

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

**MARTHA REGINA SUÁREZ RÍMOLA**  
**DETERMINACIÓN CUALITATIVA DE LA RELACIÓN QUE EXISTE**  
**ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE LAS PARTÍCULAS TOTALES EN**  
**SUSPENSIÓN EN SU FRACCIÓN RESPIRABLE PM<sub>10</sub> Y LA FUNCIÓN**  
**RESPIRATORIA DE PERSONAS EXPUESTAS EN DOS PUNTOS DE**  
**MUESTREO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**QUÍMICA FARMACÉUTICA**

Guatemala, marzo 2004

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

DETERMINACIÓN CUALITATIVA DE LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE LA  
CONCENTRACIÓN DE LAS PARTÍCULAS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN SU  
FRACCIÓN RESPIRABLE PM<sub>10</sub> Y LA FUNCIÓN RESPIRATORIA DE  
PERSONAS EXPUESTAS EN DOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA CIUDAD  
DE GUATEMALA

Informe Final de Tesis

Presentado por:

**MARTHA REGINA SUÁREZ RÍMOLA**

Para optar al título de:

**Química Farmacéutica**

Guatemala, marzo 2004

## ÍNDICE

1.	Resumen	4
2.	Introducción	6
3.	Antecedentes	8
3.1	Tipos de contaminación atmosférica	9
3.2	Partículas totales en suspensión en su fracción respirable PM <sub>10</sub>	12
3.1.1	Fuentes naturales de PM <sub>10</sub>	18
3.1.2	Fuentes domésticas de PM <sub>10</sub>	19
3.1.3	Fuentes agrícolas de PM <sub>10</sub>	19
3.1.4	Fuentes industriales de PM <sub>10</sub>	20
3.1.5	Fuentes móviles de PM <sub>10</sub>	20
3.3	Limpieza natural de la atmósfera	20
3.4	Control de la emisión de partículas	21
3.5	Mecanismos de defensa del aparato respiratorio	21
3.6	Fisiología de la respiración	23
3.7	Capacidad y volúmenes pulmonares	24
3.7.1	Volúmenes pulmonares	24
3.7.2	Capacidades pulmonares	25
3.8	Antecedentes en Guatemala	26
4	Justificación	28
5.	Objetivos	29
6.	Hipótesis	30
7.	Materiales y métodos	31
8.	Resultados	37
9.	Discusión de resultados	40
10.	Conclusiones	43
11.	Recomendaciones	45

12.	Referencias	46
13.	Anexos	49

## 1. RESUMEN

En este estudio se determinó la relación entre las partículas totales en suspensión en su fracción respirable  $PM_{10}$  y la función respiratoria de las personas expuestas en dos puntos de muestreo en la ciudad de Guatemala, para ratificar la importancia de disminuir los niveles de contaminación en la misma, ya que actualmente pueden representar un riesgo en la salud de las personas.

El estudio se llevó a cabo en dos puntos de muestreo seleccionados para la ciudad de Guatemala, en un lugar de alto impacto, respecto a la cantidad de emisiones de  $PM_{10}$  (Calzada Aguilar Batres) y en uno de bajo impacto (Universidad de San Carlos de Guatemala); para ello se utilizó una muestra de 40 personas divididas en dos grupos. 20 personas (10 hombres y 10 mujeres) en el lugar de alto impacto y 20 personas (10 hombres y 10 mujeres) en el lugar de bajo impacto, el tiempo de muestreo fue de cinco meses. Para la medición de  $PM_{10}$  se utilizó el método de referencia de la EPA. Para medir la capacidad inspiratoria se utilizó un aparato Voldyne. Para la medición de la espiración se utilizó un medidor del pico de flujo. La medición de inspiración y espiración se repitió tres veces para cada prueba y se tomó el dato más alto para cada uno.

Las variables de interés que se tomaron en cuenta fueron; edad, sexo, ausencia de enfermedad respiratoria, no fumadores y que las personas del estudio permanezcan ocho horas en el lugar donde se realiza el estudio.

En este estudio se puede observar una influencia meteorológica, la cantidad de partículas  $PM_{10}$  van disminuyendo durante la época lluviosa, lo cual hace que mejore la función respiratoria de las personas y aumentan en la época seca.

Para la obtención de los resultados se utilizó el método de correlación. En ningún caso el "r" fue significativo, pero en las zonas de alto impacto se demuestra una relación inversa para hombres y mujeres y con ello se demostró que a las personas en el área de alto impacto ya se les ha comenzado a afectar su función respiratoria si se les compara con las personas en el área de bajo impacto. Por lo tanto, se determinó que efectivamente la cantidad de partículas PM<sub>10</sub> en el ambiente afectan la función respiratoria de las personas en estudio.

## 2. INTRODUCCIÓN

El material particulado, (partículas totales en suspensión en su fracción respirable  $PM_{10}$ ), cuyo diámetro es menor a 10 micras, son una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas de origen natural o antropogénico que incluye sólidos y líquidos. Los efectos principales en la salud que son causa de preocupación incluyen los manifestados en la respiración y el sistema respiratorio, el agravamiento de afecciones respiratorias y cardiovasculares ya existentes, la alteración de los sistemas de defensa del organismo contra materiales extraños, daños al tejido pulmonar, carcinogénesis y mortalidad prematura. Las partículas pueden causar afecciones crónicas obstructivas, influenza o asma, siendo los más sensibles ancianos y niños. Las  $PM_{10}$  penetran hasta el espacio alveolar y allí, ya sean ellas, o los agentes xenobióticos que transportan, empiezan a actuar. Las partículas que entran al cuerpo por el sistema respiratorio pueden afectar también al sistema gastrointestinal cuando son deglutidas como un mecanismo de defensa del organismo.

Las fuentes naturales de  $PM_{10}$  son muy abundantes: erupciones volcánicas, incendios forestales, erosión de rocas y suelos, etc. Se localizan mayormente cerca de las fuentes de contaminación, estas partículas en la atmósfera reducen la visibilidad y son sucias desde el punto de vista estético.

El disminución del estándar de material particulado total en suspensión, se dio como respuesta al mayor reconocimiento de que las partículas menores de 10 micras son un mejor indicador de los efectos potenciales de la contaminación del aire con materia particulada en la salud. Por ejemplo, las partículas de humo de los cigarrillos se depositan en los alveolos.

Las  $PM_{10}$  son especialmente dañinas porque absorben y adsorben gases que causan una irritación local más intensa, pueden arrastrar a los pulmones sustancias como ácidos, gases tóxicos y materiales radiactivos. Uno de los

principales problemas para la salud pública son las partículas que contienen materiales tóxicos como berilio y asbesto.

El efecto tóxico producido por las partículas respirables en el aparato respiratorio se refiere a dos tipos de acciones, una directa, pues bloquean mecanismos de defensa como la limpieza mucociliar y localmente, ya que como se mencionó anteriormente, adsorben agentes xenobióticos en su superficie y los transportan al pulmón. Un ejemplo de este último mecanismo es la intoxicación por plomo resultante de la inhalación de aerosoles que contenga este metal. La entrada al aparato respiratorio está influenciada por el mecanismo de la difusión, esto depende del movimiento browniano.

Se ha demostrado que el mecanismo de limpieza mucociliar tarda menos tiempo en realizar sus funciones entre más arriba del aparato respiratorio se depositan las partículas. La extracción de sustancias tóxicas a partir de partículas es un mecanismo sumamente eficiente del pulmón. El aparato respiratorio constituye la mayor puerta de entrada al flujo sanguíneo de los elementos tóxicos presentes en el material particulado.

En este trabajo de investigación se medirá cualitativamente si las  $PM_{10}$  están afectando la función respiratoria de las personas en el estudio. La medición de la función respiratoria se llevará a cabo con dos diferentes tipos de aparatos; el Peak flow, (el cual mide la espiración) y un inspirómetro Voldyne. Estos resultados se compararán con las mediciones de  $PM_{10}$  hechas con el Laboratorio de Monitoreo del Aire. Con estos datos se analizará si hay una ligera relación entre  $PM_{10}$  y el deterioro de la función respiratoria. En este estudio participarán 40 personas distribuidas en dos grupos. Un grupo estará en la Calzada Aguilar Batres (lugar de alto impacto) y el otro grupo en la Universidad de San Carlos de Guatemala (lugar de bajo impacto). El estudio se llevará a cabo durante cinco meses y una vez al mes se medirá la función respiratoria de cada participante.



## 8. ANTECEDENTES

La contaminación ambiental es uno de los principales problemas de la sociedad contemporánea. El desarrollo tecnológico, el crecimiento demográfico, la industrialización y el uso de nuevos métodos de agricultura tecnificada son algunos de los factores que contribuyen a que se libere al ambiente de forma continua cantidades cada vez mayores de un gran número de sustancias químicas, sintéticas y naturales cuyas interacciones y efectos adversos, tanto sobre el mismo ambientes como sobre los seres vivos, no se conocen adecuadamente (1).

La contaminación del aire es causada por sustancias que, cuando están presentes en la atmósfera, afectan de manera adversa la salud de humanos, animales, plantas o vida microbiana; dichas sustancias dañan materiales o interfieren con el disfrute de la vida (2).

Durante el período de 1550-1640 el precio de la madera se elevó considerablemente en Inglaterra de manera que la deforestación se incrementó también, dejando grandes áreas devastadas. Fue el momento que se inició la búsqueda de nuevos recursos energéticos. Así se empezó a sustituir la madera por carbón . Este fue el inicio de la Era de los Combustibles Fósiles los cuales son los principales responsables de la contaminación atmosférica en los últimos dos siglos (1).

