embutidos y carnes procesadas)	ZONA 3	17	<p>PROCESAMIENTO DE CARNE</p> 
		ZONA 7	17	
		ZONA 11	33	
		ZONA 12	17	
		ZONA 17	16	
6	Confitería (Chocolates, galletas, goma de mascar, caramelos)	ZONA 1	26	<p>CONFITERIA</p> 
		ZONA 4	8	
		ZONA 7	17	
		ZONA 8	8	
		ZONA 11	25	
		ZONA 12	8	
7	Cacao y sus preparados (Chocolate y cocoa)	ZONA 1	50	<p>CACAO Y PREPARADOS</p> 
		ZONA 4	33	
		ZONA 12	17	
8	Preparados a base de cereales, harinas, almidones y féculas	ZONA 2	4	<p>PREPARADOS DE HARINAS</p> 
		ZONA 7	14	
		ZONA 8	5	
		ZONA 11	29	
		ZONA 12	30	
		ZONA 13	4	
		SN JOSE P.	14	
9	Preparados alimenticios diversos	ZONA 7	40	<p>PREPARADOS ALIMENTICIOS</p> 
		ZONA 12	20	
		VILLA NUEVA	20	
		SAN JOSE P.	20	

No.	TIPO DE INDUSTRIA	REGION	%	GRAFICA
10	Productos embotellados (bebidas, licores y vinagres)	ZONA 2 ZONA 7 ZONA 11 ZONA 12	20 20 40 20	<p>BEBIDAS EMBOTELLADAS</p> <p>ZONA 12 20% ZONA 2 20% ZONA 7 20% ZONA 11 40%</p>
11	Desperdicios de la industria de alimentos (Alimentos para Animales)	ZONA 11 ZONA 12 VILLA NUEVA SAN JOSE P	22 56 11 11	<p>ALIMENTOS PARA ANIMALES</p> <p>SAN JOSE P 11% ZONA 11 22% VILLA NUEVA 11% ZONA 12 56%</p>
12	Tabaco	ZONA 1 VILLA CANALES	50 50	<p>TABACO</p> <p>VILLA CANALES 50% ZONA 1 50%</p>
13	Piedras (Cemento, arena, grava, piedrín, piedra pomez, caolín, bentonita, mármol, caliza, dolomita, yeso, granito, cal, talco y material para construcción)	ZONA 2 ZONA 5 ZONA 6 ZONA 7 ZONA 12 ZONA 18 VILLA NUEVA C.PACIFICO SAN JOSE P.	12 8 32 8 4 16 4 8 8	<p>PIEDRAS</p> <p>SAN JOSE P. 8% ZONA 2 12% ZONA 5 8% ZONA 6 32% ZONA 7 8% C.PACIFICO 8% VILLA NUEVA 4% ZONA 18 16% ZONA 12 4%</p>

No.	TIPO DE INDUSTRIA	REGION	%	GRAFICA
14	Procesamiento de piedras y materias análogas (Adoquines, mármol, pisos de granito, prefabricados, blocks)	ZONA 2	7	<p>PROCESAMIENTO PIEDRAS</p>
		ZONA 3	7	
		ZONA 5	7	
		ZONA 7	14	
		ZONA 12	15	
		ZONA 11	7	
		ZONA 17	7	
		ZONA 18	7	
		VILLA NUEVA	15	
	SAN JOSE P.	7		
	C. PACIFICO	7		
15	Metalúrgia (Minerales, metales y fundición de metales)	ZONA 8	4	<p>METALURGIA</p>
		ZONA 7	4	
		ZONA 6	9	
		ZONA 18	4	
		ZONA 12	36	
		ZONA 11	13	
		FRAIJANES	4	
		S. MIGUEL PET.	13	
		SAN JOSE P.	4	
	VILLA NUEVA	9		
16	Productos de destilación de derivados del petróleo (aceites, combustibles, mezcla asfáltica)	ZONA 3	20	<p>DERIVADOS DEL PETROLEO</p>
		ZONA 11	20	
		ZONA 12	20	
		MIXCO	20	
		C. PACIFICO	20	
17	Químicos (Inorgánicos)	ZONA 6	16	<p>QUIMICOS INORGANICOS</p>
		ZONA 7	16	
		ZONA 11	16	
		ZONA 12	20	
		MIXCO	16	
		SAN JOSE P.	16	

No.	TIPO DE INDUSTRIA	REGION	%	GRAFICA
18	Químicos miscelaneos (Carbón, insecticidas, etc.)	ZONA 8	14	<p>QUIMICOS MISCELANEOS</p>
		ZONA 11	7	
		ZONA 12	9	
		ZONA 13	7	
		ZONA 17	7	
		ZONA 18	14	
		MIXCO	14	
		C. PACIFICO	14	
VILLA NUEVA	14			
19	Químicos Agrícolas (Fertilizantes, plaguicidas)	ZONA 11	25	<p>QUIMICOS AGRICOLAS</p>
		VILLA NUEVA	25	
		SAN JOSE P.	25	
		C. PACIFICO	25	
20	Pintura (colorantes, pinturas, barnices, tintas)	ZONA 1	8	<p>PINTURAS</p>
		ZONA 5	17	
		ZONA 7	8	
		ZONA 8	8	
		ZONA 9	8	
		ZONA 11	10	
		ZONA 12	17	
		VILLA NUEVA	17	
		C. PACIFICO	8	
C. SALVADOR	8			
21	Limpieza (Productos de limpieza)	ZONA 4	33	<p>PRODUCTOS DE LIMPIEZA</p>
		MIXCO	33	
		SN M PETAPA	34	
22	Plásticos	ZONA 5	7	<p>PLASTICOS</p>
		ZONA 7	14	
		SN M PETAPA	8	
		VILLA NUEVA	8	
		ZONA 12	46	
		C. SALV.	8	
B. DEL MONTE	8			


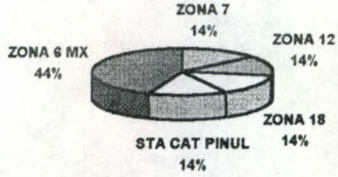
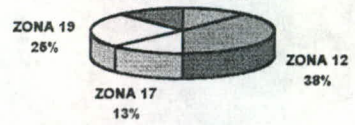
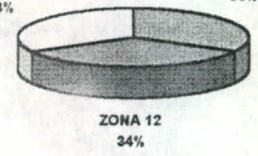
No.	TIPO DE INDUSTRIA	REGION	%	GRAFICA
23	Caucho	ZONA 12	100	<p style="text-align: center;">CAUCHO</p> <p style="text-align: center;">ZONA 12 100%</p> 
24	Pieles, cueros y calzado	ZONA 7	14	<p style="text-align: center;">PIELES Y CUEROS</p> 
		ZONA 12	14	
		ZONA 18	14	
		STA CAT PINUL	14	
		ZONA 6 MX	44	
25	Madera (Aserraderos)	ZONA 1	12	<p style="text-align: center;">MADERA</p> 
		ZONA 12	38	
		ZONA 17	13	
		ZONA 19	25	
		C. PACIFICO	12	
26	Papel y cartón	ZONA 2	33	<p style="text-align: center;">PAPEL Y CARTON</p> 
		ZONA 12	34	
		ZONA 3 MX	33	

TABLA 8.2 TOTAL DE FUENTES FIJAS GENERADORAS DE PM₁₀ EN LA CIUDAD DE GUATEMALA Y SUS ALREDEDORES

REGION	PORCENTAJE
BOCA DEL MONTE	1
CARR. ATLANTICO	1
CARR. PACIFICO	4
CARR. SALVADOR	1
FRAIJANES	1
MIXCO	2
MIXCO ZONA 03	1
MIXCO ZONA 06	1
SAN JOSE PINULA	5
SAN MIGUEL PETAPA	2
STA. CATARINA P.	1
VILLA CANALES	1
VILLA NUEVA	7
ZONA 01	4
ZONA 02	3
ZONA 03	1
ZONA 04	1
ZONA 05	2
ZONA 06	5
ZONA 07	9
ZONA 08	3
ZONA 09	1
ZONA 11	10
ZONA 12	23
ZONA 13	1
ZONA 17	3
ZONA 18	5
ZONA 19	1
TOTAL	220 = 100%



Determinación de fuentes fijas generadoras de material particulado menor a 10 micras (PM10) en la Ciudad de Guatemala y alrededores

Simbología

Pros Muestreos

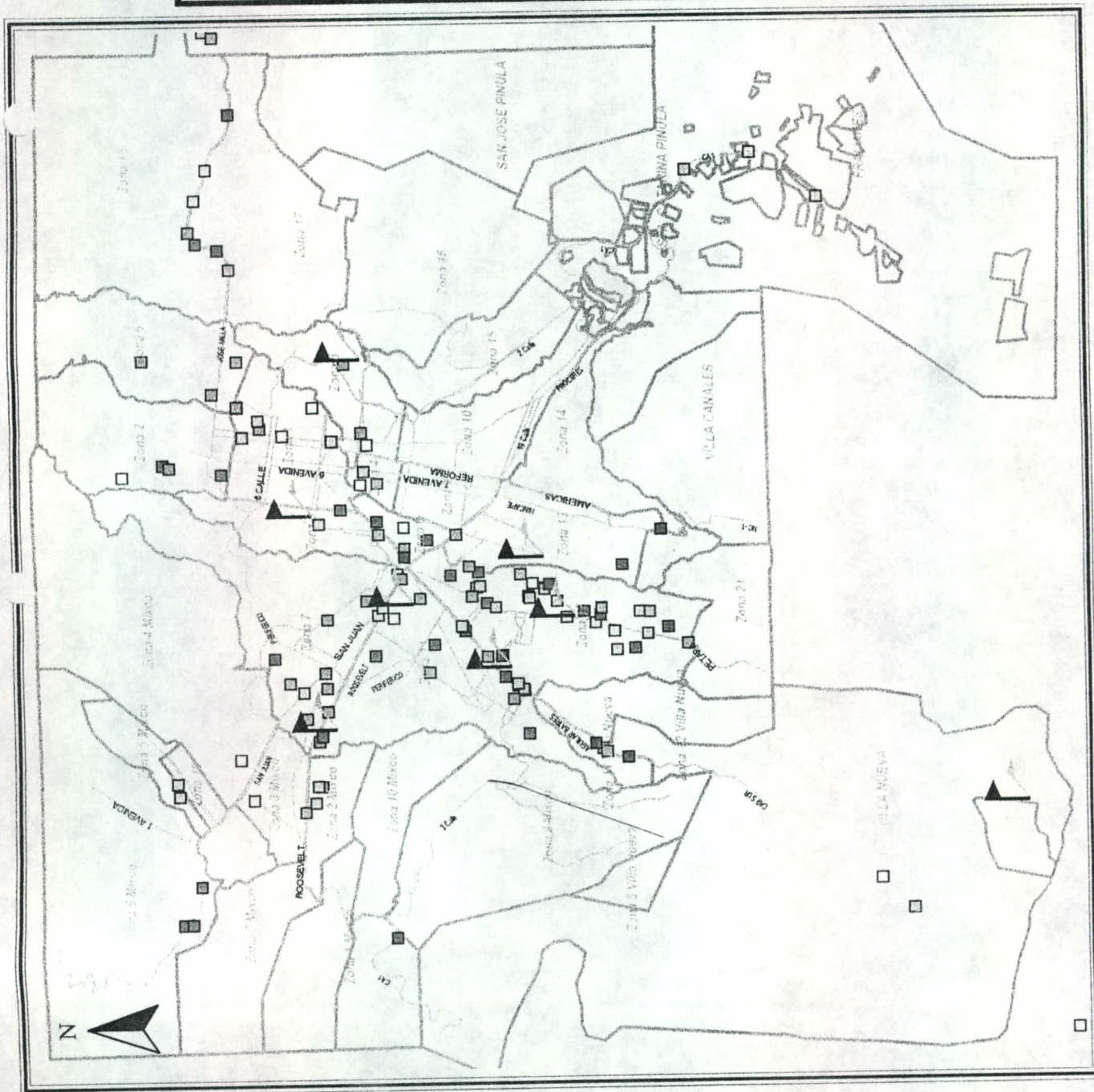
Industrias

- ☐ Aceites vegetales y animales
- ☐ Bebidas, licores y vinagres
- ☐ Cacao y sus preparados
- ☐ Caucho
- ☐ Cereales
- ☐ Confitena
- ☐ Desperdicios de la industria alimenticia
- ☐ Granos
- ☐ Limpieza
- ☐ Madera
- ☐ Manufactura de piedra, yeso, cemento y materias analogas
- ☐ Metalurgia
- ☐ Molinería
- ☐ Papel, carton
- ☐ Piedras y cementos
- ☐ Piel y Cueros
- ☐ Pintura
- ☐ Plásticos
- ☐ Preparados a base de cereales, harinas, almidones, féculas
- ☐ Preparados alimenticios diversos
- ☐ Procesamiento de carne
- ☐ Productos Químicos Miscelaneos
- ☐ Productos de destilación de aceites y combustibles minerales
- ☐ Productos de tabaco
- ☐ Químicos
- ☐ Químicos Agrícolas
- ☐ Textiles
- ☐ Vidrio
- ☐ Calles Principales
- ☐ Zonas

