

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA  
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES  
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**ESTUDIO SOBRE LA CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO  
EN EL ÁREA DEL BARRIO AMELIA, GUAYNABO**

Requisito parcial para la obtención del  
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental  
en Planificación Ambiental

Por  
Sr. José Díaz Pontón

3 de diciembre de 2008

Derechos de Autor Reservados  
José A. Díaz Pontón  
2008

## **DEDICATORIA**

*A Dios sobre todas las cosas, a mi esposa e hijos  
por su apoyo incondicional durante esta investigación.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Sra. Ada H. Morales, Jefa de la División de Muestreo de la Junta de Calidad Ambiental, por el apoyo ofrecido y el préstamo del equipo utilizado para la toma de muestras; a mi madre por el apoyo económico ofrecido; a mi Comité de Tesis: al Dr. Carlos Ramos por sus sugerencias e ideas útiles en el desarrollo de la investigación, al Dr. Carlos Maysonet por la lectura y corrección del documento, a la compañera de labores Eileen Villafañe por su incondicional ayuda en la lectura y corrección del documento y al Dr. Carlos Padín Bibiloni, quien siempre ha estado dispuesto a ayudarme en la culminación de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
LISTA DE TABLAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE APÉNDICES.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
TRASFONDO DEL PROBLEMA.....	1
PROBLEMA DE ESTUDIO.....	7
JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	14
HIPÓTESIS.....	15
METAS Y OBJETIVOS.....	15
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
TRASFONDO HISTÓRICO.....	17
ESTUDIOS DE CASOS.....	26
MARCO TEÓRICO.....	31
MARCO LEGAL.....	31
LEY DE POLÍTICA PÚBLICA AMBIENTAL.....	35
REGLAMENTO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	36
PLAN DE IMPLEMENTACIÓN ESTATAL.....	38
PROGRAMA PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA JUNTA DE CALIDAD AMBIENTAL.....	39
ESTÁNDARES DE CALIDAD DE AIRE AMBIENTAL.....	40
DESIGNACIÓN DE LOGRO Y NO LOGRO.....	41
ÁREAS DE MANTENIMIENTO.....	42
REGLAMENTACIÓN PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	43
CONTROL PARA EL CRECIMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	43
ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA PM 10.....	45
REGLAMENTACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECÍFICOS.....	46

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	48
INTRODUCCIÓN.....	48
ÁREA DE ESTUDIO.....	48
DISEÑO METODOLÓGICO.....	49
FUENTE DE DATOS SECUNDARIOS.....	51
ANÁLISIS DE DATOS.....	51
 CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	 55
INTRODUCCIÓN.....	55
RESULTADOS.....	56
 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 70
INTRODUCCIÓN.....	70
CONCLUSIONES.....	70
RECOMENDACIONES.....	72
PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.....	74
LIMITACIONES.....	79
 LITERATURA CITADA.....	 81

## LISTA DE TABLAS

Tablas	Páginas
Tabla 1. Estándares Nacionales Ambientales Primarios y Secundarios de calidad de aire para particulado.	86
Tabla 2. Características del material particulado.	87
Tabla 3. Composición y contribuciones de material particulado.	88
Tabla 4. Porcentaje de composición de material particulado.	89
Tabla 5. Porcentaje individual de Carbono Total como componente de material particulado.	90
Tabla 6. Composición y concentraciones de trazos de metal en material particulado.	91
Tabla 7. Porcentos individuales de componentes de trazos de metal en material particulado.	92
Tabla 8. Contribución de fuentes de material particulado en área de estudio.	93
Tabla 9. Contribución de componentes de trazos de metal en material particulado.	94
Tabla 10. Total de vehículos transitando diariamente por área de estudio años 2000-2003-2006.	95

## LISTA DE FIGURAS

Figuras	Páginas
Figura 1. Concentraciones máximas anuales de 2000-2007.....	97
Figura 2. Promedios de concentraciones anuales de 2000-2007.....	98
Figura 3. Mapa del área de estudio.....	99
Figura 4. Equipo para medir material particulado (SASS).....	100
Figura 5. Equipo de calibración DryCal DC-Lite.....	101
Figura 6. Composición y concentraciones de material particulado en el..... área del Bo. Amelia de Guaynabo, enero 2008.	102
Figura 7. Contribución de fuentes de emisión de material particulado en el..... área del Bo. Amelia, Guaynabo.	103
Figura 8. Vehículos transitando diariamente por área de estudio..... años 2000-2006.	104



## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice	Páginas
Apéndice 1. Hoja de datos.....	106
Apéndice 2. Cooler para transportación de muestras.....	107