La contaminación atmosférica se refiere al hecho de alterar la composición natural del aire con elementos, sustancias o materiales extraños. Las sustancia contaminantes del aire son gases como bióxido de carbono, bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono, diversos metales pesados, algunos hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, pesticidas, isótopos

radiactivos y material particulado (partículas de humo, aerosoles de plomo, asbesto, etc) siendo este último el contaminante en estudio (1).

Las partículas son producidas en forma directa por el hombre como resultado de sus actividades en la agricultura, industria y de manera indirecta como las reacciones atmosféricas de las emisiones antropogénicas. El total de partículas liberadas a partir de las actividades humanas es del 10% aproximadamente con relación a la cantidad generada por fuentes naturales. Estas partículas se concentran en las regiones industriales y urbanas que tienen alta densidad de población, con el consecuente impacto en la salud (1).

A pesar de todo la atmósfera tiene cuatro mecanismos para la eliminación de contaminantes. Estos son:

1. La sustancia se destruye por su conversión en otra distinta.
2. Un contaminante puede ser diluido al mezclarse el aire que los contiene con otro no contaminante.
3. Desplazándolo por medio de corrientes de aire a otros sitios.
4. La lluvia ejerce un efecto de lavado de la atmósfera que es muy importante, pues reduce considerablemente los niveles de contaminantes, especialmente de partículas (1).

### 3.1 Tipos de contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica por el sitio en donde se produce puede dividirse en contaminación extramuros e intramuros. Las principales fuentes de contaminación extramuros son fábricas, plantas químicas, refinerías de petróleo, fundición de metales y estaciones de energía eléctrica, además de agentes biológicos (bacterias, virus, protozoarios, polen, esporas, etc), químicas (combustibles, gases, partículas suspendidas, hidrocarburos y metales pesados) y físicos (ruido, contaminación térmica, radiactiva, etc). Sin embargo éstas contribuyen sólo con una tercera parte de la masa total de contaminantes (calculado

con respecto a todos los contaminantes diferentes de CO<sub>2</sub>). El transporte en los países desarrollados contribuye con cerca del 45% de emisiones; además, los sistemas de aire acondicionado y calefacción también efectúan una contribución significativa. La incineración de desperdicios adiciona otro 5% a la carga contaminante total (1).

Se consideran actividades humanas que contribuyan a la contaminación las actividades productivas (explotación de recursos renovables y no renovables, agricultura, industria), actividades no productivas (transporte, actividades domésticas, servicios), alteraciones en los patrones culturales (economía de consumo, tabaquismo, alcoholismo, drogadicción) (1).

Los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre el hombre y el ambiente pueden ser directos o indirectos. Los indirectos surgen como resultado de cambios en las propiedades físicas del sistema atmosférico; los efectos directos son consecuencia de la interacción entre un contaminante y un receptor y pueden ser inmediatos si la concentración de contaminante es bastante elevada (efectos agudos) o se pueden desarrollar durante un período largo como resultado de la exposición continua a niveles de contaminación más elevados que los permisibles (efectos crónicos) (1).

Contaminación química intramuros es la que se da en los sitios de residencia provenientes tanto del exterior como del interior del lugar y se pueden clasificar como combustión (de gases, vapores, partículas orgánicas, etc) combustión de tabaco, limpiadores y solventes, materiales de construcción, productos para el cuidado personal, equipo eléctrico, tapices, alfombras, muebles, insecticidas y agentes biológicos (polen, bacterias, virus, hongos, parásitos, caspa de mascotas, excretas de artrópodos) (1).

La exposición humana a los contaminantes atmosféricos de origen vehicular en grandes ciudades de los países en vías de desarrollo como nuestro país, parece ser aún mayor que aquella observada en grandes ciudades de los Estados Unidos durante los años 60, antes de la introducción del control de emisiones vehiculares automotores (es decir menor automóviles por 1000 habitantes). Es posible que cada vehículo emita más contaminantes por kilómetro, que los vehículos de los países desarrollados debido a la falta de medida de control o medidas poco rigurosas, y/o el uso de combustibles de más baja calidad. Más aún los índices del volumen de vehículos están creciendo, particularmente en Asia y América Latina. Finalmente las grandes ciudades de los países en vías de desarrollo tienen porcentajes mucho mayores de fuerza laboral informal en las calles, que las ciudades de los países desarrollados. Por lo tanto, los niveles actuales de la exposición humana a los contaminantes atmosféricos de origen vehicular pueden ser mayores en los países en vías de desarrollo (3).

Los estudios efectuados en los países desarrollados han demostrado que los monitores del aire fijos caracterizan de manera adecuada la exposición de la población general a la contaminación atmosférica. Sin embargo, estudios especiales muestran que estos monitores subestiman de manera significativa la exposición de importantes segmentos de la población, que se ubican en la proximidad de las emisiones vehiculares (3).

En estudios de exposición realizados en México y Manila, las evidencias muestran que los choferes, pasajeros y grupos de personas que se encuentran en vía pública, están expuestos a niveles extremadamente altos de monóxido de carbono, plomo y partículas (3).

### 3.2 Partículas totales en suspensión en su fracción respirable PM<sub>10</sub>

En 1926 el Public Health Service (Servicio de Salud Pública) de Estados Unidos, hizo observaciones de carga de partículas de siete ciudades importantes (Búfalo, Nueva Orleans, Baltimore, Detroit, Los Ángeles, San Francisco y Washington). Se identificó a éstas como ciudades de clase 1 con una precipitación de 3,600  $\mu\text{g}$  de partículas por metro cúbico de aire. En 1971 la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA estableció el estándar primario de calidad del aire para la materia particulada total en suspensión de 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como medida geométrica anual que no deba ser excedida y una concentración en 24 horas de 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que no debe excederse más de una vez por año. El 1 de julio de 1987 se fijaron nuevos estándares utilizando un nuevo indicador, de PM<sub>10</sub>, para este material particulado especifican una media aritmética anual no mayor de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas y no más de una vez por año una concentración de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas. La instrumentación que se utilizó en el estudio de 1926 era muy diferente a la que se utiliza en la actualidad de modo que las observaciones de calidad no son comparables de manera directa, pero vale la pena destacar la reducción en la carga de partículas (2).

Las PM<sub>10</sub> es todo aquel material particulado cuyo diámetro es menor a 10 micras, se localizan mayormente cerca de las fuentes de contaminación. Son una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas de origen natural o antropogénico. Las fuentes naturales de PM<sub>10</sub> son muy abundantes: erupciones volcánicas, incendios forestales, erosión de rocas y suelos, etc. Sin embargo en áreas urbanas la fuente primaria es la quema de combustibles fósil tanto en vehículos y procesos industriales como con fines de calentamiento y cocina. Por lo regular se conforman por polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen. Uno de los efectos locales más evidentes de las partículas en la atmósfera es una

reducción de la visibilidad. Un ejemplo de un costo oculto de la contaminación del aire es la reducible visibilidad hace más lento el tráfico aéreo y crea la necesidad de sistemas de aterrizaje guiados por instrumentos (1,2,4,6).

El comportamiento de las partículas, tanto en la atmósfera como en el aparato respiratorio, depende de sus propiedades físicas y químicas; el tamaño es la característica más importante para determinar su toxicidad, se expresa como el diámetro aerodinámico que es el diámetro de una esfera hipotética de densidad unitaria que tiene la misma velocidad terminal de sedimentación de la partícula en el aire, independientemente de su tamaño geométrico, forma y densidad real. Las  $PM_{10}$  penetran hasta el espacio alveolar y allí, ya sean ellas, o los agentes xenobióticos que transportan, empiezan a actuar. A nivel alveolar la eficiencia de absorción para la mayoría de los elementos traza es de 50-80%. Cuando se respira por la boca, se incrementa la proporción del depósito traqueobronquial y pulmonar (1,3).

El cambio de un estándar de materia particulada total en suspensión a un estándar  $PM_{10}$  en EEUU en 1987 se dio como respuesta al mayor reconocimiento de que las partículas menores a  $10\mu m$  son un mejor indicador de los efectos potenciales de la contaminación del aire con materia particulada en la salud. Por ejemplo, las partículas de humo de cigarrillos miden menos de  $1\mu m$ , entran y se depositan en los alvéolos (2).

Las partículas representan una fracción mínima de las emisiones vehiculares, pero no por ello deja de ser uno de los contaminantes más importantes por lo anteriormente mencionado. Sin embargo junto con el bióxido de azufre ejercen un efecto sinérgico con otros contaminantes emitidos por los automotores. Las variaciones en los valores de 24 horas promedio de bióxido de azufre y partículas suspendidas se han asociado

con un aumento en la mortalidad, morbilidad y disminución en la función respiratoria (3).

En un evento donde se registra que se elevaron los niveles de humo y bióxido de azufre por encima de los  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  los individuos principalmente afectados fueron aquellos con enfermedades cardiovasculares y pulmonares subyacentes, así como los ancianos y niños menores a cinco años (3).

Los efectos de la exposición a emisiones de los motores diesel sobre el aparato respiratorio han sido revisados por Calabrese y cols. (1981). Se ha observado disminución en las funciones pulmonares en trabajadores expuestos a humos de motores diesel. Sin embargo los decrementos fueron reversibles después de algunos días de exposición. Hay resultados opuestos sobre los posibles efectos pulmonares de la exposición ocupacional crónica a las emisiones de motores diesel. Algunos estudios han demostrado decrementos en las funciones respiratorias y un aumento en la prevalencia de los síntomas respiratorios. Puede existir un decremento de la función pulmonar en niños con concentraciones de  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  (3).

Estudios han demostrado que metales pesados potencialmente tóxicos como el plomo (Pb), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu) y níquel (Ni) predominan en la fracción respirable de aerosoles urbanos, así como en partículas muy pequeñas emitidas por fuentes de combustible a altas temperaturas como las producidas por los automóviles. Estos producen que se volatilicen los metales y luego que se recondensan en la superficie de este tipo de partículas, que es el sitio de contacto con los tejidos corporales. Es importante mencionar que al disminuir el tamaño de la partícula se incrementa su superficie relativa por unidad de masa, de

manera que la concentración de metales y elementos xenobióticos es mayor en las partículas más pequeñas (1).