Escala 1:200,000

Año 2,000

rcastellanos@hotmail.com



2 0 2 4 Kilometers

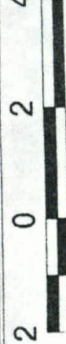


TABLA 8.3 MEDICIONES OBTENIDAS EN OCHO SITIOS DE MUESTREO PARA DETERMINAR PARTICULAS SUSPENDIDAS MENORES A 10 MICRAS (PM₁₀) DURANTE ABRIL Y MAYO DEL 2000

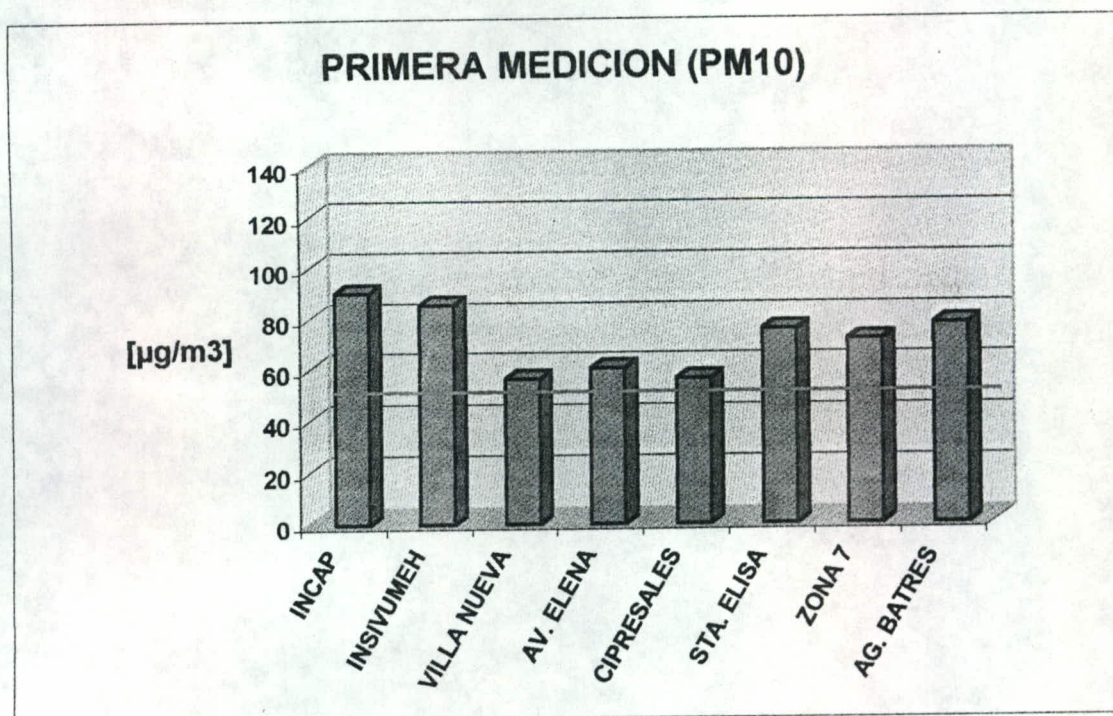
SITIO DE MUESTREO	PRIMER CICLO MEDICION ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SEGUNDO CICLO MEDICION ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TERCER CICLO MEDICION ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PROMEDIO POR SITIO DE MUESTREO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
INCAP Z. 11	90	95	54	80
INSIVUMEH Z. 13	85	72	12	57
VILLA NUEVA	56	70	63	63
AV. ELENA Z. 3	60	90	59	70
CIPRESALES Z. 6	56	78	62	65
STA. ELISA Z. 12	75	73	70	84
ZONA 7	71	104	46	74
AG. BATRES Z. 11	77	123	31	77
PROMEDIO POR MEDICION	71	88	50	70

VALOR MAXIMO PERMITIDO PARA MEDICIONES DE PM₁₀ INDEPENDIENTES: (24 horas)

150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

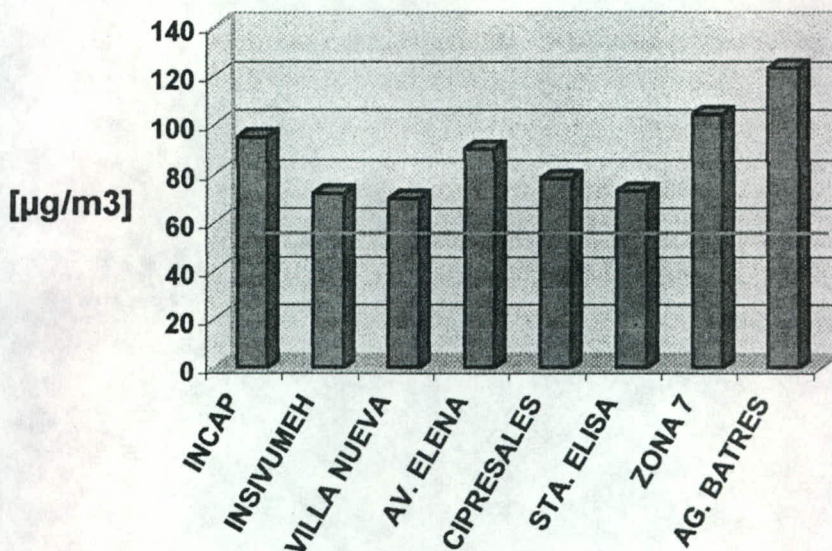
VALOR MAXIMO PERMITIDO PROMEDIO POR AÑO DE PM₁₀:

50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



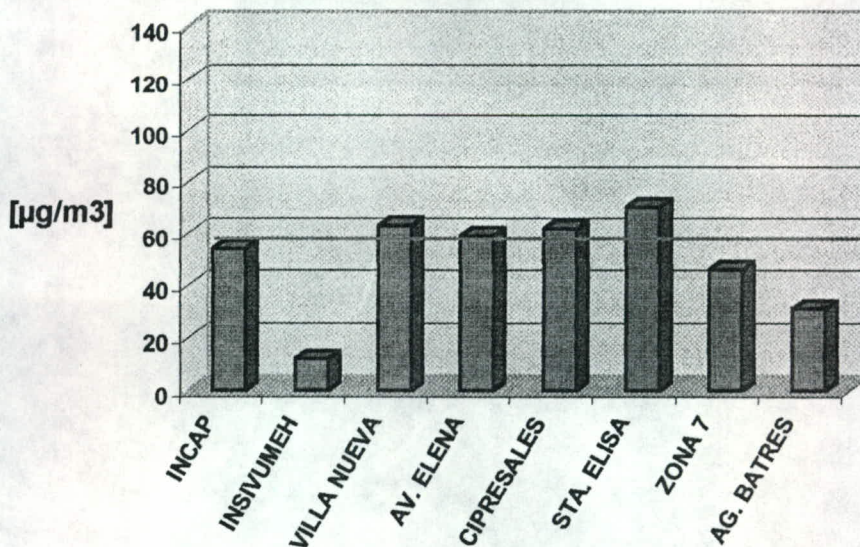
———— Valor guía (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

SEGUNDA MEDICION (PM10)



— Valor guía (50 µg/m³)

TERCERA MEDICION (PM10)



— Valor guía (50 µg/m³)

TABLA 8.4 DATOS METEOROLOGICOS

MES ABRIL DEL 2000

FECHA	HORA	GRADO NUBOSIDAD	DIRECCION DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO	ALTURA DE NUBES
03/04/00	3	1	160	6	18000
	6	6	0	0	22000
	9	0	350	4	
	12	0	0	0	
	15	0	180	4	
	18	4	180	12	25000
	21	3	180	12	25000
	24	1	180	12	18000
04/04/00	3	0	180	3	
	6	2	120	2	60000
	9	0	360	2	
	12	0	360	10	
	15	3	360	15	18000
	18	4	360	15	20000
	21	3	360	18	22000
	24	2	360	18	20000
05/04/00	3	3	360	25	14000
	6	8	360	25	12000
	9	5	360	18	18000
	12	3	360	18	18000
	15	8	360	20	16000
	18	6	360	18	22000
	21	8	360	12	25000
	24	8	30	24	22000
07/04/00	3	0	360	6	
	6	0	20	8	
	9	8	360	10	6000
	12	8	360	4	6000
	15	2	0	0	18000
	18	3	180	6	25000
	21	3	180	12	25000
	24	3	180	10	20000
08/04/00	3	0	360	2	
	6	0	30	8	
	9	7	360	6	16000
	12	7	30	5	18000
	15	1	360	10	18000
	18	2	360	15	22000
	21	5	360	18	25000
	24	3	360	22	20000

FECHA	HORA	GRADO NUBOSIDAD	DIRECCION DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO	ALTURA DE NUBES
10/04/00	3	4	360	22	18000
	6	0	360	20	
	9	5	360	15	16000
	12	8	360	14	15000
	15	6	360	18	16000
	18	1	360	18	20000
	21	3	40	14	22000
	24	8	40	16	30000

11/04/00	3	4	360	12	200000
	6	7	360	12	200000
	9	6	350	10	200000
	12	3	20	5	20000
	15	7	360	10	80000
	18	8	60	8	20000
	21	8	180	12	
	24	8	180	10	200000

12/04/00	3	7	20	9	16000
	6	3	360	9	18000
	9	8	360	6	8000
	12	5	30	4	90000
	15	7	360	8	80000
	18	5	360	10	20000
	21	4	360	10	25000
	24	6	180	10	20000

13/04/00	3	0	360	12	
	6	0	360	8	
	9	8	360	10	10000
	12	0	0	0	
	15	2	360	6	22000
	18	4	160	6	22000
	21	4	200	10	22000
	24	8	180	4	18000

24/04/00	3	0	180	7	
	6	6	190	6	14000
	9	6	180	4	14000
	12	0	230	2	
	15	4	180	10	18000
	18	5	180	14	20000
	21	6	180	10	20000
	24	3	180	10	20000

25/04/00	3	7	180	6	8000
	6	8	0	0	12000
	9	8	0	0	2000
	12	8	0	0	3000
	15	0	0	0	
	18	3	260	12	18000
	21	4	180	9	20000
	24	2	180	5	18000

FECHA	HORA	GRADO NUBOSIDAD	DIRECCION DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO	ALTURA DE NUBES
26/04/00	3	2	0	0	18000
	6	0	0	0	
	9	5	0	0	80000
	12	0	360	4	
	15	0	360	14	
	18	0	360	13	
	21	0	360	14	
	24	0	360	18	

27/04/00	3	0	360	10	
	6	0	20	8	
	9	1	350	8	8000
	12	1	360	10	8000
	15	4	360	18	15000
	18	3	360	20	200000
	21	2	360	12	20000
	24	2	360	18	20000