## RESUMEN

Este estudio investigativo tuvo como meta, la caracterización del material particulado para determinar su composición química y establecer la posible fuente de emisión que aún se encuentra afectando el Bo. Amelia de Guaynabo un área de “No-Logro” debido a que en el 1987 no cumplió con los estándares de calidad de aire, debido a un excedente al estándar de 24 horas con una lectura de  $285 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y poder establecer estrategias de control ambiental dirigidas a disminuir el impacto del material particulado en el ambiente del área de estudio. El estudio se realizó mediante la toma de 10 muestras de material particulado, con una frecuencia de una cada tres días durante enero del 2008 para ser analizadas por el laboratorio Research Triangle Institute en Carolina del Norte, mediante los métodos de gravimetría para medir masas; rayos x para analizar elementos; cromatografía iónica para analizar compuestos químicos solubles en agua y transmitancia óptica termal para analizar carbonos. Los resultados obtenidos de la caracterización mostraron una composición química que incluían: sulfatos, nitratos, carbón orgánico y elemental y trazos de metal, formando carbón orgánico y elemental el 62 % de la masa total, sulfato el 30 % de la masa total, nitrato el 4.1 % de la masa total y trazos de metal el 3.9 % de la masa total. Dentro de los trazos de metal se incluyen aluminio, arsénico, antimonio, bario y cadmio, formando aluminio el 70.12 % de la composición, arsénico el 1.22 %, antimonio el 5.41 %, bario el 20.66 % y cadmio el 0.53 %, estos elementos están clasificados por la Agencia de Protección Ambiental como peligrosos para la salud. El estudio reflejó un aumento de 11,876 vehículos en un término de seis años en las vías de rodaje principales del área de estudio. En conclusión, los componentes mayores del material particulado provienen de la quema de combustibles, por lo que los vehículos son los mayores contribuyentes de material particulado en el Bo. Amelia de Guaynabo, representando riesgos a la salud. Se recomienda establecer un plan de manejo ambiental con el objetivo de manejar de forma eficiente y efectiva el ambiente para lograr disminuir en un 50% las concentraciones de material particulado, mediante la creación de programas dirigidos a impactar la reglamentación vigente, reforestación y otros, que ayuden a mejorar la calidad del aire y prevenir su deterioro.

## ABSTRACT

This investigative study had as a purpose, the characterization of the particulate matter, to determine its chemical composition to establish the possible emission source that still affect the Amelia ward at Guaynabo city an “Non- Attainment area” because in 1987 it not accomplished with the air quality standars, because an excedent to the 24 hour with a reading of  $285 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and can establish environmental control strategies to decrease the particulate matter impact in the environment of the study area. The study was realize by the take of 10 samples of particulate matter with a frecueny of one in three days each one during January, 2008, the respect analysis was done by the Research Triangle Institute laboratory at North Carolina by methods like gravimetry to the measurement of mass, x-rays to elements analysis, ionic chromatography to the measure of chemical compounds which are soluble in water and thermal/optical transmittance to the analysis of carbons. The characterization main results obtained, shows a chemical composition that include: Sulfate, Nitrate, Organic and Elemental carbons, and metal traces, form the 62 % of the total mass organic and elemental carbons, the 30 % was sulfate, the 4.1 % was nitrate and the 3.9 % was metal traces, this metal traces include Aluminum, Arsenic, Antimony, Barium, Cadmium, where the 70.12 % of the metal traces mass was Aluminum, the 1.22 % was Arsenic, the 5.41 % was Antimony, the 20.66 % was Barium and the 0.53 % was Cadmium, this elements are classified as dangerous to the health by the Environmental Protection Agency. This study shows an increase of 11,876 vehicles in a six years term in the main ways of the study area, in conclusion the largest components of the particulate matter come from the fuel burning, so the vehicles are the largest contributors of particulate matter in the Amelia ward of Guaynabo, representing a health risks. A recommendation to Amelia ward is to establish an environmental management plan with the objective of manage the environment in a effective and efficient way to reduce in a 50% the particulate matter concentrations, with the creation of programs to impact the actual regulation, reforestation and other that help to improve the air quality.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **Trasfondo del problema**

El acelerado crecimiento económico, social y urbano experimentado en Puerto Rico en las últimas cinco décadas ha tenido resultados contradictorios, ya que ha redundado en grandes beneficios económicos para los puertorriqueños pero a la vez ha minado seriamente la cantidad y calidad de las riquezas naturales de Puerto Rico. Durante este período, Puerto Rico ha experimentado un crecimiento poblacional de 1.3 millones de habitantes, alcanzando los 3.8 millones de personas (Censo, 2000), de las cuales un millón se encuentran concentradas en el área metropolitana. Por lo tanto, el número de automóviles, una de las principales fuentes de contaminación del planeta Tierra, ha aumentado de unos 50,000 en 1950 a más de dos millones y medio en 2000 ( Baker, 1999).

Más del 50% de la población mundial vive hoy en ciudades. En países desarrollados esta proporción es del 70%, la mayoría de las ciudades posee una atmósfera contaminada o muy contaminada, esto debido a la urbanización creciente y el incremento del tránsito vehicular. La contaminación del aire se define como la presencia de sólidos, líquidos o gases en la atmósfera en cantidades que pueden ser perjudiciales a los seres humanos, plantas, animales o a la propiedad o que puede interferir en el disfrute de una buena calidad de vida (Chow, 1998).

Los efectos de la contaminación del aire están influenciados por los tipos y cantidad de contaminantes, los procesos de combustión y las impurezas que estos contienen, el posible sinergismo entre éstos, dirección del viento, la topografía, luz solar, precipitación, temperatura del aire, las reacciones fotoquímicas y la susceptibilidad de los individuos a contaminantes específicos (Chow,1993).

Se pueden encontrar, también, efectos económicos ya que la contaminación del aire puede causar daños a las propiedades, equipos y facilidades (Lapple, 1995).Las fuentes de contaminación del aire pueden ser antropogénicas, por combustión o emisiones de automóviles (Chow,2000), o pueden ser naturales, como el polen de las plantas (Lapple, 1995).