La mayor parte del plomo en la atmósfera se encuentra entre las partículas finas  $PM_{10}$ . La tasa de retención entre los adultos de partículas oscila de 20 a 60%. Los niños de corta edad proporcionalmente inhalan mayores volúmenes, tienen una tasa de depósito hasta de 2.7 veces más que los adultos. Los compuestos de Pb Orgánico son volátiles y liposolubles, se incorporan principalmente por vía aérea. La anemia es el resultado común de la intoxicación crónica por Pb, además de encefalopatías, problemas hepáticos, problemas gastrointestinales (cólicos), aumento de la presión arterial, entre otros problemas de salud. Es por esto que se ha disminuido el uso de gasolinas con Pb (3).

Ciertas partículas son especialmente dañinas porque absorben o adsorben gases que causan una irritación local más intensa. Estas partículas pequeñas del aire  $PM_{10}$  pueden causar bronquitis, afectar la respiración, aumentar la susceptibilidad al asma y al resfrío común. Las partículas que entran al cuerpo por el sistema respiratorio pueden afectar el sistema gastrointestinal, como se informó en el incidente de Conora. Ciertas sustancias químicas, como el Pb, entran en el torrente sanguíneo ya sea desde el sistema digestivo (por ingestión) o atravesando las membranas pulmonares (sistema respiratorio). Además las  $PM_{10}$  pueden arrastrar a los pulmones sustancias como ácidos, gases tóxicos y materiales radiactivos. Uno de los principales problemas para la salud pública lo constituyen las partículas que contienen materiales tóxicos como berilio y asbesto (2, 5, 6).

El efecto tóxico producido por las partículas respirables en el aparato respiratorio se refiere a dos tipos de acciones: por un lado una directa, pues bloquean mecanismos de defensa como la limpieza mucociliar (el



hecho de que los macrófagos las engloban les disminuyen sus capacidades de defensa) y localmente, pues como se mencionó anteriormente, adsorben agentes xenobióticos en su superficie y los transportan al pulmón. Un ejemplo de este último mecanismo es la intoxicación por plomo resultante de la inhalación de aerosoles que contenga este metal, que pasa a través de  $70\text{m}^2$  de delgadas membranas alveolares a la sangre (1).

La entrada al aparato respiratorio está influenciada por el mecanismo de difusión, esto depende del movimiento browniano. Las partículas depositadas a nivel alveolar pueden permanecer semanas y hasta años en íntimo contacto con esta parte del aparato respiratorio (1).

Se ha demostrado que los mecanismos de limpieza mucociliar tardan menos tiempo en realizar sus funciones, entre más arriba del aparato respiratorio se depositan las partículas (1).

La extracción de sustancias tóxicas a partir de partículas es un mecanismo sumamente eficiente del pulmón. El aparato respiratorio constituye la mayor puerta de entrada al flujo sanguíneo para los elementos tóxicos presentes en el material particulado (1).

Estudios toxicológicos experimentales han demostrado que a medida que se incrementa la concentración de partículas en suspensión a la que se expone a animales, decrecen los mecanismos de limpieza pulmonar, hasta que llega el momento en que pueden detenerse completamente (1).

Una gran cantidad de estudios han demostrado la asociación entre enfermedades respiratorias y contaminación por partículas en suspensión a la que se expone a animales, decrecen los mecanismos de limpieza

pulmonar, hasta que llega el momento en que pueden detenerse completamente (1).

Una gran cantidad de estudios han demostrado la asociación entre enfermedades respiratorias y contaminación por partículas en suspensión en la atmósfera. Observaciones recientes muestran que aún a bajas concentraciones pueden reducir la función pulmonar en los niños e incrementan el riesgo de bronquitis y otras enfermedades respiratorias (1).

Sintomatología como tos crónica, bronquitis y otras enfermedades pulmonares podrían estar asociadas al incremento en los niveles de partículas suspendidas. Los efectos dependen de las concentraciones del contaminante y del tiempo de exposición (1, 2).

Estudios epidemiológicos realizados en residentes de algunos valles de Estados Unidos que tienen elevada contaminación por partículas suspendidas, debido a fundidoras de acero y en los que se rebasan los límites permisibles muchos días al año, han demostrado que existe una fuerte asociación entre admisiones hospitalarias por problemas respiratorios, exacerbaciones de síntomas respiratorios y elevados índices de contaminación por  $PM_{10}$ , así como entre cáncer pulmonar, fallecimientos por enfermedades respiratorias no malignas y contaminación atmosférica (1).

Dentro de las partículas de origen biológico se encuentran las esporas de hongos cuyo efecto es producir alergias a nivel del aparato respiratorio(1).

Las partículas que contienen sustancias químicas conductoras se depositan en el material aislante de los postes producen fugas de corriente eléctrica de alto voltaje (2).

Las emisiones de  $PM_{10}$  en EEUU del aire en 1991 ( $10^5$  toneladas métricas/año) fueron transporte 1.51, quema de combustible 1.10, procesos industriales 1.84, eliminación de residuos sólidos 0.26, diversos 0.73. Total 5.45 (7).

### 3.2.1 Fuentes naturales de $PM_{10}$

El análisis de muestras de polvo (ceniza), tomadas a una altura de hasta 650 Km. En la dirección del viento respecto al monte de Santa Helena, mostró que la ceniza contenía del 60 al 70% de dióxido de silicio y del 16 al 18% de óxidos de aluminio. La composición química y la distribución de tamaño de partícula de la ceniza variaba con la distancia respecto a la fuente, lo cual indica que ciertas sustancias químicas se concentran en intervalos de tamaño de partículas específicos. Esto sucede porque determinados elementos, como el plomo, zinc y arsénico, tienen temperaturas de vaporización relativamente bajas y se concentran en partículas muy pequeñas que se forman por sublimación después de su emisión. Cerca de la superficie terrestre estas partículas muy pequeñas se adhieren a otras más grandes arrastradas por el aire (coagulación), de modo que después de tiempo de transporte prolongados casi todos los metales se encuentran en partículas de tamaño superior a  $0.1 \mu m$  (2).

El polvo y las partículas de arena que se arrastran durante los períodos de mucho viento pueden ser transportados a grandes distancias y dan origen a concentraciones muy altas de partículas durante períodos breves en localidades remotas. Los incendios forestales son fuentes fenomenales de partículas, CO y  $CO_2$  (2).

### 3.2.2 Fuentes domésticas de PM<sub>10</sub>

La quema de leña para cocinar y calentamiento en interiores, es una fuente particularmente intensa de PM<sub>10</sub> en Guatemala, esto sobretodo en el área rural, lo que ha traído como consecuencia enfermedades en los pulmones y nuevos estudios revelan que también producen problemas cardíacos.

En Klamath Falls, Oregon, en enero de 1988, se midió una concentración de PM<sub>10</sub> en 24 horas de 792  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esta carga, extremadamente alta de partículas, se debió sobre todo a la emisión proveniente de estufas de leña y hogares residenciales durante una fuerte inversión nocturna. En 1991 se adoptó un programa obligatorio para dejar de quemar leña cuando se preveen períodos de concentraciones poco saludable de PM<sub>10</sub> (2).

Otra fuente de contaminación del aire, derivada de actividades domésticas y comerciales, se asocia con la eliminación de residuos sólidos, la quema de hojas. Los incineradores de patio y los tiraderos al aire libre eran fuentes comunes de emisiones de partículas de gases (2).

### 3.2.3 Fuentes agrícolas de PM<sub>10</sub>

En Guatemala los problemas agrícolas se deben mayormente al desprendimiento de partículas causadas en la quema de caña de azúcar durante la cosecha y el procesamiento. Esto es un problema que aumenta las enfermedades obstructivas a nivel respiratorio (2).

También existen problemas agrícolas por desprendimiento de partículas de algodón durante la cosecha y procesamiento. En las

granjas se presenta la exposición a partículas derivadas de las operaciones de cosecha de cultivos, carga de camiones y transporte en el campo (2).

#### 3.2.4 Fuentes industriales de PM<sub>10</sub>

Las partículas pueden ser líquidas o sólidas. La naturaleza química y física de las partículas es muy importante para valorar la trascendencia de las emisiones. Las emisiones de partículas industriales más grandes son la ceniza de la combustión de carbón, petróleo y basura, también las partículas de carbón de la combustión y procesamiento de combustibles fósiles e incluso de gas natural y producción de hierro (2).

#### 3.2.5 Fuentes móviles de PM<sub>10</sub>

El sector de transporte genera alrededor de un tercio de las emisiones totales (2).

### 3.3 Limpieza natural de la atmósfera

Las partículas muy pequeñas rebotan con movimientos aleatorios como las moléculas de gas, y si chocan con otras crecen por coagulación y se precipitan como partículas grandes. Aquellas con carga eléctrica crecen o se coagulan al atraer partículas con carga opuesta. Las partículas pequeñas, que actúan como núcleos, pueden caer dentro de una gota de lluvia, una gota de lluvia puede chocar con las partículas y recolectarlas durante su caída. Estos procesos se conocen como llovido y arrastre, respectivamente (2).