28/04/00	3	0	360	9	
	6	0	360	10	
	9	0	20	9	
	12	0	30	7	
	15	0	360	12	
	18	3	360	12	200000
	21	4	360	10	25000
	24	8	180	8	20000

MES DE MAYO DEL 2000

FECHA	HORA	GRADO NUBOSIDAD	DIRECCION DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO	ALTURA DE NUBES
02/05/00	3	8	40	6	18000
	6	4	40	8	18000
	9	8	360	8	14000
	12	8	350	4	8000
	15	8	150	4	20000
	18	2	150	0	22000
	21	4	180	12	2000
	24	6	180	10	20000

03/05/00	3	5	0	0	16000
	6	5	360	8	14000
	9	6	360	6	12000
	12	8	360	8	6000
	15	8	330	0	20000
	18	8	360	6	20000
	21	8	180	5	20000
	24	8	330	10	16000

FECHA	HORA	GRADO NUBOSIDAD	DIRECCION DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO	ALTURA DE NUBES
04/05/00	3	8	360	8	20000
	6	8	360	4	18000
	9	8	360	6	4000
	12	8	360	6	4000
	15	8	360	9	17000
	18	8	360	10	20000
	21	7	360	8	18000
	24	8	360	10	18000

05/05/00	3	5	360	10	18000
	6	8	330	5	20000
	9	7	360	6	18000
	12	3	360	6	8000
	15	6	360	10	16000
	18	6	360	10	20000
	21	4	180	10	15000
	24	8	180	8	18000

06/05/00	3	5	60	3	18000
	6	7	360	6	15000
	9	6	360	6	8000
	12	6	20	4	200000
	15	5	360	8	200000
	18	8	360	12	22000
	21	6	20	10	22000
	24	8	180	4	20000

08/05/00	3	8	30	10	18000
	6	8	360	8	16000
	9	8	20	8	14000
	12	5	40	6	200000
	15	7	20	5	200000
	18	3	180	4	20000
	21	8	180	12	20000
	24	8	140	6	5000

09/05/00	3	8	200	5	6000
	6	8	20	12	14000
	9	8	30	4	6000
	12	8	160	3	4000
	15	6	180	8	200000
	18	8	180	12	20000
	21	6	180	15	20000
	24	8	180	18	16000

10/05/00	3	7	180	3	10000
	6	8	180	4	7000
	9	1	100	2	12000
	12	8	0	0	3000
	15	2	150	6	15000
	18	4	180	8	18000
	21	7	180	10	22000
	24	8	180	6	4000

FECHA	HORA	GRADO NUBOSIDAD	DIRECCION DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO	ALTURA DE NUBES
11/05/00	3	5	180	6	12000
	6	8	0	0	14000
	9	2	0	0	12000
	12	8	0	0	12000
	15	8	210	6	18000
	18	8	210	9	22000
	21	7	180	10	100000
	24	8	190	8	80000

15/05/00	3	6	360	12	16000
	6	3	360	8	14000
	9	7	360	10	10000
	12	8	360	8	10000
	15	8	360	13	16000
	18	7	20	14	20000
	21	7	330	12	2000
	24	8	360	10	20000

16/05/00	3	8	360	12	18000
	6	8	360	10	16000
	9	8	360	10	8000
	12	8	360	10	5000
	15	8	330	16	16000
	18	8	360	17	16000
	21	8	360	10	15000
	24	8	30	10	8000

17/05/00	3	8	360	8	14000
	6	8	360	8	8000
	9	8	350	12	4000
	12	8	360	8	6000
	15	8	360	12	12000
	18	8	360	12	18000
	21	8	360	18	18000
	24	8	360	10	25000

18/05/00	3	8	20	3	12000
	6	8	360	8	8000
	9	8	350	4	7000
	12	8	350	3	12000
	15	8	20	6	17000
	18	8	360	8	20000
	21	8	360	4	22000
	24	8	120	8	15000

FECHA:

MESES ABRIL Y MAYO

HORAS:

INTERVALOS DE 3 HORAS DURANTE 24 HORAS

GRADO DE NUBOSIDAD:

1 A 8 SI HAY 9 NO HAY MOVIMIENTO DE NUBES

DIRECCION DEL VIENTO:

° GRADOS = 0° Y 360° = ESTE

90° = NORTE

180° = OESTE

270° = SUR

VELOCIDAD DEL VIENTO:

EN NUDOS = 1 nudo = milla maritima = 1.852 Km/h

ALTURA DE NUBE:

PIES SOBRE EL NIVEL DEL MAR

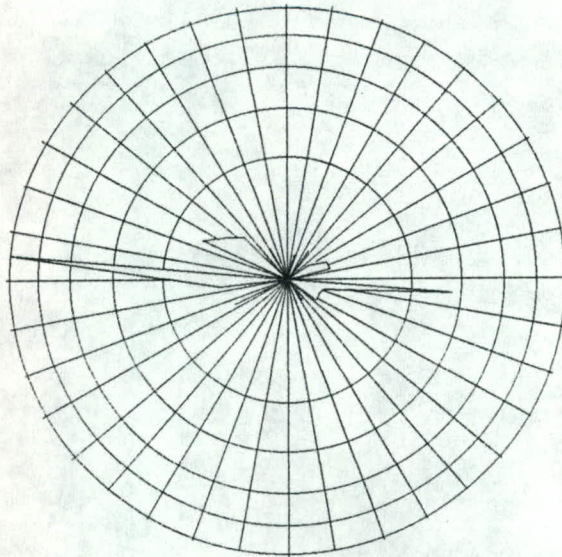
FUENTE: INSIVUMEH

IMMPROG-Project-Title

c:\misdoc~1\jhonii~1\dauidm.txt

AREA DE LA ROSA DEL VIENTO

North



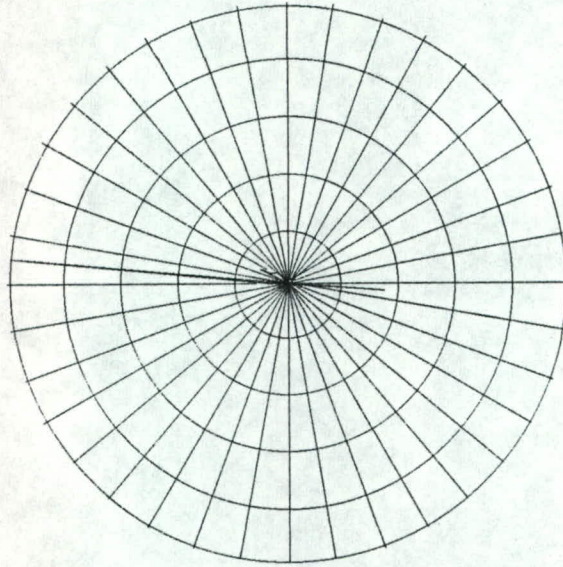
Area-true wind rose
(Meteo-Hours-File)

Scale circles: 11.0,22.0,...[%]

10-degree-sectors

Wind velocity: at center <2m/s< at border

North



Linear wind rose
otherwise as in the left hand plot

COMPORTAMIENTO TRIMESTRAL DE LA ROSA DEL VIENTO

IMMPROG-Project-Title

c:\misdoc~1\jhonii~1\davidm.txt

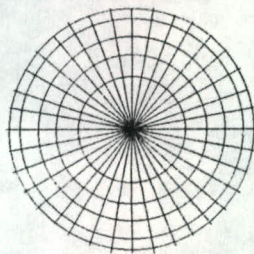
A,M,J:

J,F,M:

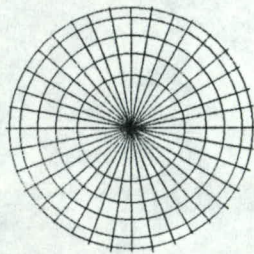
J,A,S:

O,N,D:

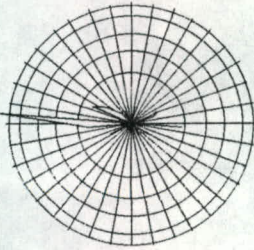
J - D:



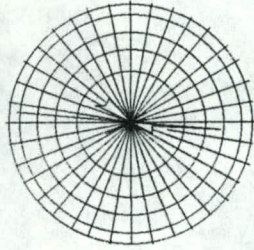
07-18 h
0.00 m/s



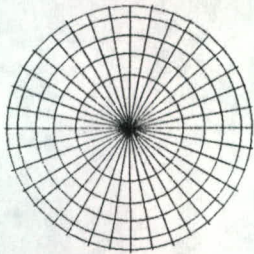
19-06 h
0.00 m/s



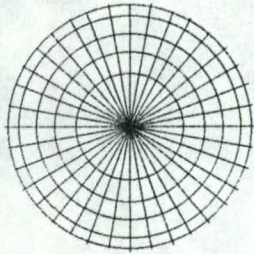
07-18 h
8.39 m/s



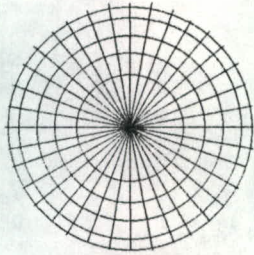
19-06 h
9.67 m/s



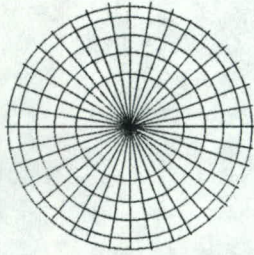
07-18 h
0.00 m/s



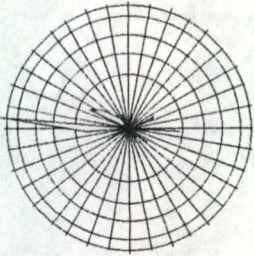
19-06 h
0.00 m/s



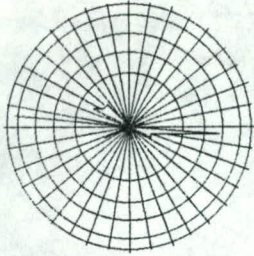
07-18 h
0.00 m/s



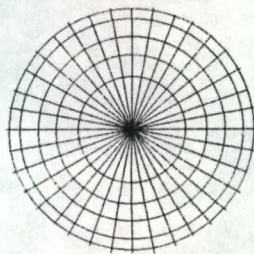
19-06 h
0.00 m/s



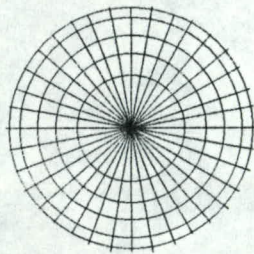
07-18 h
8.39 m/s



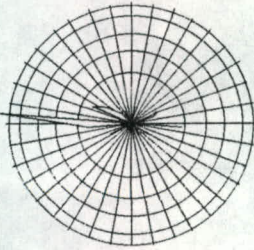
19-06 h
9.67 m/s



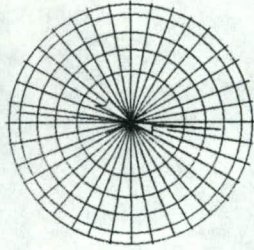
07-18 h
0.00 m/s



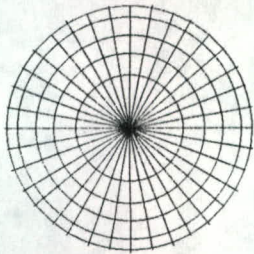
19-06 h
0.00 m/s



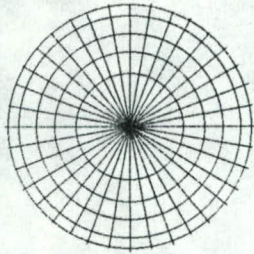
07-18 h
8.39 m/s



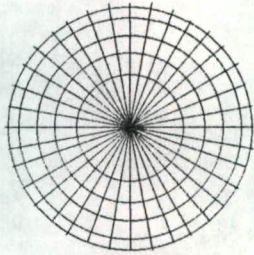
19-06 h
9.67 m/s



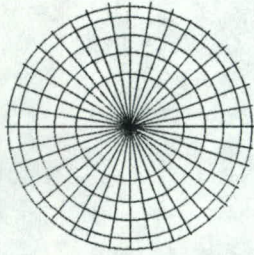
07-18 h
0.00 m/s



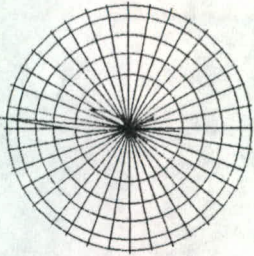
19-06 h
0.00 m/s



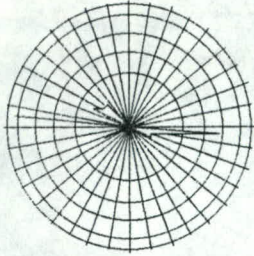
07-18 h
0.00 m/s



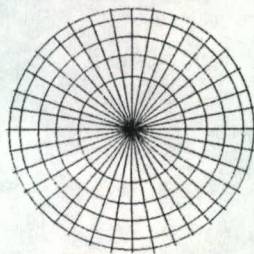
19-06 h
0.00 m/s



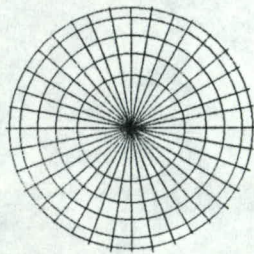
07-18 h
8.39 m/s



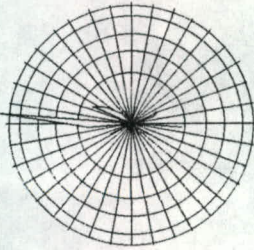
19-06 h
9.67 m/s



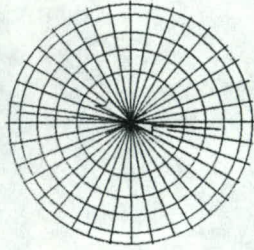
07-18 h
0.00 m/s



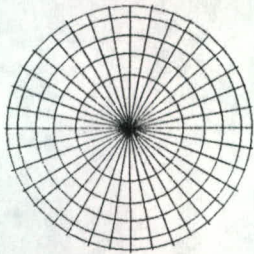
19-06 h
0.00 m/s



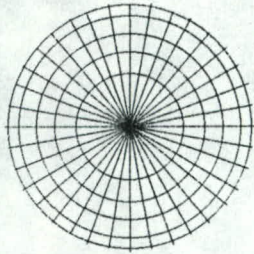
07-18 h
8.39 m/s



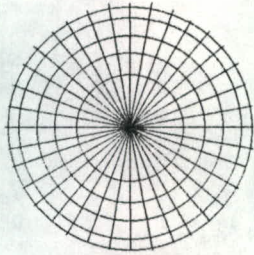
19-06 h
9.67 m/s



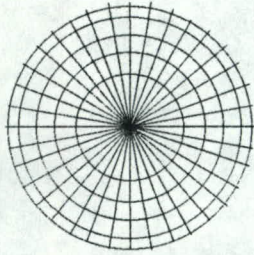
07-18 h
0.00 m/s



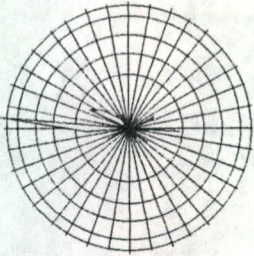
19-06 h
0.00 m/s



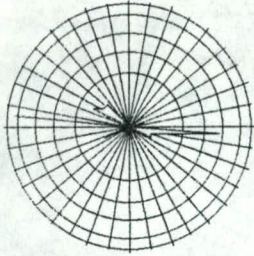
07-18 h
0.00 m/s



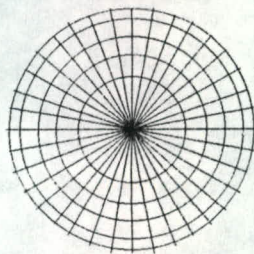
19-06 h
0.00 m/s



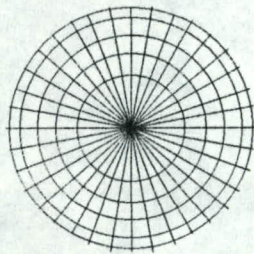
07-18 h
8.39 m/s



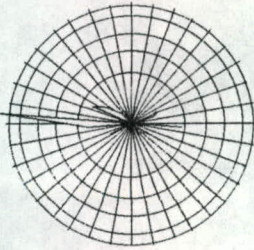
19-06 h
9.67 m/s



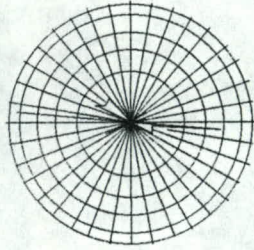
07-18 h
8.39 m/s



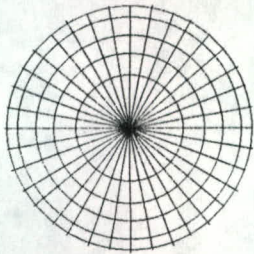
19-06 h
9.67 m/s



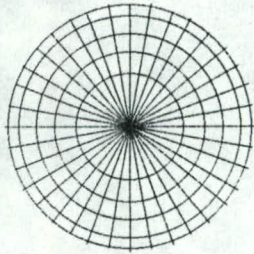
07-18 h
8.39 m/s



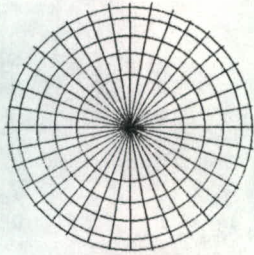
19-06 h
9.67 m/s



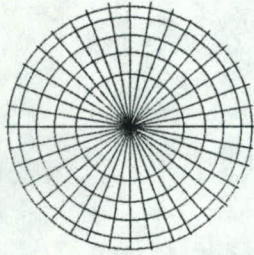
07-18 h
0.00 m/s



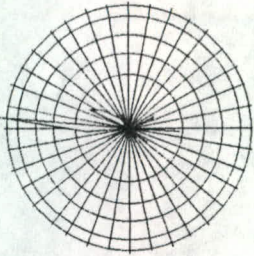
19-06 h
0.00 m/s



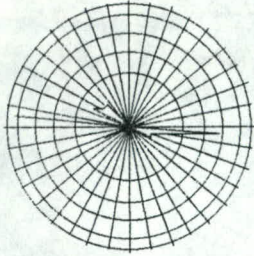
07-18 h
0.00 m/s



19-06 h
0.00 m/s



07-18 h
8.39 m/s



19-06 h
9.67 m/s

Scale circles: 11.0,22.0,...[%], area-true, 10-degree-sectors

9.- DISCUSION DE RESULTADOS

El presente estudio tuvo como objetivo principal el detectar en la ciudad de Guatemala y sus alrededores, las regiones importantes donde se genera contaminación del tipo PM_{10} producida por fuentes fijas (industrias principalmente). El estudio se llevó a cabo durante el trimestre de marzo a mayo del año 2000. El primer paso consistió en la recolección de información que orientó a determinar las actividades industriales que son generadoras de material particulado menor a 10 micras. Posteriormente se detectó cuales de dichas actividades se realizan en la ciudad de Guatemala y sus alrededores, obteniéndose 28 clasificaciones distintas (tabla 8.1). Al mismo tiempo se realizó la ubicación geográfica de las fuentes fijas registradas, pero quedaron excluidas todas aquellas fuentes que no están registradas formalmente y que se dedican a realizar actividades que producen material particulado menor a $10\mu m$ (tabla 8.1 y mapa). Se logró determinar por medio de direcciones que las regiones de mayor concentración de fuentes fijas generadoras dentro de la ciudad capital son principalmente la zona 12, zona 11, zona 7, zona 6, zona 18, seguidas de San José Pinula y Villa Nueva (tabla 8.2).

Con la ubicación exacta de cada fuente fija, se realizó un mapa donde se localizó cada fuente fija y se comprobó gráficamente por medio de un mapa que las regiones de mayor concentración son principalmente la zona 12 en toda la avenida Petapa; la zona 11 sobre la calzada Aguilar Batres; la zona 7 que comprende la calzada San Juan y carretera Roosevelt; la zona 6 (La Pedrera); y en la región central de la ciudad las zonas 1 y 3.

Se determinó que la zona 12, 11 y 7 cuentan con el mayor porcentaje de fuentes fijas y la mayor diversidad de actividades que son potenciales generadoras de material particulado menor a $10\mu m$ (tabla 8.1 y 8.2). De esta forma se determinó que al existir mayor cantidad de comercios e industrias en una región, no sólo las industrias producen contaminación sino que también se produce contaminación porque aumenta el flujo vehicular por esa región, lo que conlleva un aumento de contaminación proveniente de fuentes móviles, en las principales vías de la ciudad.

La zona 6 es una región importante debido a que en este sector se encuentran localizadas muchas industrias donde se realizan actividades como la producción de materiales de construcción provenientes del procesamiento de

pedras que es una de las mas importantes productoras de material particulado menor a 10 micras.

En Villa Nueva se localizan muchas fabricas formales e informales que producen principalmente productos para la construcción (bloccs, pisos, prefabricados, etc.). Un lugar también muy importante debido a su actividad no industrial y que es un gran productor de contaminación por material particulado dentro de la ciudad es el relleno sanitario de la zona 3, ya que la incineración de los desechos sólidos produce una diversidad de contaminantes entre ellos PM_{10} .

Los factores que se tomaron en cuenta para la ubicación de los puntos de muestreo fueron: la concentración de fuentes fijas y también las condiciones climatológicas imperantes durante los meses de abril y mayo.

Para las condiciones meteorológicas se tomó en cuenta la dirección del viento, grado de nubosidad, velocidad del viento y altura de nubes en intervalos de 3 horas durante 24 horas, los días que se realizó cada monitoreo. Los datos obtenidos de INSIVUMEH, se introdujeron en el programa de computadora IMMPROG P 4.0 para obtener la rosa del viento, que es una gráfica de área que determina hacia donde se dirigió el viento durante un período determinado. Según información del INSIVUMEH, durante los meses de marzo a mayo, el promedio de dirección del viento es de sudoeste y cuando entra la época de lluvia cambia hacia el norte. Con los datos reales obtenidos por día de muestreo (tabla 8.4) el programa reveló que la condición de dirección del viento promedio para el período en que se realizaron las mediciones fue predominante hacia el norte y ligeramente del sur a este.

Con estos datos obtenidos se determinó 8 puntos estratégicos donde se colocó el equipo de medición para PM_{10} (mapa), para la realización de mediciones no sistemáticas que respaldan que en las regiones de mayor concentración industrial se está produciendo contaminación del tipo PM_{10} . Los puntos se colocaron para lograr cubrir las zonas de mayor cantidad de fuentes fijas, y según el promedio teórico de comportamiento del viento. También se colocó un punto en el INSIVUMEH que sirvió de referencia de una región de baja concentración de fuentes fijas y contraria a la dirección del viento. Las mediciones de cada punto se realizaron por ciclos, lo que llevó a realizar mediciones en intervalos de 15 días aproximadamente en cada punto, siendo en total 24 mediciones, 3 mediciones por punto de muestreo (tabla 8.3) Cada día se colocó por 24 horas en un punto distinto el equipo de impactación de

PM₁₀ y se determinaron las concentraciones en el laboratorio de Monitoreo del Aire de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Los resultados obtenidos se pueden ver en la tabla 8.3 y en las gráficas, donde se observa que las regiones con mayor concentraciones de material particulado son las zonas 12, 11 y 7. Y de menor cantidad fue efectivamente la región cubierta por el muestreo en el INSIVUMEH.

En todos los lugares donde se colocó el equipo de muestreo se determinó que se rebasa el valor máximo permitido por año según la OMS de 50µg/m³, pero estuvieron por debajo del valor máximo permitido para mediciones esporádicas independientes (24 horas) que es de 150 µg/m³, pero si la tendencia continua con valores altos en posteriores mediciones, se determinaría que se sobrepasaría el valor máximo permitido por año.