La contaminación del aire ha sido una característica de los lugares que el hombre ha habitado desde que comenzó a agruparse en comunidades, durante el siglo XIX, en los países desarrollados, dado que cambiaron los métodos de eliminación de basura, tratamiento de aguas negras y calefacción doméstica disminuyeron las formas tradicionales de contaminación del aire –humo y olores- y fueron reemplazadas por un grupo nuevo de contaminantes del aire, los cuales son producto de la cambiante sociedad urbana industrial. La mayor parte de los problemas de contaminación del aire son hoy día resultado de las actividades industriales y los medios de transporte, en otras palabras, consecuencia del uso de la energía (Levy & Spengler, D. 2002).

La atmósfera actual, también, contiene partículas y vapores, ambos con ciclos naturales en la atmósfera que se afectan debido a las actividades humanas, el hombre produce partículas en forma directa como resultado de su actividad en la agricultura y en

la industria, y de manera indirecta como consecuencia de las reacciones atmosféricas de las emisiones de gas antropogénicas (Corvalán & Galecio, 2003). El total de partículas liberadas a partir de agentes humanos es sólo cercana al diez por ciento en relación con la cantidad de partículas emitidas de fuentes naturales, estas partículas se concentran en las regiones industriales que tienen alta densidad de población.

El Ing. Gabriel López Vidal, del Instituto Mexicano del Petróleo, expuso que las partículas pueden causar un efecto sobre el confort humano al producir suciedad, y sobre la salud al actuar como transporte de residuos como plomo o hidrocarburos poliaromáticos hacia los pulmones. En la atmósfera, las partículas actúan como centros de reacción al facilitar reacciones de gases y también en forma adversa al afectar la visibilidad y la penetración de la luz solar, para que los gases y las partículas se consideren contaminantes, sus concentraciones deben exceder en extensión significativa a sus correspondientes concentraciones ambientales normales, en otras palabras, las sustancias en el aire son contaminantes cuando sus concentraciones son suficientes para causar efectos adversos sobre el hombre y su ambiente.

Los contaminantes pueden encontrarse en forma de partículas, aerosoles y gases o como microorganismos; puede incluir plaguicidas, olores y partículas radioactivas (Lapple, 1995). Por la ubicación geográfica de Puerto Rico, los vientos alisios se encargan de que todo particulado que circula en el norte de África llegue a nuestra área. Esas partículas suspendidas de los polvos del Sahara están constituidas, entre otras cosas, por alérgenos como los del polvo local; con la diferencia de que llegan a Puerto Rico en una concentración mayor (Zaragoza, 2005).

Las zonas del país que más se afectan son el norte y el noreste, ya que la Cordillera Central protege a la zona sur (Zaragoza, 2005). El material particulado es una combinación de sólidos finos como son el sucio, el polvo, el polen, las cenizas y los aerosoles que son formados en la atmósfera de combustión gaseosa por productos como compuestos orgánicos volátiles, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno (Lapple, 1995).

Para controlar la contaminación del aire es necesario saber cuales son las fuentes de contaminación y como operan. Es posible, al menos en teoría, controlar la contaminación del aire mediante la eliminación de las fuentes. Sin embargo, esto tendría un efecto sumamente destructor en nuestra sociedad y en el modo que vivimos; por ejemplo, no se tendría posibilidad de utilizar demasiada electricidad, conducir automóviles ni usar algo que contuviera metales o plástico, sería casi imposible la vida en un ambiente urbano contemporáneo (Burnett, 2001).

Por consiguiente, tenemos que controlar la contaminación del aire producida por nuestras actividades, lo cual requiere un conocimiento de los procesos que sostienen nuestro estilo de vida

Las dos fuentes principales de contaminación de aire son: las fuentes estacionarias y las móviles. Las fuentes estacionarias son aquellas que tienen una localización relativamente fija, estas incluyen las fuentes dispersas, fuentes fugitivas y fuentes de área, las fuentes dispersas son aquellas que emiten contaminantes al aire de uno o más lugares controlados como las chimeneas industriales.

Las fuentes fugitivas son las que generan contaminantes al aire de áreas abiertas expuestas a los procesos del viento, como por ejemplo, las carreteras sucias, los lugares

en construcción y cualquier otra área de donde se puedan remover materia particulada por el viento. Las fuentes de área son localizaciones de donde se emiten los contaminantes de aire en un área bien definida dentro de la cual se encuentran varias fuentes de emisión.

Ejemplo de ello es al observar comunidades urbanas pequeñas o áreas de industrialización intensa dentro de complejos urbanos. Las fuentes móviles son emisores de contaminación de aire que se mueven de un lado a otro mientras descargan sus emisiones, aquí podemos encontrar los vehículos de motor, camiones, autobuses, aviones y barcos (Burton, 2000)

Los contaminantes, según su origen, se clasifican en primarios y secundarios. Los contaminantes primarios se encuentran en la atmósfera en forma idéntica a como fueron emitidos, en otras palabras, no han sufrido ninguna alteración fundamental en su estructura molecular original. Los contaminantes secundarios son el resultado del producto de las reacciones químicas ocurridas en la atmósfera con contaminantes primarios.

Por lo tanto, la contaminación por particulado proviene de fuentes diferentes, como lo son las industrias, chimeneas, escape de automóviles, el transporte en los países desarrollados contribuye como fuente contaminante en cerca del 45%, quema de madera, construcción, agricultura, salitre del mar, erupción volcánica y el polvo del Sahara. El estándar de calidad de aire para material particulado establecido por la Agencia de Protección Ambiental y adoptado por la Junta de Calidad Ambiental es para 10 micrones,  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  anual y  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 horas, para 2.5 micrones son  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  anual y para



24 horas  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se hace referencia al estándar porque el área de estudio, aunque cumple moderadamente con el estándar no se ha logrado disminuir el particulado, los estándares se detallan en la (Tabla 1).