### 3.4 Control de la emisión de partículas

Para este control se utilizan diferentes colectores:

1. Cámara de sedimentación por gravedad: Son colectores sencillos y económicos en los cuales las fuerzas gravitatorias dominan el movimiento vertical de las partículas (2).
2. Colectores húmedos: Tienen por objeto aumentar el tamaño de las partículas por medio de agua o de gotitas de suspensión, porque es más fácil recolectar las partículas grandes (2).
3. Colectores de tela y de esterilla fibrosa: Estos equipos se utilizan para extraer partículas secas de corrientes gaseosas secas y a baja temperatura. Se suspenden medias de tela de 15 a 30 cm de diámetro y de hasta 10 m de largo en una cámara, y el aire que se fuerza a pasar por la media se descarga a través de la tela (2).
4. Precipitación electrostática: Se desprenden electrones de un electrodo en una descarga en corona, los cuales se adhieren a las partículas y las dotan de carga. Las partículas de la misma carga que el electrodo emigran hacia las superficies conectadas a tierra en virtud de fuerzas electrostáticas (2)

### 3.5 Mecanismos de defensa del aparato respiratorio

Un adulto requiere aproximadamente 14 Kg de aire cada día; en tanto que necesita sólo un poco más de 1 Kg de alimento y 2 Kg de agua. Se estima que un ser humano puede vivir de cuatro a cinco semanas sin comida, casi cinco días sin agua, pero no alcanza a vivir cinco minutos sin aire. Es por ello la importancia de contar con aire limpio que se necesita para tener una buena calidad de vida (1).

Uno de los aparatos del cuerpo humano que tiene mayor intercambio con el medio ambiente es el aparato respiratorio. Dada la gran cantidad de aire

que el ser humano respira, cualquier modificación en la composición del aire o en sus propiedades físicas puede constituir un verdadero problema para el individuo/ser vivo. El aparato respiratorio se defiende de las sustancias xenobióticas de diverso tipo que vienen en el aire inspirado a través de una serie de mecanismos de defensa, algunos muy sencillos y bien conocidos como el calentamiento y humidificación que el aire sufre en las porciones altas del tracto respiratorio y otros muchos más complicados y que se han reconocido en un tiempo relativamente reciente como los mecanismos celulares de defensa presentes en todo el tracto respiratorio y en el alvéolo pulmonar, o los de tipo inmunológico o humorales (1).

Los mecanismos de defensa, en condiciones normales, son capaces de impedir el daño de diversos segmentos del aparato respiratorio debido a sustancias extrañas, orgánicas e inorgánicas (1).

La nariz es un excelente acondicionador del aire y filtro para el material extraño proveniente del exterior. La mayor parte de su superficie está cubierta por epitelio ciliado productor de moco, mismo que permite el atrapamiento del material extraño, el material atrapado puede ser expulsado por medio de un estornudo, o bien ser empujado hasta la faringe, ser deglutido y así eliminado (1).

Las células ciliadas tienen como función movilizar el moco y otras secreciones del epitelio respiratorio hasta los sitios más próximos para su eliminación. Alteraciones en los cilios pueden ser adquiridas (tabaco, contaminación atmosférica, infecciones virales o por mycoplasma), genéticas o pueden provocarse por exposiciones a altas concentraciones de gases (1).

Las células mucoproducidas aumentan en casos de enfermedad, inhalación de humo de tabaco o inhalación de SO<sub>2</sub> (1).

Las células clara funcionan metabolizando los productos xenobióticos y son blanco de gran variedad de agentes carcinógenos (1).

Las células migratorias son todas aquellas que no son residentes normales del aparato respiratorio y que no cumplen con una función de defensa, ya que fagocitan a los agentes extraños. Estas células son:

1. Las polimorfonucleares: La presencia de estos en el pulmón debe entenderse como un mecanismo de acción como por ejemplo en caso de inflamación.
2. Eosinófilos: Tienen función fagocíticas y secretoras.
3. Células cebadas.
4. Macrófagos alveolares: Tienen gran cantidad de lisosomas, que se pegan a las membranas de los fagosomas que rodean al patógeno ingerido. Ante ciertos estímulos irritativos, el macrófago se vuelve muy activo. Puede aumentar en cantidad ante la llegada al aparato respiratorio de material extraño, asbesto (forma cuerpos ferruginosos), carbón, partículas de humo de tabaco, etc (1).

### 3.6 Fisiología de la respiración

Los tres procesos básicos de la respiración son la ventilación pulmonar, la respiración externa y la respiración interna (7).

En condiciones normales la inspiración se inicia por los impulsos nervioso eferentes, procedentes del centro respiratorio situado en la porción medular del tronco encefálico. Estos impulsos eferentes son influidos a su vez por una información aferente procedente de diversas fuentes, como los centros cerebrales superiores, los quimiorreceptores centrales y por impulsos nerviosos procedentes de tendones y articulaciones. Dichos impulsos circulan por la médula espinal y los nervios periféricos hasta llegar a los



músculos intercostales y diafragmáticos, cuya contracción sincrónica origina una presión intrapleurales negativa. Si la consiguiente inspiración se transmite a través de unas vías aéreas sanas hacia unos alvéolos con una perfusión adecuada, se añade oxígeno y se elimina dióxido de carbono de la sangre venosa. En condiciones normales este mecanismo retroactivo de control de la respiración es tan eficaz que consigue mantener una ventilación alveolar proporcional a la tasa metabólica y también mantener en un intervalo bastante estrecho los valores normales de las tensiones de los gases de la sangre arterial. Una disfunción del sistema respiratorio en cualquiera de los puntos mencionados puede producir una desviación de este intervalo normal, con la consiguiente aparición de insuficiencia respiratoria (8).

### 3.7 Capacidad y volúmenes pulmonares

Espirometría: El espiómetro o respirómetro es el aparato que se usa en forma común para medir la cantidad de aire que se intercambia durante una respiración y la frecuencia de la ventilación (7).

#### 3.7.1 Volúmenes pulmonares

Durante el proceso de la respiración normal de reposo, se mueven casi 500ml de aire hacia las vías respiratorias de cada inspiración. La misma cantidad de aire se mueve hacia fuera con cada espiración. Este volumen de aire inspirado (o espirado) se llama volumen corriente. Sólo cerca de 350ml del volumen corriente alcanza en realidad el alvéolo. Los otros 150ml restantes que se encuentran en el espacio aéreo de la nariz, faringe, laringe, tráquea, bronquios y bronquiolos, se conoce como espacio muerto anatómico (C. A.). La cantidad total de aire que entra a los pulmones en un minuto se llama volumen minuto respiratorio (MVR). Un volumen

promedio debe ser de 500ml por 12 respiraciones por minuto o de 6,000ml por minuto (7).

Cuando se realiza una respiración profunda se inspira una cantidad que excede el aire inspirado en forma normal y se llama volumen de reserva inspiratoria (7).

Si se inspira en forma normal y después se exhala lo más forzado como sea posible, la persona será capaz de expulsar 1,200ml de aire de sus pulmones además de los 500ml del volumen corriente, a este volumen se le llama volumen de reserva espiratoria (7).

### 3.7.2 Capacidades pulmonares

La capacidad pulmonar se puede calcular combinando los volúmenes específicos. La capacidad inspiratoria total de los pulmones, es la suma del volumen corriente más el volumen de reserva inspiratoria (3600ml). La capacidad funcional residual es la suma del volumen residual más el volumen de reserva espiratoria (2,400ml). La capacidad vital es la suma del volumen de reserva inspiratoria, volumen corriente y volumen de reserva espiratoria (4800ml). Finalmente la capacidad pulmonar es la suma de todos los volúmenes pulmonares (6000ml) (7).

Para valorar a un paciente con una enfermedad pulmonar se puede utilizar espirometría simple, que es una prueba funcional respiratoria esencial que habitualmente proporciona suficiente información. Existen también algunos espirómetros que permiten medir en la misma consulta la capacidad vital (VC), el volumen espiratorio forzado en un segundo (FEV), el volumen espiratorio forzado como porcentaje de la capacidad vital forzada (VEP/ CVF) y el flujo

espiratorio máximo (PEF; FEM) o pico de flujo (peak flow). Esta técnica proporciona datos reproducibles y precisos. Aunque por sí sola la espirometría no permite establecer un diagnóstico específico, puede diferenciar las enfermedades pulmonares obstructivas de las restrictivas y valorar su gravedad (8).

### 3.8 Antecedentes en Guatemala

El programa completo de control de emisiones de gases en Guatemala se llevó a cabo en tres etapas: cambio a gasolinas sin plomo, obligatoriedad de usar catalizadores y revisiones periódicas y selectivas a los vehículos. Las consecuencias de esto era que los automóviles se encarecería en aproximadamente mil dólares por unidad, aunque por otro lado sería más eficientes (9).

El 9 de mayo de 1990 comenzaron a existir los primeros problemas por la resistencia al cambio, intereses creados y falta de información (9).

En febrero de 1991 se tomó la decisión drástica de eliminar el plomo de las gasolinas. Esto se llevó a cabo el 10 de mayo de ese mismo año. En Guatemala la gasolina sin plomo comenzó a importarse en mayo de 1991. Pasó el período de descontaminación de depósitos y en agosto las mediciones indicaron que estaban libres de plomo (9).

El 1 de marzo de 1992 se promulgó el Decreto 20-92, que obliga a que todos los vehículos importados a Guatemala a partir del uno de marzo 1993 estén equipados con catalizadores y demás controles de emisiones de gases (9).

En 1994 los presidentes centroamericanos adquieren el compromiso con el medio ambiente. El plan de acción incluye reglamentos para control

centroamericano atmosférico, así como monitorear la calidad del aire de Centro América y este monitoreo se inicia en Guatemala en 1994 (9).

Los resultados de PM<sub>10</sub> en Guatemala desde que inició a medir en 1995 son muy altos y a veces rebasan los niveles permitidos por la OMS, lo que puede producir daños en la salud. Como se indicaba anteriormente, las PM<sub>10</sub> especifican una media aritmética anual no mayor de 50µg/m<sup>3</sup> y un número mayor al esperado de 150 µg/m<sup>3</sup> en 24 horas, esta concentración no más de una vez por año y lamentablemente en Guatemala sí exceden esos valores. Los datos promedio aproximados para la Calzada Aguilar Batres (CAB) y Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), se resumen en la siguiente tabla (10).