Todo esto comprueba la relación directa entre mayor número de fuentes fijas, mayor concentración de partículas menores a 10 micras. Con estas mediciones también se logra comprobar el mapeo realizado así como se justifica la ubicación permanente de equipo para detección de material particulado en los puntos de muestreo que se usaron para esta investigación, además esto puede ser útil para posteriores estudios de contaminación por fuentes fijas, ya que en la actualidad solamente se realiza mediciones provenientes de fuentes móviles, pero no se ha puesto mucha atención a los efectos que se producen por el crecimiento industrial.

La ciudad ha crecido desordenadamente y las fuentes fijas han quedado rodeadas por viviendas y esto está afectando la salud de personas que habitan en regiones contiguas y a la población en general debido a que como se observa en cada época del año las corrientes de aire pueden arrastrar hacia otros lugares la contaminación de PM₁₀ aunque sea menor la concentración de fuentes fijas en estos otros lugares. Este estudio involucra un problema de salud pública como el campo de la toxicología ambiental y ocupacional, debido a que afecta a una población y puede afectar directamente a los trabajadores de las fuentes fijas, ya que estos tienen un contacto directo con el foco de contaminación por material particulado menor a 10 micras.

10.- CONCLUSIONES

- Dentro de la ciudad de Guatemala y en sus alrededores se encuentra una gran cantidad de fuentes fijas que por sus actividades son productoras de material particulado menor a 10 micras.
- Se clasificó en 28 categorías distintas las actividades que son generadoras de material particulado menor a $10\mu\text{m}$ y que se realizan en la ciudad de Guatemala y sus alrededores (tabla 8.1)
- Las regiones de mayor concentración de fuentes fijas en la ciudad de Guatemala son principalmente: zona 12, zona 11, zona 7, zona 6, zona 18 Villa Nueva y San José Pinula. Las regiones de menor cantidad de fuentes fijas son: zona 3, zona 4, zona 9, zona 13, zona 19, Boca del Monte, Carretera al Atlántico, Fraijanes, Mixco y sus zonas, Santa Catarina Pinula y Villa Canales. (ver mapa)
- Este estudio incluye como fuentes generadoras de material particulado exclusivamente industrias registradas en la ciudad capital y sus alrededores; por lo cual están excluidas las industrias artesanales no registradas, los basureros y otras de origen natural o no antropogénica.
- Geográficamente se determinó que las arterias con mayor cantidad de fuentes fijas son: Avenida Petapa, Calzada Aguilar Batres, La Pedrera, Calzada Roosevelt y San Juan (ver mapa).
- Según las regiones de mayor concentración de fuentes fijas y las condiciones meteorológicas propias de la época en que se llevarían a cabo las mediciones, se ubicaron 7 puntos de muestreo en la capital y 1 en Villa Nueva.
- En los ocho puntos de muestreo se determinó que se supera el valor máximo permitido promedio por año para PM_{10} según la OMS ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$), pero los valores obtenidos se encuentran debajo del valor permitido para mediciones independientes no sistemáticas de 24 horas ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$).

- Los puntos de muestreo donde se determinó la mayor concentración de PM_{10} fueron: zona 11, zona 12. Y los puntos de menor concentración: Villa Nueva e INSIVUMEH.
- La dirección del viento según las condiciones imperantes durante el período de muestreo fue de orientación norte y no sudoeste como lo indicaba el INSIVUMEH, por lo que se deduce que las regiones probablemente más afectadas por contaminación de partículas menores a 10 micras fueron las que se encuentran al norte de las fuentes fijas productoras de dicho material particulado.
- Se pudo comprobar la hipótesis planteada y se determinó que dentro de la ciudad de Guatemala y sus alrededores si existen fuentes fijas generadoras de contaminación ambiental con material particulado de $10\mu m$ (PM_{10}).

11.- RECOMENDACIONES

- Para la realización de cualquier estudio relacionado con contaminación producida por material particulado, debe tomarse en cuenta varios factores como: actividades que involucren producción de este contaminante, densidad de fuentes generadoras, condiciones ambientales, entre otros.
- La ubicación exacta de las fuentes fijas generadoras es importante para determinar regiones donde se puedan realizar mediciones de control.
- Es recomendable que se realicen estudios que continúen la investigación de la contaminación ambiental producida por material particulado PM_{10} , ya que según los reportes anuales, este contaminante es uno de los que más se producen en la ciudad de Guatemala, pero no se ha logrado diferenciar si esta proviene y en que cantidad, de fuentes móviles como de fuentes fijas.
- Se recomienda la ubicación permanente de estaciones de monitoreo en los sitios donde se realizaron las mediciones de esta investigación para registrar la cantidad de material particulado menor a 10 micras se genera en lugares aledaños a fuentes fijas importantes, durante períodos prolongados.
- Al determinar que se está produciendo contaminación dentro de la ciudad de Guatemala debe buscarse mecanismos idóneos que conlleven al mejoramiento de la calidad del aire, ya que día con día esta se deteriora, provocando efectos directos a la salud de la población en general, y no se puede dejar a un lado un aspecto tan importante que nos afectará a corto y a mediano plazo.
- Dentro de las fuentes fijas generadoras se debe asegurar la seguridad y la salud de los trabajadores, proporcionándoles equipo de protección contra material menor a 10 micrones, ya que puede haber intoxicaciones crónicas ocupacionales que pueden terminar en desenlaces fatales para los trabajadores.

12.- REFERENCIAS

1. Cortés, Regina., Peña, María. Contaminación con PM₁₀ y Plomo en la Región Centroamericana. Congreso Mundial sobre contaminación del aire en Países en Vías de Desarrollo. San José de Costa Rica. 21-26 octubre 1996. Memorias. Volumen II. Edición y Derechos de Copia Proeco 1997. Costa Rica. Pp 476-481
2. Alvarado de Gallardo, T., Chávez Informe anual 1995 Proyecto monitoreo emisiones automotoras. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de CC QQ y Farmacia. Ciudad de Guatemala, Enero 1996. Pp 2-16.
3. Alvarado de Gallardo, T., Chávez Informe anual 1996 Proyecto monitoreo emisiones automotoras. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de CC QQ y Farmacia. Ciudad de Guatemala, Enero 1997. Pp 3-20.
4. Alvarado de Gallardo, T., Chávez Informe anual 1997 Proyecto monitoreo emisiones automotoras. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de CC QQ y Farmacia. Ciudad de Guatemala. Enero 1998. Pp 3-19.
5. Alvarado de Gallardo, T., Chávez Informe anual 1998 Proyecto monitoreo emisiones automotoras. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de CC QQ y Farmacia. Ciudad de Guatemala. Enero 1999. Pp 4-17.
6. Oliva Soto, P., Alvarez, J. Informe anual 1999 Proyecto monitoreo emisiones automotoras. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de CC QQ y Farmacia. Ciudad de Guatemala. Enero 2000. Pp 4-20.
7. Alvarado de Gallardo, Th. Manual de laboratorio de monitoreo del aire. Monitoreo de Aire en Centro América. Universidad de San Carlos de Guatemala, Fac. CCQQ y Farmacia. Guatemala. 1995.
8. Baumbach, Günter. Air Quality Control. 1ra ed. M. Schillinger- Dietrich. Alemania 1996. Pp 274-278.
9. Wark, K., Warner, C. Contaminación del aire, origen y control. 2da ed. Editorial Limusa Noriega. México 1990. Pp 21-40, 193-203.

10. Perkins, H. Air Pollution. 1ra ed. Editorial McGraw-Hill. USA 1974. Pp 220-228
11. Cadle, Richard. The measurement of airborne particules. 1th ed. Wiley-Interscience Publication. USA. 1975. P 342
12. Wadden, Richard. Contaminación del aire en interiores. 1er ed. Editorial Limusa. México. 1987. P 258
13. Pickering, William. Pollution Evaluation. The Quantitative aspect. 1th ed. Marcel Dekker Inc. USA. 1977. Vol 2. 200p.
14. Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México. 1 ed . Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y Secretaria de Salud. México. 1996. P 250
15. Osborn, Peter. The Engineer's clean air handbook. 1th ed. Butterworth & Co. USA. 1989. Pp 44-45, 152-157.
16. Breen, J. et al. Pollution Prevention in Industrial Proccess. 1th ed. Library of Congress Cataloging-in Publication Data. USA. 1992. P 316.
17. Bethea, R. Air Pollution Control Technology. 1th ed. Van Nostrand Reinhold Co. USA. 1978. P 449.
18. Staff of Research and Education Association. Modern Pollution Control Technology. USA. 1980. Vol 1 Air Pollution. Cap 5,14.
19. Ross, R.D. La industria y la contaminación del aire. 1 ed. Editorial Diana México. México 1974. Pp 21-197
20. INTERNET: [Http://www.cpa.gov/region09/air/aqreport/pm10.html](http://www.cpa.gov/region09/air/aqreport/pm10.html)
21. Gall, Francis. Diccionario Geográfico de Guatemala. Disco compacto. Instituto Geográfico Nacional. Guatemala.

22. PUBLICAR S.A. Directorio Electrónico Guatemala 1999. Disco compacto Guatemala, 1999.
23. Cámara de Industria de Guatemala. Directorio Industrial 1999/2000. Guatemala 1999.
24. IMMPROG P 4.0, Modelo 1995, Airinfo. Software.

13.- ANEXOS

Existen 7 contaminantes del aire que la EPA (Environmental Protection Agency) regula bajo los Estándares Nacionales de Calidad del Aire (NAAQS, por sus siglas en inglés). Los 7 contaminantes son:

1. Material Particulado (TPS) y PM₁₀
2. Dióxido de sulfuro
3. Monóxido de carbono
4. Oxidos de nitrógeno
5. Hidrocarburos
6. Ozono
7. Plomo (20)

Entre esos siete contaminantes encontramos a las partículas menores a 10 micras.

DEFINICION DE PM₁₀:

Es todo aquel material particulado cuyo diámetro es menor de 10 micras. Para motivos de comparación, el diámetro de un cabello humano es considerado en un promedio de 50 μm .

Al igual que TPS (total de partículas suspendidas) en la atmósfera, son una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas de origen natural o antropogénico, las cuales pueden encontrarse en el aire ambiental, polvo y otros aerosoles. Como fuentes directas tenemos la combustión de materiales fósiles, calefacción, transporte erupciones volcánicas, erosión de suelos, etc.

El hecho de respirar aire contaminado con partículas puede hacer que las más pequeñas se depositen en los pulmones, en el caso de las PM₁₀ pueden llegar a alojarse hasta los alveolos, en donde irritan los tejidos o bien pueden contener material tóxico que afecte el proceso respiratorio. Los niveles de contaminación de partículas en general se han relacionado directamente con enfermedades respiratorias. Además, pueden arrastrar a los pulmones sustancias como ácidos, gases tóxicos y materiales radiactivos. Uno de los principales problemas para la salud pública lo constituye las partículas que contienen materiales tóxicos como berilio y asbestos. (14)

MATERIAL PARTICULADO

1. NATURALEZA GENERAL DE LOS PROBLEMAS DE CONTAMINACION DEL AIRE

Una población creciente, combinada con un alto nivel de vida, ha llevado a una producción y concentración drásticamente intensificadas de contaminantes del aire en áreas localizadas.

En el pasado, la industria, la agricultura y los contaminadores individuales encontraron que era más económico descargar a la atmósfera los productos de desecho que controlarlos. Por lo general, la organización o actividad que causaba la contaminación no sufría las consecuencias de la misma; del mismo modo, los que se beneficiaban de la reducción en la contaminación de aire, por la instalación de equipos de control, no contribuían directamente al costo de dicho equipo. En años recientes, según el público se preocupa cada vez más por los problemas de contaminación ambiental, se ha llegado a considerar el aire como un elemento del dominio público. Por tanto, se considera a la contaminación del aire como un problema público, que no solamente concierne a los responsables de la contaminación sino también a quienes podrían sufrir las consecuencias. Por ello, las leyes de algunos países permiten a un individuo o grupo de individuos demandar directamente a una organización o compañía que contamine esa parte propiedad del dominio público.