Los particulados son agregados, muchas veces de moléculas similares, y en otras de moléculas distintas. Estas se generan en el aire por medio de varios procesos.

Muchas de estas reaccionan químicamente con gases atmosféricos o vapores para formar diferentes compuestos. Cuando dos partículas chocan en el aire, tienden a adherirse cada una por causa de fuerzas de atracción superficial, formando progresivamente partículas grandes y más grandes por aglomeración (Klemm & Mason, 2000).

Las partículas más grandes caen al suelo, proceso conocido como sedimentación, lavado de particulado por medio de lluvia, ventiscas, bruma o neblina es una forma común de sedimentación y aglomeración (Mouche, 2000).

El particulado mezclado en la atmósfera es dinámico con la inyección continua en el aire de fuentes de partículas pequeñas, su creación en el aire por condensación o reacciones químicas entre los gases y vapores en el aire; y su remoción del aire por aglomeración, sedimentación, o impactación.

Antes de la llegada del hombre y sus trabajos, ya se encontraban partículas en el aire, estas de fuentes naturales. Estas incluyen todas las formas de particulado de vapor de agua condensado; las formas de condensación y reacción de vapores orgánicos naturales; partículas de sal resultantes de la evaporación de agua de mar, polen, hongos, bacterias y desperdicios de animales y plantas.

Por lo tanto, uno de los mayores problemas, es si la toxicidad de las partículas se encuentra en alguna fracción particular o si depende del tamaño o su composición química, la importancia de esta última ha sido, hasta la fecha, muy poco valorada, aún cuando existe evidencia de que esas pequeñas partículas de combustión provenientes de los automóviles que abundan en nuestra ciudad son alergenas, tóxicas y carcinógenas.

### **Problema de estudio**

Alrededor del aire se pueden encontrar cosas flotantes, muchas de ellas, no se pueden ver. Ellas son un tipo de contaminantes del aire llamadas partículas o material particulado, el cual es el contaminante que comúnmente más afecta al ser humano y el ambiente. Las partículas contaminantes son una mezcla de líquidos y sólidos microscópicos suspendidos en el aire, está constituida por un número de componentes, incluyendo ácidos (como nitratos y sulfatos), químicos orgánicos, metales, partículas de suelo o polvo, y alergenos (como fragmentos de polen o esporas), pueden encontrarse en diversas formas y tamaños.

La contaminación por particulado puede ser emitida directamente o formada secundariamente en la atmósfera, por ejemplo, los sulfatos son un tipo de partículas secundarias formadas de emisiones de dióxido de azufre provenientes de plantas de energía y facilidades industriales. Nitratos, otro tipo de particulado, es formado de emisiones óxidos de nitrógeno de plantas de energía, automóviles, y otras fuentes de combustión.

La composición química de las partículas depende de la localización, tiempo y clima, por su tamaño estas tienden a permanecer en la atmósfera por mucho tiempo desde días hasta semanas, otro ejemplo de fracción significativa de material particulado son los carbonos orgánico y elemental.

Dentro de los principales contaminantes atmosféricos, se encuentran un conjunto de compuestos orgánicos de naturaleza semivolátil. Por sus características fisico-químicas, estos compuestos se encuentran normalmente asociados al material particulado en suspensión, conocido como, aerosoles (Manzo, 2003).

Un aerosol puede ser definido como partículas sólidas o líquidas en suspensión en un gas, usualmente aire e incluye polvos, humos, ventizcas, neblina y smog. Los aerosoles están libres y no confinados solamente a aquellas áreas donde están localizadas las fuentes. Los polvos formados por procesos de desintegración, como son; moler, pulverizar, arrojado y taladrar pueden volar hacia el aire; el humo puede ser emitido de la combustión incompleta de madera o desperdicio agrícola.

Bruma o partículas que incorporan algún vapor de agua dentro o alrededor de estas pueden ser formadas sobre vegetación; el smog puede desarrollarse como resultado de reacciones fotoquímicas, estas son reacciones antropogénicas comunes de áreas mayormente urbanizadas.

El tamaño es una de las características más importante en la determinación de las propiedades, efectos y destino de particulado atmosférico. La clasificación en tamaño de partículas en aerosol se facilita grandemente si las partículas son esféricas, el tamaño es entonces definido por radio o diámetro.

Una distribución en tamaño puede referirse al número, densidad, volumen, masa, o cualquier otra propiedad que varíe con el tamaño de la partícula. Un rasgo importante de la distribución en tamaño del aerosol atmosférico es su naturaleza multimodal (Gamble, 2001).

Las fracciones en tamaño MP 2.5, MP 10 y particulado total suspendido (TSP, por sus siglas en inglés) son idealmente medidas por monitoreo de calidad de aire por distribución de rango y tamaño (John, 1997). La mayoría de los estudios epidemiológicos utilizan para sus investigaciones particulado métrico como es el material particulado (Greenbaum & Bachean, 2001).

El material particulado es un contaminante de naturaleza compleja no sólo por sus características físicas (masa, tamaño, y densidad), sino también por sus características químicas (contiene compuestos orgánicos e inorgánicos, metales y contaminantes primarios y secundarios), sus maneras de formación, como son; reacciones químicas, condensación, coagulación y procesos de neblina.