Tabla No. 1

Lugar de muestreo	Año 1995	Año 1996	Año 1997	Año 1998	Año 1999	Año 2000
CAB	250 µg/m <sup>3</sup>	340 µg/m <sup>3</sup>	340 µg/m <sup>3</sup>	410 µg/m <sup>3</sup>	420 µg/m <sup>3</sup>	410 µg/m <sup>3</sup>
USAC	100 µg/m <sup>3</sup>	70 µg/m <sup>3</sup>	110 µg/m <sup>3</sup>	120 µg/m <sup>3</sup>	100 µg/m <sup>3</sup>	110 µg/m <sup>3</sup>

En las estadísticas de enfermedades respiratorias en el departamento de Guatemala demuestran que las enfermedades respiratorias son las primeras causas de morbilidad y mortalidad siendo estas las siguientes: Guatemala Norte primera causa de morbilidad la infección respiratoria aguda 24%. Primera causa de mortalidad infantil bronconeumonía 28%. Mortalidad de adultos bronconeumonía 4%. Guatemala Sur: morbilidad; primera causa resfrío común 25%, tercera causa la amigdalitis 10%, quinta causa la neumonía 5% y la bronquitis sexta causa 2%. La mortalidad infantil la primera causa es la neumonía 27%, mortalidad de adultos primera causa la neumonía 4% (22).

#### 4. JUSTIFICACIÓN

En áreas donde existe contaminación del aire se pueden encontrar las PM<sub>10</sub> que son una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas de origen natural o antropogénico cuyo diámetro es menor de 10 micras (entre 0.001 y 10 micras). Dichas partículas pueden encontrarse en el aire de exteriores, polvo y otros aerosoles (2).

La importancia de este trabajo de tesis radica en que se han realizado estudios acerca de los niveles de contaminación del aire en la ciudad de Guatemala, pero no se han realizado estudios sobre la influencia que tiene dicha contaminación (por PM<sub>10</sub>) en la salud, específicamente en la función respiratoria de las personas que están más expuestas a dicha contaminación (por su trabajo, domicilio, etc).

Esta investigación será el punto de partida para futuros estudios, en la relación de contaminación por partículas pequeñas del aire en su fracción respirable y la función respiratoria de las personas mayormente expuestas a dicho fenómeno

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 General

- Determinar si las partículas totales en suspensión en su fracción respirable  $PM_{10}$  afectan la función respiratoria de las personas expuestas en dos puntos de muestreo en la Ciudad de Guatemala.

### 5.2 Específicos

- Ratificar la importancia de disminuir los niveles de contaminación en la ciudad de Guatemala, ya que atentan contra la salud de las personas.
- Determinar cualitativamente que tanto afectan las  $PM_{10}$  la función respirable en relación a los niveles de contaminación en la ciudad de Guatemala
- Aplicar el método de muestreo y análisis de las partículas en suspensión en su fracción respirable  $PM_{10}$  y determinar algún tipo de relación con la salud de las personas expuestas.

## **6. HIPÓTESIS**

Las partículas totales en suspensión en su fracción respirable  $PM_{10}$ , afectan la función respiratoria de las personas expuestas en los sitios de muestreo seleccionados para la ciudad de Guatemala.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

- 7.1 Universo: Aire de los puntos de muestreo seleccionados y grupo de personas expuestas a dicho aire presente en los puntos de muestreo seleccionados para la ciudad de Guatemala, en un lugar de alto impacto y en uno de bajo impacto.
- 7.2 Muestra: Número de personas por punto de muestreo y volumen de aire analizado. La muestra es de 40 personas divididas en dos grupos. 20 personas (10 hombres y 10 mujeres) seleccionarán en la Calzada Aguilar Batres y 20 personas (10 hombres y 10 mujeres) serán del segundo punto de muestreo, la Universidad de San Carlos de Guatemala. Siendo el tiempo de muestreo de cinco meses. El volumen de aire será aproximadamente de 5 m<sup>3</sup> por medición.
- 7.3 Materiales

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Medidor del pico de flujo	1
Medidor de la capacidad inspiratoria	1
Boquillas plásticas para espirómetro	80
Boquillas plásticas para inspirómetro	80
Bolsas estériles	100
Filtro de teflón de 37mm (MIS)	12
Platos petrí para almacenar y trasladar el filtro	6
Microbalanza analítica con un eliminador de estática	1
Horno con temperatura constante	1
Pinza	1
Par de guantes de tela	1



DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Motor conectado al medidor de bajo volumen	1
Maletín para guardar implementos	1
Jaulas de metal	2
Hojas de control de datos	12
Lapicero	1
Calculadora	1
Cadena con candado	1
Orificio que conecta el medidor de bajo volumen con el motor	1
Medidor de bajo impacto	1
Escalera	1

#### 7.4 Procedimiento de muestreo

##### 7.4.1. Procedimiento para el muestreo de PM<sub>10</sub>

Se pesó inicialmente el filtro de trabajo en una balanza analítica. Una vez pesado el filtro se colocó durante un mínimo de 24 horas en una estufa u horno a 28-30 °C, para eliminar la humedad adquirida por efectos del ambiente. El objeto fue balancear la ganancia o pérdida de humedad ambiental durante el período de muestreo. Nunca tocar o manipular directamente los filtros. Utilizar la caja de petri para transportar el filtro debidamente montado en el portafiltro antes y después de practicar el muestreo.

El tiempo de muestreo fue de 24 horas.

El sistema de muestreo debe estar colocado entre 2 y 5 pies del piso, en una superficie estable. (ver anexo No. 1)

Anotar el flujo y las condiciones climatológicas imperantes.

Anotar el tiempo exacto del muestreo.

El filtro expuesto, se retiró del portafiltro con una pinza, se colocó dentro de una caja de petri, se etiquetó correctamente y se colocó en un horno adecuado para eliminar humedad. Posteriormente se pesó en una balanza analítica.

Control de calidad: Completar periódicamente la lista de chequeo de prueba según corresponda, al medidor que se esté utilizando. Esta información debe guardarse para ser cotejada según las auditorías del laboratorio.

Las fórmulas utilizadas para este muestreo son:

$$\text{Concentración de PM}_{10} \text{ en } \mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{\text{masa-filtro-trabajo } \mu\text{g}}{\text{volumen total en m}^3} = \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\text{Masa-filtro-trabajo} = (\text{diferencia de masas}) \cdot (1.000,000) = \mu\text{g}$$

$$\text{Volumen total} = (\text{flujo promedio m}^3/\text{min})(\text{tiempo total en minutos}) = \text{m}^3$$

## 7.4.2 Procedimiento para el muestreo de la función respiratoria

### 7.4.2.1 Voldyne (capacidad inspiratoria)

Luego de conseguir el consentimiento de las personas que colaboraron con el estudio.

Se le dio una boquilla a cada participante y una bolsa estéril donde se guardó la boquilla luego de ser usada y desinfectada.

La boquilla conecta la boca del colaborador con el aparato:  
El procedimiento que se utilizó consiste en:

- Deslizar el puntero de la unidad para señalar el nivel de volumen.
- Mantener el aparato en posición vertical.
- Exhalar todo el aire que se tiene en los pulmones.
- Colocar los labios de forma hermética en la boquilla, inhalar lentamente para levantar el pistón blando en la cámara, cuando se está inhalando se mantiene hasta arriba la copita en el rango de flujo "mejor".
- La altura del pistón indica el nivel obtenido (mililitros). Cuando la inhalación es completada se remueve la boquilla.
- Se deja que el pistón regrese hasta la parte más baja de la cámara y se repite lo anterior (ver anexo 2).

#### 7.4.2.2 Medidor del pico de flujo (capacidad espiratoria)

Luego de conseguir el consentimiento de las personas que colaboraron con el estudio se dio una boquilla nueva a cada participante y una bolsa estéril donde se guardó la boquilla luego de ser usada y desinfectada.

- Retirar la tapadera del aparato.
- Mantenerlo en posición horizontal.
- Girar la cubierta hacia abajo y se coloca la boquilla descubierta.

- Juntar las dos cubiertas en forma de agarrador, mantenerlo en esta posición mientras se está midiendo el pico de flujo.
- Se deja asegurar que el indicador está en cero, de lo contrario se puede mover suavemente hasta cero.
- En esa posición se sopla lo más profundo que el colaborador pueda. Debe colocar la boca firmemente alrededor de la boquilla, los labios debe quedar en una posición hermética en la boquilla.
- Soplar lo más fuerte y rápido que pueda, esto moverá el indicador hacia arriba en la escala. El número que señala en la posición final es el pico del flujo medido.
- Para repetir la prueba es necesario deslizar el indicador hasta el cero y repetir los pasos 6 y 7.bb
- Hay que tomar tres medidas y se registra el valor más alto, anotar la fecha y hora en el registro.
- Para guardarlo se abre el agarrador se cierra y se coloca la tapadera. (ver anexo No. 3)

## 7.5 Diseño del Estudio

### 7.5.1 Muestra:

El presente estudio se realizó en el municipio de Guatemala, con 40 personas divididas en dos grupos; 20 personas estaban en el lugar de bajo impacto (baja concentración de  $PM_{10}$ ) y las otras 20 en el lugar de alto impacto (alta concentración de  $PM_{10}$ ). El estudio abarcó cinco meses, de marzo a julio del 2002.

### 7.5.2 Variables de interés

Para la medición de la capacidad respiratoria hay variables que tomar en cuenta para que los datos sean representativos. Estas variables fueron:

- Edad.
- Sexo
- Que no tengan ninguna enfermedad respiratoria.
- Que no fumen.
- Que las personas del estudio permanezcan ocho horas en el lugar donde se realiza el estudio.