El control racional de la contaminación del aire, se apoya en tres suposiciones básicas:

1. El aire es del dominio público
 2. La contaminación del aire constituye un concomitante inevitable de la vida moderna.
 3. Se pueden aplicar los conocimientos científicos para delinear las normas públicas.
- (9)

2. LA MATERIA PARTICULADA O PARTICULAS

Una porción de las partículas introducidas en la atmósfera por las actividades del hombre sirven como núcleos de condensación que influyen en la formación de nubes, lluvia y nieve.

La materia particulada producida por fuentes incluye la sal de los océanos, cenizas volcánicas, productos de la erosión por el viento, polvo de las carreteras, desechos de incendios forestales, el polen y las semillas de las plantas. (9)

Tabla 2.1 Definición de los términos que describen las partículas suspendidas en el aire

Partículas	Cualquier material, excepto agua no combinada, que existe en estado sólido o líquido en la atmósfera o en una corriente de gas en condiciones normales.
Aerosol	Una dispersión de partículas microscópicas, sólidas o líquidas, en medios gaseosos.
Polvo	Partículas sólidas de un tamaño mayor que el coloidal, capaces de estar en suspensión temporal en el aire.
Ceniza fina	Partículas de ceniza finamente divididas arrastradas por el gas de la combustión. Las partículas pueden contener combustible no quemado.
Niebla	Aerosol visible.
Vapores	Partículas formadas por condensación, sublimación, o reacción química, predominantemente mayores de 1 μm (humo o tabaco).
Neblina	Dispersión de pequeñas gotas de líquido de suficiente tamaño como para caer desde el aire.
Partícula	Masa discreta de materia sólida o líquida.
Humo	Partículas pequeñas arrastradas por los gases, que resultan de la combustión.
Hollín	Una aglomeración de partículas de carbón.

En general, las partículas arrastradas por el aire varían su tamaño desde 0.001 a 50 μm , con la mayor parte de la masa de partículas presentes en la atmósfera con una variación de 0.1 a 10 μm . Las partículas con un tamaño menor a 0.1 μm muestran un comportamiento similar al de las moléculas y están caracterizadas por grandes movimientos aleatorios causados por colisiones con las moléculas de gas. Las partículas mayores de 1 μm , pero menores de 20 μm , tienden a seguir un movimiento del gas por el que son llevadas. Las partículas mayores de 20 μm poseen velocidades de asentamiento significativas: por lo tanto, el aire las arrastra durante períodos relativamente cortos. Las velocidades de asentamiento de las partículas con una densidad de 1 g/cm^3 son:

	0.1 μm	$4 * 10^{-5}$ cm/s	
	1 μm	$4 * 10^{-3}$ cm/s	
----->	10 μm	0.3 cm/s	
	100 μm	30 cm/s	(8)

Tabla 2.2 Características de las partículas y los dispersoides(8)

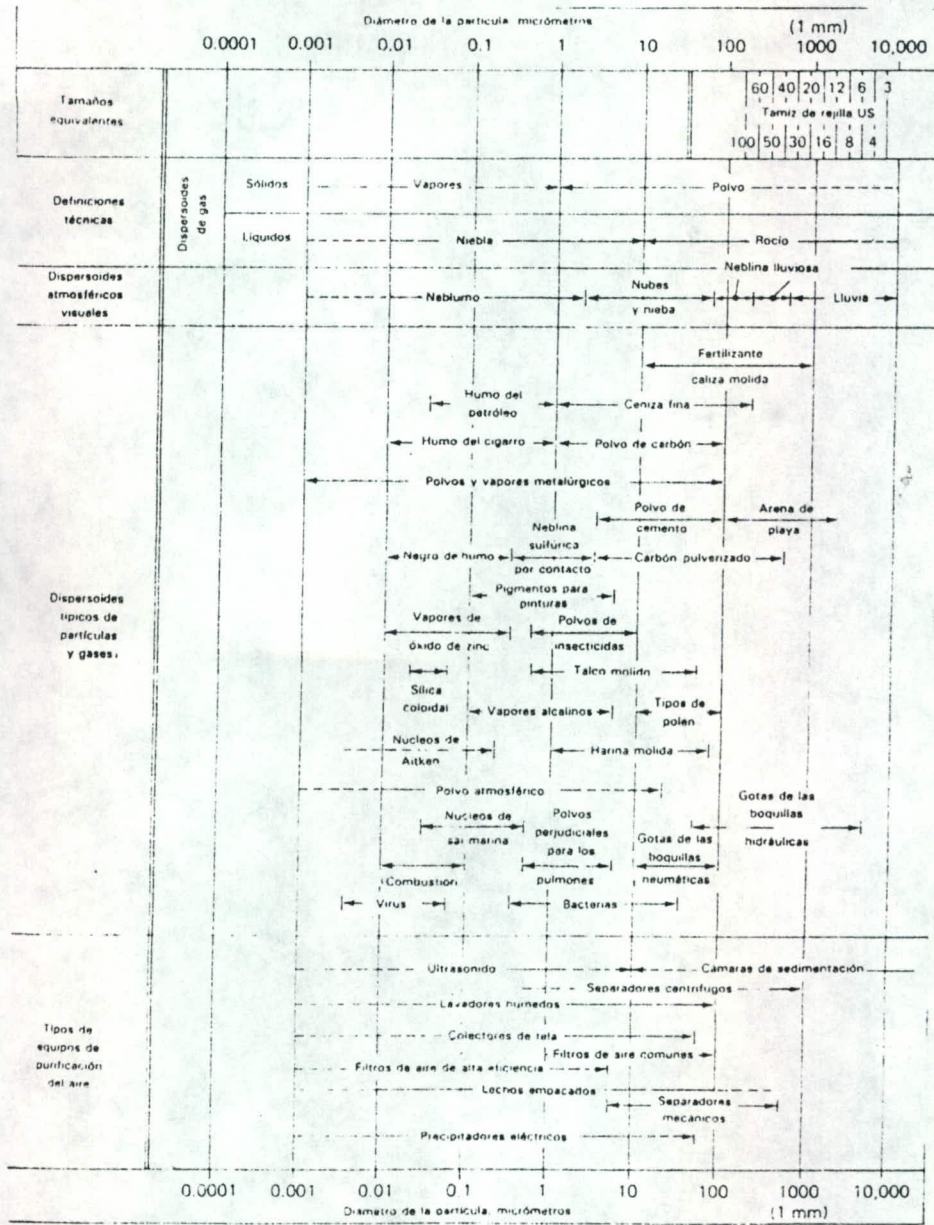


Figura 5.1 Características de las partículas y los dispersoides. (FUENTE: C. E. Lapple. *Stanford Research Institute Journal* 5, 1961.)

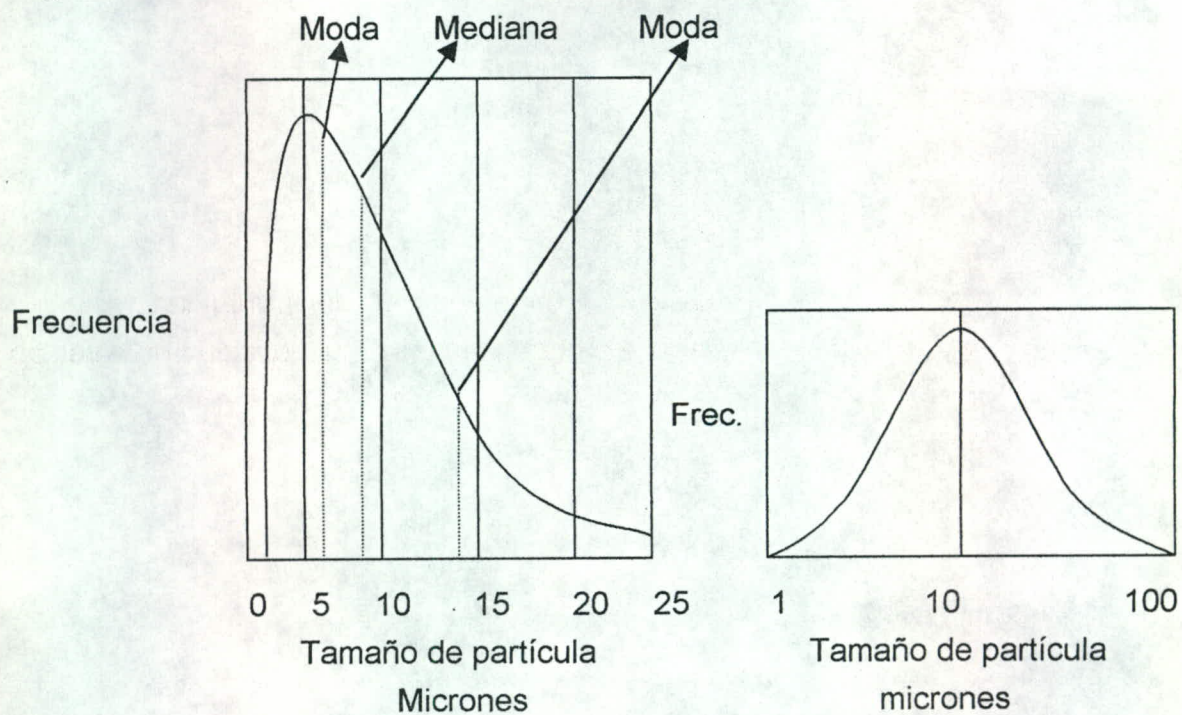
La concentración de partículas se expresa usualmente como la masa total de las partículas en un volumen dado de gas. Las unidades básicas para la concentración de partículas son los μ/m^3 , a pesar de que las unidades de granos por pie cúbico están bien establecidas en la literatura más antigua (7000 gr=1 lb.). Con fines de comparación y conversión:

$$1.0 \text{ gr/pie}^3 = 2.29 \text{ g/m}^3 = 2.29 * 10^6 \mu\text{g/m}^3 \quad (9)$$

2.1 Distribución por tamaños:

La forma y especialmente la distribución del tamaño son parámetros importantes para utilizar técnicas de remoción de partículas. La figura 2.1 muestra la distribución por tamaños, la frecuencia y la probabilidad del tamaño de las partículas.

Figura 2.1



3. FUENTES DE LA MATERIA PARTICULADA

Las dos fuentes principales de contaminación del aire por material particulado son:

1. Fuente antropogénica: Procesos industriales, procesos de combustión.
2. Fuente biológica: Por erosión de suelos y rocas. (3)

En el medio del océano, la concentración de polvo atmosférico es usualmente mucho menor de 1 g/m^3 , a pesar de que en una tormenta de polvo violenta puede llegar a $10^9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. La carga de polvo en los gases industriales varía típicamente de 10^4 a $10^8 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (0.01 a 100 gr/pe^3). (10)

En general, las partículas presentes en la atmósfera en el intervalo de tamaños por debajo de $1 \text{ } \mu\text{m}$, se producen por condensación, mientras que las partículas mayores son el resultado, o bien de la trituración (pulverización) o la combustión. Los procesos de molienda en seco son rara vez eficientes en la producción de partículas menores de pocos micrómetros. La combustión puede producir cuatro tipos diferentes de partículas. Se forman por los modos siguientes:

1. El calor puede vaporizar materiales que se condensan posteriormente, produciendo partículas entre 0.1 y $1 \text{ } \mu\text{m}$.
2. Las reacciones químicas del proceso de la combustión pueden producir partículas de cúmulos moleculares inestables de corta duración por debajo de aproximadamente $0.1 \text{ } \mu\text{m}$.
3. Los procesos mecánicos pueden liberar cenizas o partículas de combustible de $1 \text{ } \mu\text{m}$ o mayores.
4. Si intervienen aspersiones de combustibles líquidos, puede que se escape directamente una ceniza muy fina.
5. La combustión parcial de los combustibles fósiles puede producir hollín. (14)

Las fuentes estacionarias de emisiones de partículas se pueden dividir en clases tales como: domésticas, comerciales, industriales y de producción de energía.