Dentro de sus características podemos nombrar la solubilidad (grandemente soluble), sus fuentes precursoras, como; combustión (aceite, gasolina, diesel, madera), su vida atmosférica (días a semanas) y su capacidad de viajar grandes distancias (de cien a miles de km) como podemos observar en la Tabla 2.

El comportamiento de las partículas en la atmósfera está determinado por su tamaño, siendo las de menor tamaño afectadas por movimientos de tipos browniano y las de mayor tamaño por fuerzas gravitacionales e inerciales (Lazar et al., 2003).

Los tiempos de residencia de las partículas en la atmósfera, también dependen de su tamaño. Las partículas de menor tamaño pueden tener tiempos de residencia de días o incluso semanas y podrían ser transportadas miles de kilómetros (Sosaky et al., 2003). Las partículas de mayor tamaño pueden tener tiempos de residencia de minutos a horas y pueden ser transportadas hasta unos pocos centenares de kilómetros (Vana et al., 2003).

No importa su tamaño estas partículas pueden penetrar los mecanismos de defensa del sistema respiratorio y depositarse en el área de los pulmones (Hajat & Haines, 2001). En estas podemos encontrar sulfatos y nitratos los cuales presentan potencial daño a la salud y causan una disminución en la visibilidad. Adicionalmente se encuentran compuestos orgánicos como los hidrocarburos aromáticos, policíclicos, algunos con potencial cancerígeno y mutagénico (Sienra et al., 2005).

También es posible encontrar metales pesados como; Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Niquel (Ni), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), y Vanadio (V), que tienen varios efectos sobre la salud humana. Estas partículas son de origen antropogénico, asociado a procesos de combustión y a varios procesos relacionados con la presencia de compuestos orgánicos y especies inorgánicas (Sudesh & Rajamani, 2006).

Algunos de éstos son elementos esenciales para el crecimiento, reproducción y supervivencia de organismos vivos, pero otros poseen un elevado potencial de daño para la salud humana y el ambiente aún en bajas concentraciones, muchos de los efectos pueden asociarse con poblaciones de aerosoles desde fuentes individuales o tipos de fuentes genéricas (Brodish & Massing, 2000).

Metales de transición asociados con material particulado que pueden generar radicales hidroxilos produciendo daño oxidativo, pueden ser especialmente peligrosos (Donaldson et al., 2004); sin embargo, la respuesta provocada por la producción y liberación de mediadores inflamatorios de las vías respiratorias parece deberse a metales específicos.

Por otro lado Costa y Dreher (2004) indican que la dosis de metales biodisponibles, y no la masa de partículas, se relaciona con lesiones asociadas con el sistema cardiopulmonar.

La EPA define a Berilio (Be) y a Mercurio (Hg) como elementos altamente peligrosos; elementos como Ba, Cd, Cu, V, Manganeso (Mn) y Estaño (Sn) han sido también identificados como elementos con alto potencial de peligrosidad. Todos estos elementos, a excepción del Mn, han sido identificados como elementos traza y todos estos a excepción del Ba son metales pesados, además de ser emitidos por diferentes tipos de fuentes estacionarias de combustión (Mukherjee et al., 2003).

Propiedades que se esperan demuestren variación geográfica que tengan influencia en la toxicidad de la partícula incluyen lo siguiente:

- volumen de composición química.
- contenido de elementos traza.
- contenido de ácidos fuertes.
- contenido de sulfato.
- distribución en el tamaño de la partícula.

Podemos considerar que el material particulado está hecho de componentes mayores, cada uno representando algún porcentaje del total de masa de particulado (Harrison & Jones, 2004).

El volumen de composición química se refiere a la abundancia relativa de estos componentes mayores, muestras de aire de áreas urbanas de diferentes partes del mundo típicamente demuestran los mismos componentes mayores, aunque en proporciones diferentemente considerables de acuerdo a la localización de la muestra de aire.

Estos componentes mayores son típicamente los siguientes:

1. Sulfato- derivado predominantemente de la oxidación de dióxido de azufre en la atmósfera. Sulfato de amonio, Bisulfato de amonio y ácido sulfúrico son las formas más comunes de sulfato en el particulado atmosférico.
2. Nitrato- este es formado de la oxidación de dióxido de nitrógeno, y por una forma mayor, nitrato de amonio, está en equilibrio en la atmósfera con sus precursores vapor de ácido nítrico y gases de amoníaco (Harrison & Msibi, 2004).
3. Carbón Orgánico y Elemental- proveniente de procesos de combustión, más notablemente del tránsito en carretera, este emite partículas que contienen carbón en forma de pepita sólida de carbón elemental. Carbón orgánico también es incorporado en las partículas como resultado de procesos fotoquímicos atmosféricos que producen una baja volatilidad de compuestos de carbón.

El volumen de composición química del material particulado puede variar sustancialmente entre áreas urbanas, por diferentes razones; los factores climáticos influyen fuertemente en las concentraciones de material particulado, en climas seco estos materiales pueden ser de gran importancia.

Las partículas de Sulfato dependen de las emisiones de dióxido de azufre regionales y estas pueden variar apreciablemente entre países y en diferentes partes o lugares de un país grande. Se ha reconocido que algunos trazos de metal como son plomo, cadmio y mercurio son altamente tóxicos en grandes dosis, pero exposiciones a través de inhalación de material particulado suspendido urbano en un mundo desarrollado, es insuficiente para causar efectos tóxicos a través de los mecanismos clásicos de toxicidad.