### 7.5.3 Análisis de Resultados:

Se evaluó la cantidad de  $PM_{10}$  en cada lugar y se comparó los datos en relación a la función respiratoria de las personas en el estudio. Se realizó un análisis de correlación.

## 8. RESULTADOS

Tabla No. 2

Resumen de datos de PM<sub>10</sub> en cada mes de medición

Mes	Concetración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Universidad de San Carlos	Concetración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Calzada Aguilar Bates
Marzo	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Abril	72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Mayo	37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Junio	23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Julio	31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla No. 3

Datos de inspiración (correlación)

	Mujeres Alto Impacto	Hombres Alto Impacto	Mujeres Bajo Impacto	Hombres Bajo impacto
Correlación	-0.0504	-0.0241	0.0512	0.1180

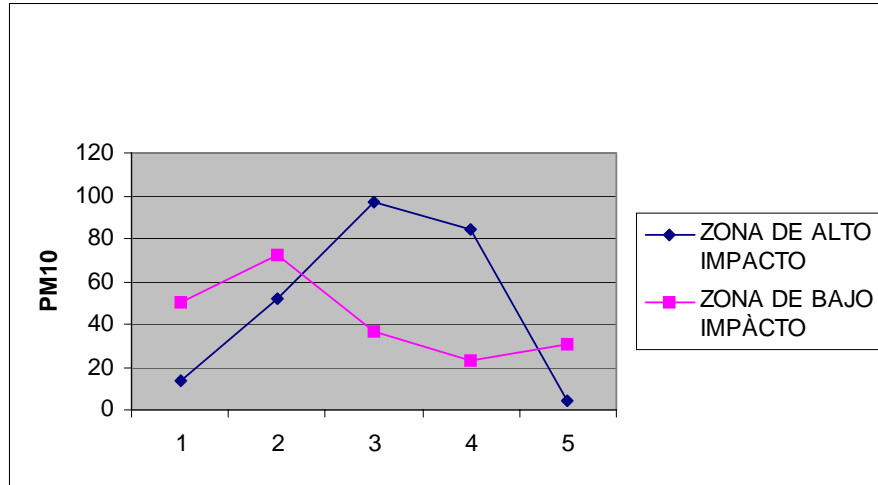
Tabla No. 3

Datos de espiración (correlación)

	Mujeres Alto Impacto	Hombres Alto Impacto	Mujeres Bajo Impacto	Hombres Bajo impacto
Correlación	-0.0275	-0.0730	0.2475	0.0048

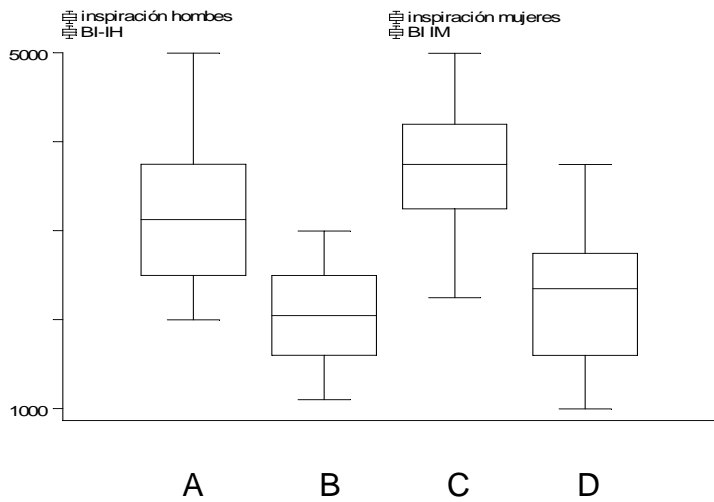
Gráfica No. 1

Comparación de PM10 en Zona de Alto Impacto Vrs. Zona de Bajo Impacto



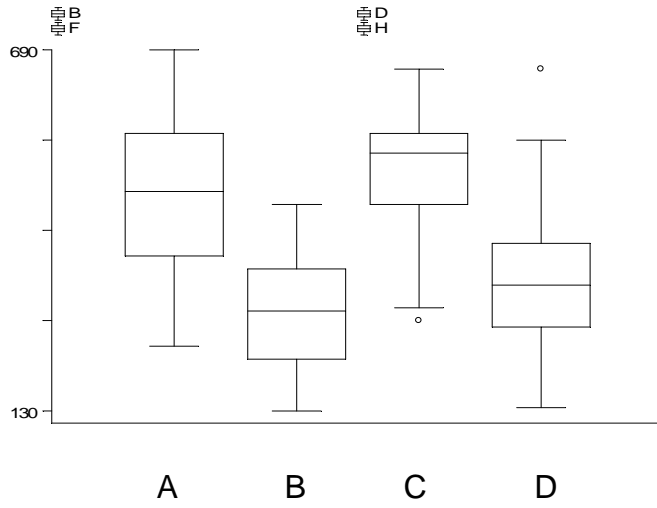
Gráfica No. 2

Datos de inspiración



Gráfica No. 1: Columna A: Inspiración hombres de alto impacto  
 Columna B: Inspiración mujeres de alto impacto  
 Columna C: Inspiración hombres de bajo impacto  
 Columna D: Inspiración mujeres de bajo impacto

Gráfica No. 3  
Datos de espiración



Gráfica No. 2: Columna A: Espiración hombres de alto impacto  
Columna B: Espiración mujeres de alto impacto  
Columna C: Espiración hombres de bajo impacto  
Columna D: Espiración mujeres de bajo impacto



## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El principal objetivo de esta investigación es demostrar que las partículas pequeñas en su fracción respirable  $PM_{10}$  afectan la función respiratoria de las personas que están expuestas, obteniéndose los resultados que se detallarán más adelante.

Según la literatura consultada las partículas menores de 10 micras llegan hasta los alvéolos lo cual afecta la respiración directamente obstruyendo la entrada o la salida de aire del cuerpo y son más difíciles de eliminar del mismo debido a que estas partículas se encuentran en la parte baja del aparato respiratorio, por lo cual se deduce que las  $PM_{10}$  son un contaminante sumamente peligroso para la salud. Para este estudio no fue posible generalizar a un grupo específico de hombres y/o mujeres que tendieran más a un tipo de obstrucción, ya sea en la entrada o salida de aire porque los datos variaron según la persona y el área en la que se encontraban las mismas.

Aunque los datos de  $PM_{10}$  para la USAC (área de bajo impacto) fueron mayores en algunos meses (marzo, abril y julio) a los datos de la Calzada Aguilar Batres CAB (área de alto impacto), los datos de la USAC en dichos meses nunca sobrepasaron al valor máximo de  $PM_{10}$  en el lugar de alto impacto antes mencionado. Además los meses en que los valores de  $PM_{10}$  fueron más altos en la USAC no sobrepasaron a  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el valor de  $PM_{10}$  en la CAB en ese mismo mes y cuando el valor de  $PM_{10}$  fue mayor en la CAB llegó hasta  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arriba del valor de  $PM_{10}$  en la USAC para el mismo mes. Además los lugares de alto impacto y bajo impacto fueron seleccionados por los datos pasados de  $PM_{10}$  en donde sí existió una marcada diferencia. Los valores de  $PM_{10}$  son afectados por condiciones naturales como por ejemplo la lluvia, el polvo de las calles, las erupciones volcánicas y por mano del hombre como es el flujo vehicular, lo que pudo hacer que estos valores no presentaran el comportamiento esperado.

Los resultados se analizaron utilizando la correlación de Pearson. Dicho método se seleccionó debido a que se deseaba saber si están relacionadas las variables de  $PM_{10}$  y la función respiratoria, en lugar de usar una para pronosticar el valor de la otra. En ningún caso el "r" fue significativo, pero en las zonas de alto impacto el "r" tuvo un valor negativo, lo que demuestra la relación inversa, que era lo que se esperaba. A mayor exposición se observa una disminución de la capacidad respiratoria (medida como inspiración y espiración).

Los datos obtenidos en la zona de alto impacto son el reflejo de una medición a microescala (automóviles) y con estos se obtuvo una correlación inversa como se mencionó anteriormente indicada por el signo negativo entre hombres y mujeres, lo cual es muy lógico tomando en cuenta la exposición a la que ellos han estado sometidos, por lo cual puede notarse que ya existe disminución de la función respiratoria.

Para la zona de bajo impacto la medición que se realizó es a macroescala (automóviles, industrias, mayor vegetación, etc) y en estos resultados entre hombres y mujeres no existe según este estudio, una relación inversa, lo cual puede deberse a que la cantidad de partículas es pequeña y aún no es posible notar si está afectando o no su función respiratoria. Es probable que los mecanismos de defensa del organismo han podido actuar de mejor manera en las personas del área de bajo impacto por ser tan variada la cantidad de partículas a lo largo del tiempo, lo cual puede permitir que el cuerpo se adapte y defienda de mejor manera.

De acuerdo a los datos en la comparación de inspiración y espiración entre los hombres y mujeres que se encuentran en el área de bajo impacto y alto impacto (ver gráficas 1 y 2), se observa que en el lugar de bajo impacto la inspiración y espiración según las medias aritméticas están arriba de las medias aritméticas del área de alto impacto, lo cual demuestra una mejor función respiratoria en las personas que se encuentran en el área de bajo impacto. En el lugar de alto

impacto se puede observar que ya existe una disminución en la función respiratoria comparándola con los datos obtenidos en el área de bajo impacto por la cantidad de partículas del ambiente que notoriamente ya ha comenzado a afectarles.