Las principales fuentes industriales de la contaminación por partículas se indican en las tablas 3.1 y 3.2. Las cargas intermitentes de asfalto en la industria

de la construcción constituyen otra gran fuente potencial. Y la gigantesca industria alimentaria genera partículas por medio de procesos tales como la preparación de los suelos, rociado con insecticidas, molienda y secado de granos, y procesamiento de carne y pescado. (8,13)

Tabla 3.1. Resumen y control de los procesos industriales

<i>Industria o proceso</i>	<i>Fuente de las emisiones</i>	<i>Partículas</i>	<i>Método de control</i>
Fábricas de hierro y acero	Altos hornos, hornos para la producción del acero, máquinas de sinterización	Oxido de hierro, polvo, humo	Ciclones, casas de bolsas, precipitadores electrostáticos, colectores húmedos
Fundiciones de hierro gris	Hornos de cubilote, sistemas de vibración, fabricación de núcleos	Oxido de hierro, humo, polvo aceitoso, vapores metálicos	Lavadores, colectores centrífugos secos
Metalurgia no ferrosa	Fundiciones y hornos	Humo, vapores metálicos grasa	Precipitadores electrostáticos, filtros de tela
Refinerías de petróleo	Regeneradores de catalizador incineradores de lodos	Polvo del catalizador, ceniza de los lodos	Ciclones, precipitadores electrostáticos, lavadores, casas de bolsas
Cemento Portland	Hornos, secadores, sistema de manejo de materiales	Polvos de procesos y alcalinos	Filtros de tela, precipitadores electrostáticos, colectores mecánicos
Fábrica de papel Kraft	Hornos de recuperación, hornos de cal, tanques de beneficio	Polvos de origen químico	Precipitadores electrostáticos, lavadores venturi
Manufactura de ácidos— fosfórico, sulfúrico	Procesos térmicos, acidulación de las rocas, molienda	Neblina ácida, polvos	Precipitadores electrostáticos, eliminadores de malla para la neblina
Manufactura de coque	Operación de las estufas, manejo de los materiales a templar	Polvos de carbón y de coque, alquitranes del carbón	Diseño cuidadoso, operación y mantenimiento
Vidrio y fibra de vidrio	Hornos, formación y curado, manejo	Neblina ácida, óxidos alcalinos, polvo, aerosoles	Filtros de tela, incineradores

FUENTE: W. Jost y colaboradores *Z. Phys. Chem. N.F.* 45 (1965): 47.

Tabla 3.2. Factores de emisión para categorías escogidas de fuentes no controladas de partículas.

<i>Fuente de la emisión</i>	<i>Factor de emisión</i>
Combustión del gas natural	
Plantas generadoras de energía	15 lb/millón de pie ³ de gas quemado
Calderas industriales	18 lb/millón de pie ³ de gas quemado
Hornos domésticos y comerciales	19 lb/millón de pie ³ de gas quemado
Combustión del petróleo destilado	
Hornos industriales y comerciales	15 lb/mil gal de combustóleo quemado
Hornos domésticos	8 lb/mil gal de combustóleo quemado
Combustión del aceite residual o combustóleo	
Plantas generadoras de energía	10 lb/mil gal de combustóleo quemado
Hornos industriales y comerciales	23 lb/mil gal de combustóleo quemado
Combustión del carbón	
Hornos ciclónicos	Dos veces el por ciento de ceniza en lb/t de carbón consumido
Otros hornos de carbón pulverizado	De 13-17 veces el por ciento de ceniza en lb/t de carbón consumido
Cargador de distribución	Trece veces el por ciento de ceniza en lb/t de carbón consumido
Otros cargadores	De 2-5 veces el por ciento de ceniza en lb/t de carbón consumido
Incineración	
Municipal, de cámaras múltiples	17 lb/t de desperdicios quemados
Comercial, de cámaras múltiples	3 lb/t de desperdicios quemados
Incinerador alimentado por los gases de la combustión	28 lb/t de desperdicios quemados
Doméstico, encendido por gas	15 lb/t de desperdicios quemados
Combustión al aire libre de los desperdicios	16 lb/t de desperdicios quemados
Vehículos de motor	
Motores movidos con gasolina	12 lb/mil gal de gasolina consumida
Motores diesel	110 lb/mil gal de combustible consumido
Manufactura del cemento	38 lb/barril de cemento producido
Fábricas de pulpa de papel (Kraft)	
Horno de cal	94 lb/t de pulpa seca producida
Hornos de recuperación ^a	150 lb/t de pulpa seca producida
Fabricación de acero	
Hornos de hogar abierto	1.5-20 lb/t de acero producido
Hornos de arco eléctrico	15 lb/t de metal cargado
Fabricación del ácido sulfúrico	0.3-7.5 de neblina ácida/t de ácido producido

FUENTE: Control Techniques for Particulate Air Pollutants. Washington, D.C.: HEW, diciembre de 1968.

^a Con lavador primario de gas de la chimenea.

Se ha dicho acertadamente que la prevención de la contaminación del aire, proveniente de fuentes industriales se inicia dentro de la fábrica o planta. No es necesario tener que depender de dispositivos de limpieza de los gases y de chimeneas altas de descarga a fin de reducir las emisiones y dispersar y diluir las sustancias perjudiciales a concentraciones tolerables a nivel del suelo, cuando el control del proceso y del sistema sea efectivo en evitar la formación y descarga de los contaminantes del aire a través de:

1. Limpieza de los gases.
2. Reubicación de la fuente.
3. Sustitución del combustible.
4. Cambios en el proceso.
5. Práctica operativa buena.
6. Clausura de la fuente.
7. Dispersión. (16)

Antes de establecer métodos adecuados para controlar la contaminación del aire, se deberán encontrar las respuestas pertinentes a las siguientes preguntas:

- El contaminante atmosférico constituye, de hecho, una consecuencia necesaria de la operación?
- Se podrá reducir la tasa de generación de los contaminantes y se podrán evitar fuertes estallidos de descarga?
- Se presta el proceso en sí al control por medio de equipos de ventilación locales para la extracción, como por ejemplo, las campanas de extracción? (12)

3.1 Costos.

Se ha manifestado que una industria puede eliminar cualquier cantidad de partículas si está dispuesta a pagar por la limpieza en la caída de presión, capital de inversión, y costo de operación. Las relaciones entre el control de la emisión o el índice de calidad del aire y el costo o beneficio se puede anticipar que, inicialmente, los beneficios aumentan rápidamente para un incremento

relativamente pequeño del costo. Luego, cuando se desee un mayor control, el costo aumentará fuera de toda proporción. A pesar de que esta relación resulta útil, se considera frecuentemente aún más útil la relación donde el incremento del costo o beneficio por unidad del índice de la calidad del aire, se traza contra el índice de la calidad del aire. Matemáticamente, las curvas de aumento del costo y beneficios son sencillamente gráficas de las pendientes de las curvas. Las curvas de aumento proporcionan una mejor indicación del punto para el que se justifique un índice mejorado de la calidad del aire. En cualquier caso, será necesario llegar a una transacción entre la calidad del aire que desea la sociedad y la carga del costo asociado que la industria indirectamente, y el consumidor o la sociedad directamente pueden costear. Es necesario darse cuenta que, en últimos términos, es la sociedad la que paga el costo de tener aire puro y limpio. (15)

4. EFECTOS DEL MATERIAL PARTICULADO.

Las partículas presentan un riesgo para los pulmones; incrementan las reacciones químicas en la atmósfera; reducen la visibilidad; aumentan la posibilidad de la precipitación, la niebla y las nubes; reducen la radiación solar, con los cambios en la temperatura ambiental y en las tasas biológicas de crecimiento de las plantas; y ensucia las materias del suelo. La magnitud del problema en cada una de las áreas anteriores es una función del rango del tamaño de las partículas presentes en la atmósfera local, la concentración de las partículas y las composiciones química y física de las partículas. Es necesario examinar cada uno de estos factores. (10)

4.1 Visibilidad y características atmosféricas afines

Uno de los efectos más comunes de la contaminación del aire es la reducción de la visibilidad resultante de la absorción y dispersión de materiales líquidos y sólidos arrastrados por el aire. La visibilidad se altera por las partículas que se forman en la atmósfera por las reacciones en la fase gaseosa. aunque no son visibles, el dióxido de azufre, el vapor de agua y el ozono en grandes

cantidades cambian las características de absorción y transmisión de la atmósfera.

La reducción de la visibilidad no sólo resulta desagradable para el individuo, sino que puede sufrir fuertes efectos psicológicos. Además se presentan algunos peligros que afectan a la seguridad.

Según Blanckin, las partículas de polvo con una concentración de 2,000/centímetro cúbico pueden ocultar una montaña a 50 millas, mientras que una concentración de 100,000/centímetro cúbico puede reducir la visibilidad a 1 milla. (13)

4.2 Efectos de las partículas en la atmósfera sobre los materiales, la vegetación y los animales.

Las partículas arrastradas por el aire pueden ser en sí, o químicamente inertes o químicamente activas; podrán ser inertes pero absorber de la atmósfera sustancias químicamente activas; o si no, se pueden combinar para formar especies químicamente activas. Dependiendo de su composición química y estado físico, las partículas causan grandes daños a los materiales. Las partículas ensucian las superficies pintadas, la ropa y las cortinas, con sólo asentarse sobre ellas.

Lo que es más importante, las partículas pueden causar daños químicos directos, ya sea por corrosividad intrínseca o por la acción de sustancias químicas corrosivas adsorbidas o absorbidas, por partículas inertes emitidas a la atmósfera. En general, los metales pueden resistir la corrosión en sólo el aire seco o aún en el aire limpio y húmedo. Sin embargo, las partículas higroscópicas que se encuentran usualmente en la atmósfera pueden corroer las superficies metálicas sin que esté presente contaminante alguno.

Poco es lo que se conoce de los efectos de las partículas en general sobre la vegetación. No obstante, se ha observado que varias sustancias específicas causan algunos daños. Las partículas que contienen fluoruros parecen causar daños en las plantas, y el óxido de magnesio que cae sobre los terrenos agrícolas

ha dado como resultado un insatisfactorio crecimiento de la planta. La salud de un animal puede sufrir cuando este se alimenta de plantas cubiertas por un particulado tóxico. Dichos compuestos pueden ser absorbidos por los tejidos de la planta o pueden permanecer como contaminantes sobre la superficie de las plantas. La fluorosis en los animales ha sido atribuida a ingestión de vegetación cubierta con partículas que contengan fluoruro. El ganado vacuno y bovino que ha ingerido la vegetación sobre la que se han asentado partículas que contienen arsénico han sido víctimas de envenenamiento por arsénico.(9)

4.3. Efectos de las partículas en el aire sobre la salud humana

Las partículas, solas o en combinación con otros contaminantes representan un peligro muy grave para la salud. Los contaminantes entran principalmente al cuerpo humano por las vías respiratorias. Los daños a los órganos respiratorios pueden presentarse directamente, ya que se ha estimado que más del 50% de las partículas entre 0.01 y 0.1 μm que penetran a las cavidades pulmonares se depositarán allí.

Las partículas pueden tener un efecto tóxico de una o más de las tres maneras siguientes:

- La partícula puede ser intrínsecamente tóxica debido a sus características inherentes químicas y/o físicas.
- La partícula puede interferir con uno o más de los mecanismos que despejan usualmente el aparato respiratorio.
- La partícula puede actuar como un conductor a una sustancia tóxica absorbida.

La longitud del tiempo de exposición es importante. Se ha observado en algunos casos que la exposición a las partículas en combinación con otros

contaminantes, como el SO_2 , produce un mayor deterioro de la salud que la exposición separada a cada contaminante.

Los datos indican una relación directa entre los aumentos de la concentración de partículas y los aumentos en el número de visitas a las clínicas y hospitales debido a infecciones respiratorias, afecciones cardíacas, bronquitis, asma, pulmonía, enfisema y otras semejantes. Las defunciones de personas ancianas aquejadas de enfermedades respiratorias y afecciones cardíacas muestran también un aumento durante los períodos en que la concentración de partículas es extremadamente alta durante varios días. Un creciente volumen de evidencia indica que gran parte de las partículas en la atmósfera es de naturaleza carcinogénica, especialmente cuando se asocia con el tabaquismo.