En el material particulado podemos encontrar contenido de ácidos fuertes, esto, cuando nitrato y sulfato son formados en la atmósfera por la oxidación de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Ácido nítrico es un vapor que solo puede incorporarse dentro del particulado suspendido en un grado significativo por la pérdida de su acidez, esto a través del desplazamiento de ácido hidrocórico de partículas de sal marina para formar nitrato de sodio, o por neutralización de amoníaco para formar nitrato de amoníaco.

En el caso de ácido sulfúrico, este es no volátil, y una vez formado es incorporado inmediatamente dentro del particulado suspendido, cual es solamente neutralizado por amoníaco atmosférico. Estudios realizados por Harvard (Dockery et al., 2000) y la Sociedad Americana del Cáncer (Pope, 2002) han relacionado grados de mortalidad con concentraciones de sulfato.



Schwartz et al., (2003) también han realizado una serie de estudios de mortalidad diaria en relación con material particulado y sulfato, encontrando una fuerte asociación entre ellos, aunque, el contenido de partículas de sulfato es altamente variable de ciudad en ciudad.

Ejemplo de esto es un estudio realizado en Philadelphia por Burton, 2000 el cual reflejó un 48% de sulfato como componente del material particulado, mientras que un estudio en Rubidoux, California por Chow, 2000 reflejó solamente un 6.2% del material particulado; por lo tanto, el sulfato representa una porción relativamente constante de material particulado.

### **Justificación del estudio**

Durante más de 15 años se implantaron medidas de control para disminuir el problema de particulado en el Bo. Amelia de Guaynabo, el cual afecta la calidad de vida (por el nivel de bruma) inclusive puede afectar la visibilidad, esto a causa de la habilidad del particulado de absorber la luz, aparte del daño a los residentes, trabajadores y sus propiedades, materiales y vegetación.

En el patrón completo de contaminación, el diseño de muchas ciudades modernas, en particular las que se desarrollaron durante los últimos treinta años, ha hecho del automóvil una necesidad y del transporte público una opción muy costosa, los automóviles privados producen más de un tercio de los principales contaminantes del aire

en las ciudades, a esto se le suman las aportaciones contaminantes de otros medios de transporte, como son los camiones y los autobuses, algo que es evidente en el área del Bo. Amelia de Guaynabo donde los últimos años ha habido un aumento en el flujo vehicular, ocasionando en muchas zonas deterioro en las vías de rodaje, lo cual puede servir de precursor de particulado en la zona.

Por lo tanto, conocer con más exactitud la posible fuente mayor de contaminación y proveer medidas de control para resolver el problema, ayudará a mejorar la salud, calidad de vida y medio ambiente de este sector, así como lograr alcanzar los estándares establecidos por ley.

### **Hipótesis**

**Hipótesis alterna:** Debido al crecimiento poblacional en Puerto Rico, los vehículos de motor son la fuente de mayor impacto de material particulado en el Bo. Amelia de Guaynabo.

**Hipótesis nula:** Los vehículos de motor no son la fuente de mayor impacto de material particulado en el Bo. Amelia de Guaynabo.

### **Meta y Objetivos**

Meta:

Realizar un estudio sobre la composición química del particulado para así determinar la posible fuente de mayor impacto en el ambiente y la población del Bo. Amelia de Guaynabo.

Objetivos:

1. Determinar la composición química del material particulado y la tendencia de sus componentes para establecer la posible fuente de mayor impacto en el ambiente y la población.
2. Establecer estrategias de control ambiental para disminuir el impacto del particulado en el ambiente.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **Trasfondo histórico**

El aumento en población actualmente ha ejercido impactos en el ambiente, en estadísticas de población de acuerdo al Censo, se puede percibir que existen sectores de alta concentración poblacional en Puerto Rico como es Guaynabo donde enfrentan problemas con la contaminación del aire por material particulado.

De acuerdo al Censo, en estadísticas de población de Puerto Rico para 1960-2000, el municipio de Guaynabo para 1960 contaba con una población de 39,718, para 1970 una población de 67,042, para 1980 una población de 80,742, para 1990 una población de 92,886, para 2000 una población de 100,053 lo que evidencia un aumento en concentración poblacional de 60,000 habitantes en 50 años, aproximadamente 12,000 habitantes por año.

El área del Bo. Amelia, Guaynabo ha sido objeto de un crecimiento industrial y poblacional con una deficiente planificación, tiene grandes complejos residenciales y comerciales, está formada por espacios urbanos que combinan elementos de problemas sociales, económicos, de salud y ambientales.

Producto de ello se han concentrado varios tipos de industrias y de actividades cuyas operaciones ocasionan emisiones de varios contaminantes, siendo la materia particulada la de mayor preocupación.

Todo esto movido hacia un desarrollo urbano con una alta concentración de tránsito vehicular en nuestras carreteras, por ejemplo, en el peaje de Plaza Buchanan en horas pico se concentra gran cantidad de vehículos de motor (autos, camiones y motoras) que viajan en una sola dirección.