En este estudio se puede observar también que existe una influencia meteorológica ya que la cantidad de partículas  $PM_{10}$  van disminuyendo durante la época lluviosa y aumentan en la época seca, esto se debe a que las gotas de lluvia atrapan o colectan las partículas en su recorrido desde las nubes hasta que caen al suelo en un proceso conocido como llovido o arrastre, lo cual limpia la atmósfera y esto hace que mejore la función respiratoria de las personas.

De acuerdo con los objetivos de esta investigación se logró comprobar que las  $PM_{10}$  sí afectan la función respiratoria pero, es probable que el tiempo de muestreo no haya sido suficiente para obtener datos más reveladores.

## 10. CONCLUSIONES

1. Se acepta la hipótesis de esta investigación ya que las partículas pequeñas en su fracción respirable  $PM_{10}$  sí afectaron la función respiratoria de las personas expuestas.
2. No fue posible generalizar si uno de los grupos o ambos (hombres y/o mujeres) tendieran más a un tipo de obstrucción en entrada o salida de aire.
3. En ninguno de los datos de correlación presentaron un "r" significativo, pero en las zonas de alto impacto se demuestra una relación inversa para hombres y mujeres.
4. Los datos obtenidos en la zona de alto impacto muestran que ya existe disminución de la función respiratoria comparada con el área de bajo impacto.
5. Para la zona de bajo impacto no existe, según este estudio, una relación inversa. Aún no es posible notar si está afectando o no su función respiratoria.
6. Se demuestra una mejor capacidad respiratoria en las personas que se encuentran en el área de bajo impacto.
7. Se puede observar la influencia meteorológica, ya que la cantidad de partículas  $PM_{10}$  van disminuyendo durante la época lluviosa y aumentan en la época seca, lo cual hace que mejore la función respiratoria de las personas.

8. Los hombres poseen una capacidad respiratoria mayor que las mujeres.

## 11. RECOMENDACIONES

1. Continuar con estudios de este tipo para hacer ver la importancia de contar con una calidad de aire que redunde en beneficio de la buena salud de la población.
2. Realizar un estudio similar a este en el interior del país especialmente donde la agricultura produce una cantidad mayor de  $PM_{10}$  como en lugares donde se realiza la zafra y rosa con más frecuencia.
3. Realizar estudios a largo plazo, para ver cómo se comporta la población frente a la contaminación, con un número mayor de personas y en más puntos de muestreo, con muestreos más espaciados, por ejemplo dos veces al año durante cinco años u otras alternativas.
4. Realizar estudios entre personas de la tercera edad y/o niños en comparación con personas jóvenes.

## 12. Referencias

1. Rivero, Octavio. Ponciano, Guadalupe. 1993. Contaminación Atmosférica y Enfermedades Respiratorias. Primera edición. México. Biblioteca de la Salud. Facultad de Medicina UNAM. Págs 37, 39-59, 113-139, 165-168, 205-208.
2. Moroz, William. 1996. Ingeniería Ambiental. Trad. Escalona, Héctor. Segunda Edición. México. Prentice Hall. Págs 492-532.
3. Mage, David. 1995. Contaminación Atmosférica Causada por Vehículos Automotores. Consecuencias Sanitarias y Medidas para Combatirla. Trad Dr. Gutierrez, Héctor. Primera Edición. México. Págs 20-30, 35-40, 47, 48, 100-102, 140, 189-194, 211-214.
4. Alvarado Gallardo, T. Oliva, P. Álvarez, J. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Escuela de Química. Guatemala 2000. Informe Anual Proyecto Monitoreo de Emisiones Automotores Ciudad de Guatemala. USAC. Informe 1999.
5. Oliva Soto, P. Informe Anual 2000 Proyecto Monitoreo de la Calidad del Aire en la Ciudad de Guatemala. Swisscontact. USAC. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Escuela de Química. Laboratorio de Monitoreo del Aire. Guatemala. Febrero 2001.
6. National Air Quality and Emissions Trend Report, 1991. U.S. EPA Report 450-R-92-001. Octubre 1992.
7. Tórtora, Gerard. 1996. Principios de Anatomía y Fisiología. Trad. Castilleja, Martha. Sexta Edición. México. Editorial Harla. Págs 866, 872-875.

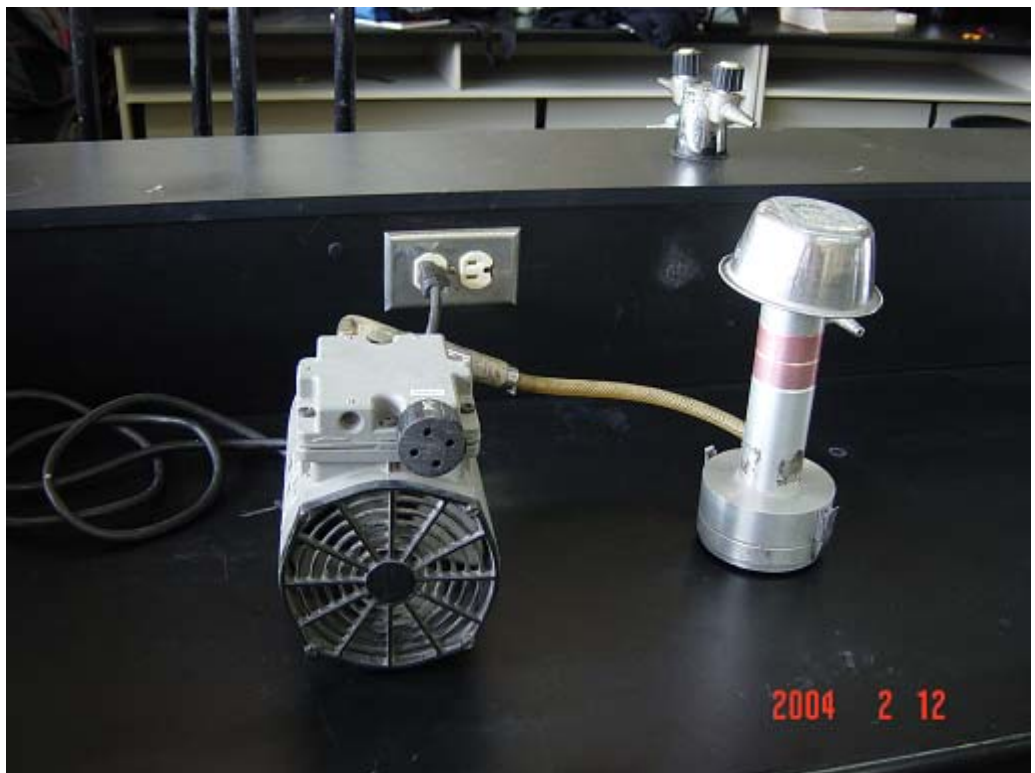
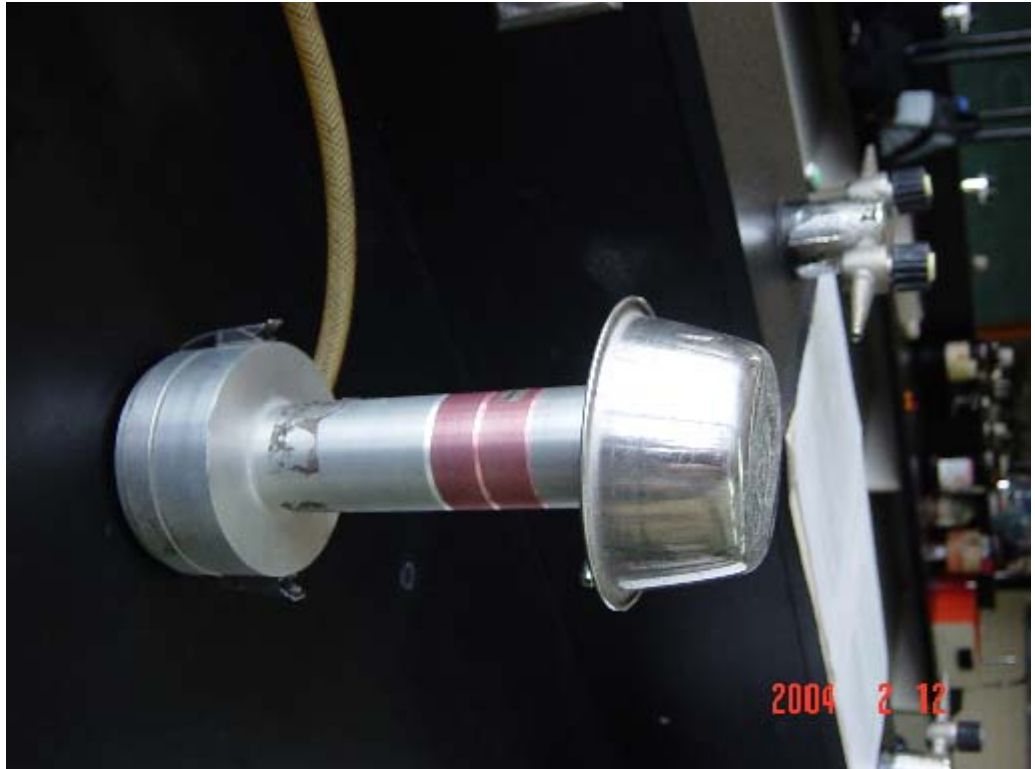
8. El Manual Merck. 1989. Octava Edición. Editorial Doyma S. A. Págs 648, 657-658..
9. Toledo Ordóñez, José. 1996. Control de la Contaminación del Aire. Guatemala ProEco. Págs 91-97.
10. Revista Científica Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas. USAC. Artículo Científico Invitado I, Calidad del Aire en la Ciudad de Guatemala. Págs 29, 30.
11. Oliva, P. 1998. Determinación del Dióxido de Azufre por el Método de Pararosanilina. Tesis de Graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Escuela de Química.
12. Roberto Alley & Associates Inc. 2001. Manual del Control de la Calidad. Trad. Dr. Hidalgo. Ma. Del Consuelo. Primera Edición. México. McGraw-Hill, Sección 2.27 y 2.5.
13. Hunt, David y Johnson Catherine. 1998. Sistema de Gestión del Medio Ambiente. Trad. Quintana, María. Primera Edición. Colombia. McGraw-Hill, Págs 9-27.
14. JICA. Municipalidad de Guatemala, República de Guatemala. El Estudio de Factibilidad Sobre el Proyecto de Transportación Urbana en el Área Metropolitana de Guatemala. Informe Final 1997.
15. Martínez, Ana Patricia. 1997. Introducción al Monitoreo Atmosférico. Primera Edición. México. Metepec. Pág. 189-204.
16. Ganong, William. 1998, Fisiología Médica, Trad Dr. Dieter, Mascher, 16 ava Edición. México. Editoria Manual Moderno. Pág. 721-759.