En la tabla 4.1 se presentan los efectos toxicológicos por la inhalación de los partículas (polvos). (8)

Tabla 4.1 Efectos por inhalación de polvos.(8)

	Límite de exposición (mg/mg ³ de aire respirable)	Datos clínicos	Rayos X	Pronóstico†
Alcalis de aluminio	2	Irritación		
Asfalto (vapores de petróleo)	5	Ninguno	Sin cambio	No hay enfermedad
Barita (sulfato de bario)		Ninguno	Nódulos pulmonares	No progresivo
Carburo de silicón	10	Fibrosis pulmonar	Fibrosis	No progresivo
Cenizas de la pirólisis del aluminio	5	Los mismos de arriba	Fibrosis	Progresivo
Dióxido de titanio	10	Irritación pulmonar	Sin cambio	Sin cambio
Emisiones de horno de coque	0.15	Cáncer del pulmón y del riñón		
Fibra de lana mineral	10	Ninguno	Sin cambio	Sin cambio
Fibra de vidrio		Irritación de la piel, sin complicación pulmonar	Sin cambio	No hay enfermedad
Grafito	5	Disnea, tos, hipertrofia ventricular	Nodulación	Progresivo
Humos de soldadura de aluminio	5	Irritación		
Mica, esteatita	3 20‡	Similar a la silicosis (ver pág. 245)	Fibrosis, calcificación pleural	Progresivo
Negro de carbón	3.5	Posible cáncer pulmonar		
Niebla de petróleo	5	Neumonía lipídica	Infiltración difusa	

Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃), esmeril, bauxita	10	Irritación débil de la piel y las mucosas	Sin cambio	No progresivo
Oxido de estaño	2	Asintomático	Punteado acentuado	No progresivo
Oxido de hierro	5	Asintomático	Desde punteado hasta numerosas sombras redondas pequeñas	No progresivo
Partes volátiles del negro de pez de alquitrán de hulla	0.2	Fotosensibilización e irritación, cáncer pulmonar		
Perlita	30 [‡]	Ninguno	Sin cambio	Sin cambio
Polvos de algodón	0.2	Disnea progresiva, enfisema, debilidad (bisinosis)	Enfisema	No progresivo en las primeras etapas
Polvos de aluminio	10	Enfisema intersticial, fibrosis no nodular	Fibrosis	Progresivo
Polvos, basuras	10	Irritación	Sin cambio	Sin cambio
Polvo de caña de azúcar		Tos, disnea, hemoptisis, escalofríos y fiebre, debilidad, pérdida de peso	Moteado miliar	No progresivo después de la etapa aguda. La cortisona es útil cuando hay complicación grave
Polvos de carbón	2	Progresión gradual de insuficiencia respiratoria	Nodulación o "reticulación"	No progresivo en las etapas iniciales
Polvos de madera				
Dura	1	Conjuntivitis, lagrimeo, queratitis, e irritación de las vías respiratorias superiores	Sin cambio	No progresivo
Suave	5			
Talco	6 20 [‡]	Similar a la silicosis (ver pág. 245). La inhalación masiva en niños puede causar bronquitis aguda y bronquitis con obliteración de los pequeños bronquios e insuficiencia cardiopulmonar	Fibrosis fina, calcificación del pericardio	Progresivo

* Ninguno de estos polvos son tóxicos cuando son ingeridos.

† Después del retiro de la exposición.

‡ Millón de partículas/0.0283 m³.

En la siguiente tabla se presenta una cantidad limitada de datos sobre la relación entre la concentración de partículas y algunos otros efectos producidos.(8)

Tabla 4.2. Efectos observados de las partículas

Concentración	Tiempo de medición	Efectos
60-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media geométrica anual con SO_2 y humedad	Aceleración en la corrosión de las láminas de acero y zinc.
75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media anual	Norma de calidad del aire ambiente
150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Humedad relativa menor del 70%	Visibilidad reducida a 5 millas
100-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Luz solar directa reducida en 1/3
80-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Con niveles de sulfatación de 30 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$	Puede ocurrir un aumento en la tasa de mortalidad de personas mayores de 50 años.
100-130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Con $\text{SO}_2 > 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Es posible que los niños experimenten un aumento en la incidencia de las enfermedades respiratorias.
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de 24 h y $\text{SO}_2 > 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$	La morbilidad de los obreros industriales puede ser causa de un aumento en el ausentismo.
260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo una vez en cada 24 h	Norma de calidad del aire ambiente.
300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo de 24 h y $\text{SO}_2 > 630 \mu\text{g}/\text{m}^3$	En los pacientes con bronquitis crónica puede que se presente empeoramiento agudo de los síntomas.
750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de 24 h y $\text{SO}_2 > 715 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Puede ocurrir un excesivo de muertes y un considerable aumento en las enfermedades

Fuente: Compendio de datos presentado en Air Quality for Particulate Matter. de la National Air Pollution Control Administration, AP-49, Washington, DC: 1969

5. COLECCION DE PARTICULAS.

En la tabla 5.1 se presentan varios dispositivos para la colección de partículas: (16)

Tabla 5.1 Equipos colectores mecánicos.

Tipo de colector	Requerimientos de espacio	Rango volumétrico (pie ³ /min)	Eficiencia en peso	Caída de presión ^a (pulg H ₂ O)	Limitaciones de temperatura	Energía ^b (hp por 1,000 pie ³ /min de gas)
Cámaras de sedimentación	Grandes	La única limitación es el espacio disponible	Buena por encima de 50 μm	0.2-0.5	700-1,000°F. Limitada solamente por los materiales de construcción	0.04-0.12
Ciclón convencional	Grandes	Rango normal hasta 50,000 pie ³ /min	Aprox. 50% con 20 μm	1-3	700-1,000°F. Limitada solamente por los materiales de construcción	0.24-0.73
Ciclón de alta eficiencia	Medias	Rango normal hasta 12,000 pie ³ /min	Aprox. 80% con 10 μm	3-5	700-1,000°F. Limitada solamente por los materiales de construcción	0.73-1.2
Ciclones de tubos múltiples	Pequeñas	Rango normal hasta 100,000 pie ³ /min	90% con 7 1/2 μm	4.5	700-1,000°F	1.1
Precipitador dinámico	Pequeñas	17,000 pie ³ /min	80% con 15 μm	Sin pérdida (verdadero ventilador)	700°F	El consumo de energía dependerá del punto seleccionado, la eficiencia mecánica está dentro del rango convencional, 40-50%
Separador por impacto	Pequeñas	La única limitación es el espacio disponible	90% con 10 μm	1-5	700°F	0.24-1.20

FUENTE: American Industrial Hygiene Association. *Air Pollution. Manual*, Part II, "Control Equipment, 1963(6)".

^aLa caída de presión basada en condiciones normales.

^bEl consumo de energía se calculó de $hp = \text{pie}^3/\text{min} \times \text{t.p.}/6356 \times \text{E.M.}$ (la eficiencia mecánica se supuso un 65 por ciento).

En general, la eficiencia de colección del material particulado va a depender de que se conozca:

1. La distribución en masa o peso entre el tamaño de las partículas de polvo considerado y ,
2. La eficiencia de colección como una función del diámetro de la partícula.

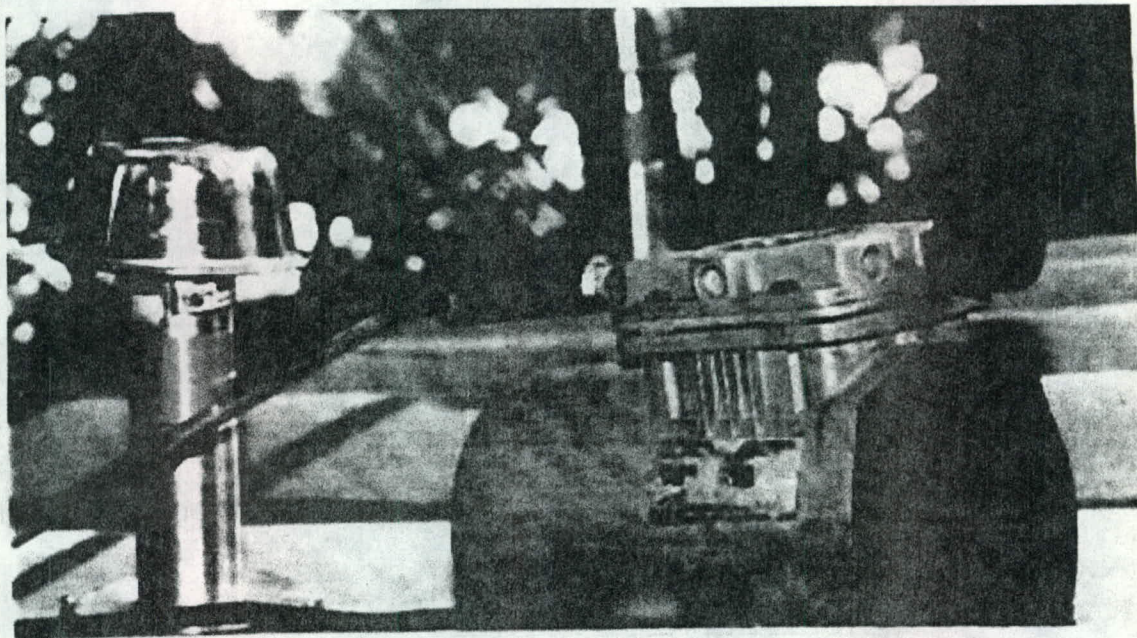
Es característica general de los colectores de polvo que la eficiencia fraccionaria de colección aumente con el aumento del tamaño de partícula. Además, la eficiencia fraccionaria de colección podrá ser una función del tipo de polvo. Esta última variable se debe a las diferentes características físicas de las partículas, como son la forma física o la densidad. (18)

El fundamento básico de los instrumentos para muestreo de concentraciones de partículas en el aire es común entre todos los dispositivos y además se utiliza la gravimetría para realizar las mediciones. Los pasos principales durante el muestreo son los siguientes:

1. El aire es succionado por una bomba,
2. Se determina la masa de partículas,
3. Se calcula el volumen de aire succionado por el muestreador.

Dependiendo de la operación de muestreo los instrumentos pueden variar en la tasa de flujo de aire, tamaños de los filtros y el orificio de entrada. (17)

6. IMPACTADOR PM₁₀



7. HOJA DE CONTROL

Estación No. _____ Fecha: _____ Presión Promedio _____ mmHg Temperatura _____ °C
 Responsable: _____

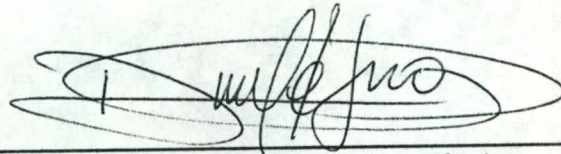
PARAMETROS A MEDIR

VARIABLE	TPS INICIAL	TPS FINAL	DIFERENCIA	PM10 INICIAL	PM10 FINAL	DIFERENCIA
Masa Filtro Trabajo						
Masa Filtro Patrón						
Tiempo						
hora						
Flujo						

VARIABLE	TPS	PM10
Flujo Promedio		
Qa Calculada		
T total en minutos		
Volumen total (m ³)		
Masa Filtro Trabajo (MT-MP)		
Concentración (ug/m ³)		

CONDICIONES AMBIENTALES

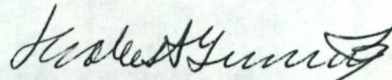
CONDICION	BASTANTE	POCO	NADA
SOLEADO			
LLUVIOSO			
SECO			
NIEBLA			
CONSTRUCCION			
TRANSPORTE			
INCENDIO			
FUENTES NATURALES			
OTROS			



David Estuardo Serrano Hernández
Autor



Lic. Luis Fernando Girón Rodas
Asesor



Lic. Estuardo Serrano Vives
Director de Escuela



Licda. Hada Marieta Alvarado Beteta
Decana