En datos suministrados por el Departamento de Transportación para el 2005, por dicho peaje transitaron 904,785 vehículos de motor, en comparación con el 2004 donde transitaron 874,086. Si se comparan estos dos años, la cantidad de tránsito vehicular aumentó en 30,739, este aumento hace que se formen embotellamientos a diferentes horas y los vehículos que transitan emitan gases de sus motores al aire. También en la entrada de la Autoridad de Puertos, el tránsito vehicular de camiones es constante y combinado con la entrada de barcos, el polvo fugitivo de las carreteras sin repavimentar produce contaminación atmosférica, haciendo que la calidad del aire se afecte.

En julio 1 de 1987, la Agencia de Protección Ambiental implementó un nuevo estándar de calidad de aire para material particulado en el ambiente, reemplazando el anterior de particulado grueso o particulado total suspendido (TSP, por sus siglas en inglés). La materia particulada existe en toda una gama de tamaños, siendo las partículas aerodinámicas con un diámetro menor de 10 micrones las más importantes por su habilidad para penetrar los pulmones (Lapple, 1995). Existen dos estándares establecidos para 24 horas, el estándar primario que está diseñado para proteger la salud humana y el estándar secundario que está diseñado para proteger y evitar efectos adversos al: suelo, agua, vegetación, clima, visibilidad, el confort y bienestar del hombre.

La ley de Aire Limpio (CAA, por sus siglas en inglés) requiere que todas las áreas que han medido una violación a los Estándares Nacionales Ambientales de Calidad de Aire (NAAQS, por sus siglas en inglés) sean designadas No-Logro. De modo que, a tenor con el Título I de las enmiendas del 1990 de la ley de Aire Limpio, el Municipio de Guaynabo fué designado área de No- Logro para PM 10 el día 14 de noviembre de 1990 por la EPA, producto de un excedente al estándar de 24 horas en agosto de 1987 de acuerdo con los datos del Sistema de Recolección de Información Aerométrica de la EPA el cual demostró un valor de 285  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En datos suministrados por la División de Validación y Manejo de Datos de la Junta de Calidad Ambiental, para el 1995 el municipio de Guaynabo logró mantener la Norma Nacional Anual de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  obteniendo un 40 de promedio, aunque reflejando valores máximos de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En años más recientes para el 2000 obtuvo un promedio anual de 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con máximas de 107  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, en el 2001 obtuvo un promedio anual de 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con máximas de 113  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, en el 2002 obtuvo un promedio anual de 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con máximas de 92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, para el 2003 obtuvo un promedio anual de 34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con máximas de 92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas.

Para el año 2004 obtuvo un promedio anual de 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con máximas de 96  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, en el 2005 obtuvo un promedio anual de 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con máximas de 117  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, en el 2006 obtuvo un promedio anual de 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con máximas de 112  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, para el 2007 obtuvo un promedio anual de 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con máximas de 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas (Figuras 1 y 2 ), aunque el municipio de Guaynabo

cumple con la Norma es evidente que aún confronta problemas de contaminación con particulado ya que mantiene lecturas considerablemente altas en comparación con la Norma de 24 horas.

Basado en las lecturas del monitor ambiental el área principal concerniente es la porción norte del Municipio de Guaynabo, la cual es limítrofe con Cataño e inmediatamente adyacente a la porción industrializada de San Juan al este, un área de No-Logro es una donde se ha probado, mediante muestreo, que viola algún estándar en más de una ocasión y está delimitada por los límites municipales del municipio donde se encuentran ubicadas las estaciones de muestreo. Las emisiones de material particulado en el área del Bo. Amelia, Guaynabo provienen en su mayoría, de las descargas, procesamientos y acarreo de granos, la combustión fósil para producir calor como energía eléctrica, el movimiento vehicular y de embarcaciones a la bahía, las construcciones y el polvo del Sahara.

Para tratar de resolver el problema se establecieron controles que incluyeron, mejoras en el manejo de granos, aumentar la eficiencia de los equipos de control ambiental, asfaltar y pavimentar caminos y estacionamientos. Luego de 15 años y con todos esos controles aún Guaynabo sigue confrontando problemas de particulado y, por lo tanto, este estudio va dirigido a caracterizar el particulado en esta localización para determinar la posible fuente de mayor contaminación y establecer un plan de medidas que ayuden a la disminución del particulado, de acuerdo a su composición.

### **Efectos del particulado en la salud**

Actualmente, los problemas de contaminación ambiental son ampliamente reconocidos a nivel mundial. En lo que al aire se refiere, estos son los que traen mayormente riesgos a la salud y al bienestar de la población. Muchos de esos problemas son consecuencia del rápido y desordenado crecimiento urbano y vehicular, industrialización, fenómenos que muchas veces no van acompañados de programas cuyo objetivo es proteger el ambiente.

Las partículas están relacionadas con la salud porque pueden alcanzar el área más profunda de los pulmones. En 1984 los niveles extremadamente altos de contaminación del aire se asociaron con episodios de mortalidad en Estados Unidos, Londres, Inglaterra y Bélgica, esos episodios se caracterizaron por elevados niveles de partículas.

El aire se considera el elemento más indispensable para la supervivencia del hombre, los animales y la vegetación. No obstante la importancia del aire para la supervivencia, los seres humanos en su búsqueda de una vida más cómoda y agradable ha contaminado la atmósfera a través de sus actividades sin tomar medidas preventivas ni de controles necesarias para evitar la contaminación atmosférica. Puerto Rico se ha transformado durante las últimas décadas de un país de economía agrícola a uno predominantemente industrial.