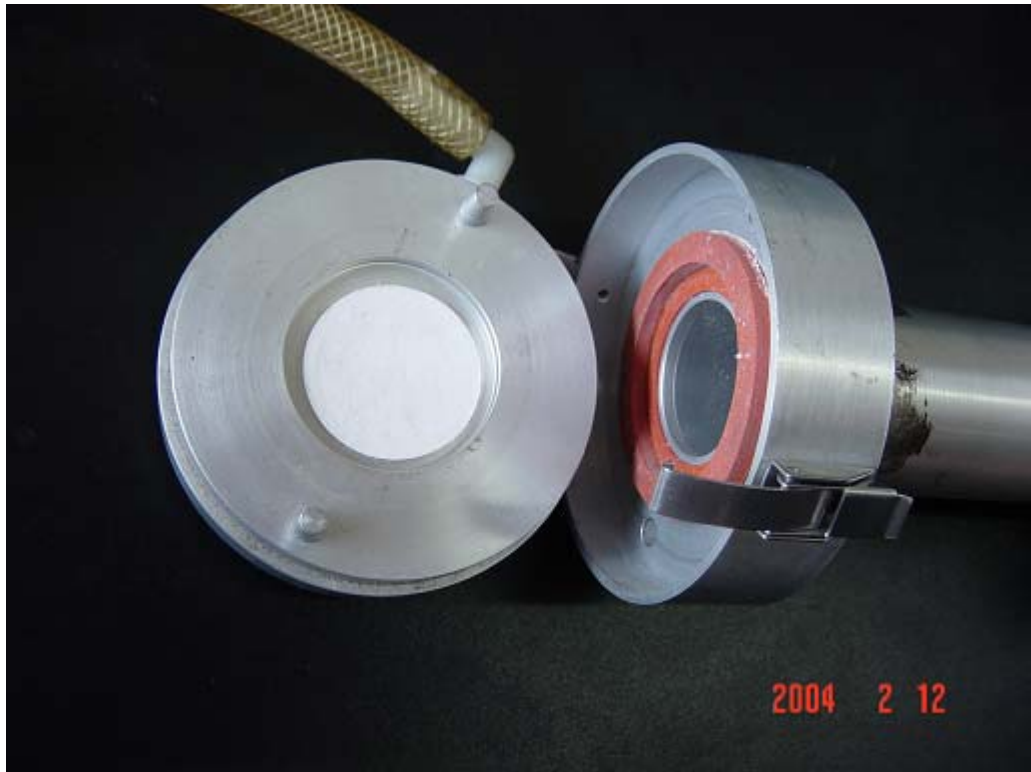
17. Neves, Noel. 1997. Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire. Trad. Pérez. Herman. Primera Edición. México. McGraw-Hill. Págs. 11-29, 221-286.
18. Canter, Larry. 1998. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Trad. Español, Canter. Primera Edición. España. McGraw-Hill. Págs 71-119.
19. Sandoval, Hugo. 1993. Contaminación Atmosférica de Santiago. Estado Actual y Soluciones. Primera Edición. Chile. Grupo Santander. Págs 109-212.
20. Santiago Limpia el Aire de Santiago. 1994. CONAMA. Primera Edición. Chile. Ediciones DOLMER S.A. págs 91-121.
21. Devore, Jay. 2001. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. Quinta Edición. México. Thomson Learning. Págs 520-530.
22. Memoria Anual del Sistema de Información General en Salud SIGSA. Indicadores Básicos. Guatemala 1999. Guatemala Norte 4-7, Guatemala Sur 4-7.
23. Compilation of Air Pollutant Emission Factory, U.S. Environmental Protection Agency, EPA AP-42, Research Triangle Park, North Carolina, 1973.
24. Control Techniques for Particulate Emissions from Stationary Sources, Volume I, U.S. Environmental Protection Agency, EPA 450-3-81-005a, Research Triangle Park, North Carolina, 1982
25. Crawford, M. Air Pollution Control Theory, McGraw-Hill, Nueva York, 1976.

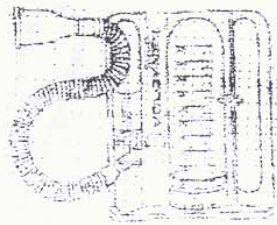
26. Corbitt, Robert A. 2003. Manual de Referencia de la Ingeniería Medioambiental. Trad español Rincón, Pedro. Primera edición en español. España. McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U. Sección 4.1-4.31.





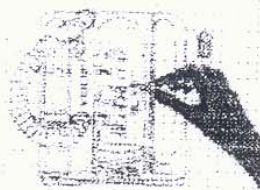




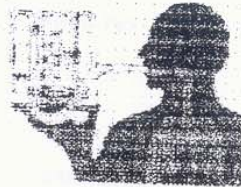


Aparato utilizado para el muestreo de la capacidad inspiratoria

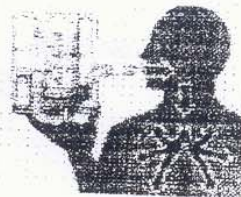
Paso No. 1



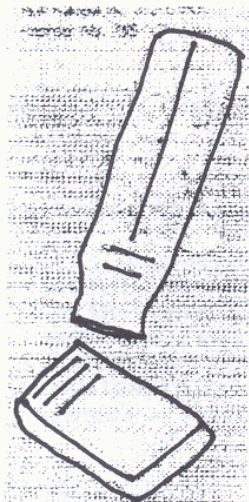
Paso No. 2, 3 y 4



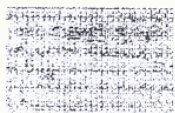
Paso No. 4 y 5



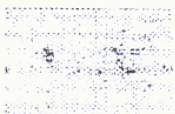




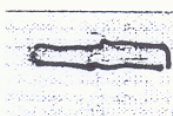
Aparato utilizado en la medición de la capacidad  
expiratoria (peak flow)



Paso No. 1



Paso No. 2



Paso No. 3



Paso No. 4



Paso No. 6



Guatemala 31 de enero 2002

A quien interese:

Luego de enterarme del proyecto de tesis **DETERMINACIÓN CUALITATIVA DE LA RELACION EXISTENTE ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE LAS PARTICULAS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN SU FRACCION RESPIRABLE PM<sub>10</sub> Y LA FUNCION RESPIRATORIA DE PERSONAS EXPUESTAS EN DOS PUNTOS DE MUESTEO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**. En vista del beneficio para mi persona, estoy dispuesto a participar en el mismo, permitiendo que midan mi función respiratoria.

\_\_\_\_\_  
Firma participante

Nombre: \_\_\_\_\_

ANEXO No. 4

Modelo de la carta que firmaron cada uno de los participantes del estudio.

Resumen de los Datos Utilizados Para la Obtención de las Cantidades de PM<sub>10</sub>

## Calzada Aguilar Batres

Mes	PM <sub>10</sub> inicial	PM <sub>10</sub> final	Flujo promedio	Tiempo total en minutos	Volumen total en m <sup>3</sup>	Masa-Filtro- Trabajo (MT-MP)	Concetración (µg/m <sup>3</sup> )
Marzo	0.18102	0.18110	0.00394	1444.2 min	5.69 m <sup>3</sup>	80 µg	14 µg/m <sup>3</sup>
Abril	0.17656	0.17656	0.00398	1437 min	5.72 m <sup>3</sup>	300 µg	52 µg/m <sup>3</sup>
Mayo	0.17767	0.17818	0.00372	1414.8 min	5.26 m <sup>3</sup>	510 µg	97 µg/m <sup>3</sup>
Junio	0.17439	0.17487	0.00396	1441.8 min	5.71 m <sup>3</sup>	480 µg	84 µg/m <sup>3</sup>
Julio	0.17389	0.17391	0.0039	1204.8 min	4.6987m <sup>3</sup>	20 µg	4.256µg/m <sup>3</sup>

## Universidad de San Carlos de Guatemala

Mes	PM <sub>10</sub> inicial	PM <sub>10</sub> final	Flujo promedio	Tiempo total en minutos	Volumen total en m <sup>3</sup>	Masa-Filtro- Trabajo (MT-MP)	Concetración (µg/m <sup>3</sup> )
Marzo	0.17551	0.17582	0.00388	1589.4 min	6.17 m <sup>3</sup>	310 µg	50 µg/m <sup>3</sup>
Abril	0.17997	0.18035	0.00372	1426.2 min	5.31 m <sup>3</sup>	380 µg	71.62 µg/m <sup>3</sup>
Mayo	0.17560	0.17581	0.0039	1419 min	5.648 m <sup>3</sup>	210 µg	37.18 µg/m <sup>3</sup>
Junio	0.17375	0.17388	0.00394	1435.8 min	5.66 m <sup>3</sup>	130 µg	22.98 µg/m <sup>3</sup>
Julio	0.17736	0.17753	0.004	1362.6 min	5.4504 m <sup>3</sup>	170 µg	31.19 µg/m <sup>3</sup>