Los problemas de contaminación atmosférica generados por la alta concentración de industrias, se agravan si tomamos en consideración la alta densidad poblacional de la isla. En Puerto Rico vivimos cerca de cuatro millones de habitantes cuya extensión territorial se limita a 3,435 millas cuadradas.



La densidad poblacional de Puerto Rico es una de las más altas del globo terráqueo, por lo tanto, los problemas de contaminación atmosférica nos llevan a una relación directa entre el deterioro de la salud pública y el nivel de degradación atmosférica.

La contaminación de aire está íntimamente relacionada con enfermedades respiratorias, tales como bronquitis, cáncer del pulmón, enfisema y otras. Además, la contaminación de aire produce efectos adversos sobre la agricultura, los ecosistemas, genera corrosión en los materiales y ocasiona daños a la propiedad. Los agentes contaminantes en grandes concentraciones alteran adversamente los mecanismos de defensa pulmonares, afectando el sistema de cilios del epitelio que cubre los pulmones causando irritación e inflamación (Pedraza, 2005). Estos cambios producidos por los contaminantes causan el desarrollo de espasmos bronquiales severos que impiden respirar adecuadamente.

Si los contaminantes son experimentados por largos períodos de tiempo, pueden ocasionar hasta la muerte por asfixia. En Puerto Rico se han realizado estudios por el Departamento de Salud y el Recinto de Ciencias Médicas sobre alteraciones fisiológicas medidas en términos de función pulmonar en el barrio Amelia de Guaynabo, los resultados mostraron un patrón de obstrucción respiratoria de aproximadamente 5% en la población estudiada. Se compararon los datos con un estudio en Playa Cortada de Santa Isabel donde pruebas similares de espirometría revelaron que en esa área de baja contaminación atmosférica la población no reveló obstrucciones pulmonares, se han

observado también deterioros en algunos vegetales y plantas, luego de realizar los estudios en estas áreas han demostrado que cada contaminante produce un efecto distinto en la vegetación. La contaminación del aire puede afectar a las plantas en diferentes grados, a los niveles más bajos, por ejemplo, debajo del umbral, no hay efectos, tales como daño visible, efectos crónicos acumulativos, efectos genéticos o aun cambios graduales en la composición de la comunidad vegetal. Sin embargo aún a este nivel los contaminantes se pueden almacenar en las plantas, introducir en la cadena alimenticia y afectar a los animales que se comen esas plantas.

Las plantas adquieren los contaminantes ya sea directamente, a través de intercambio de gases con la atmósfera, o a través de la humedad absorbida del suelo. Además los contaminantes del aire tienen un efecto deteriorante sobre los materiales: piedras, pinturas, vidrio teñido, materiales de fibras y otros, el efecto de ensuciamiento por partículas es obvio en ciudades industriales donde los edificios de piedras son levemente coloreadas y los ladrillos pronto adquieren el característico color negro.

Estudios en salud han demostrado una asociación entre exposición a particulado y muertes prematuras por parte de enfermedades del corazón y pulmones. El particulado puede empeorar las enfermedades del corazón y los pulmones y están vinculadas a efectos como; síntomas cardiovasculares; ataques de asma; y bronquitis, estos efectos pueden resultar en aumento en admisiones hospitalarias, visitas a salas de emergencias, ausencias al trabajo y a la escuela, y la restricción de actividades diarias (Levy, et al. 2001).

Individuos que son particularmente sensitivos a la exposición de particulado incluyen personas con enfermedades del corazón y los pulmones, ancianos y niños, los riesgos a la salud por particulado son en función del tamaño y la concentración de la dosis inhalada, el particulado puede ser respirado hacia los pulmones y por lo tanto, sus efectos a la salud ser severos (Prescott & Cohen, 1998). Estudios en asma y eficiencia pulmonar han revelado que el material particulado puede reducir el funcionamiento pulmonar y puede causar condiciones respiratorias agravantes, y aumentar el tiempo de riesgo de cancer pulmonar y otras enfermedades pulmonares como pueden ser enfisema, bronquioectasis, fibrosis pulmonar, y pulmones císticos (Ghio & Deblin, 2001). El particulado tambien puede causar deterioro en la visibilidad, esto afectando el bienestar humano, su gran impacto en la reducción de la visibilidad es debido a su habilidad de disipar la luz, como es el caso de la ciudad de Denver donde una densa nube color marrón es causada por particulado.

En Fort Collins se monitorea el material particulado desde 1986, después de algunos mejoramientos al manejo de carreteras y a las prácticas de quema de madera, el material particulado ha logrado mantenerse dentro de los estándares de calidad. En Ontario, Canada el material particulado está mayormente compuesto de partículas de sulfato y nitrato, carbón orgánico y elemental y suelo, es principalmente formado de reacciones químicas en la atmósfera y de la combustión de vehículos de motor, plantas generatrices, facilidades industriales. Significantes cantidades de material particulado el 50% es transportado hacia Ontario desde los Estados Unidos durante periodos de niveles

elevados, el cual es también responsable de efectos ambientales como corrosión, daño a la vegetación y reducción a la visibilidad. En la Columbia Británica el particulado está considerado el peor problema de contaminación de aire local, dentro de la perspectiva de salud pública, es el más serio de los contaminantes que afectan la salud, el más tóxico de los ingredientes del smog, (Phalen, 2004).

Exposición a altos niveles de particulado está asociado con un alza significativa en el número de muertes prematuras de enfermedades respiratorias y del corazón, sobre 1.2 millones de canadienses sufren de asma, que es la causa más común de emergencias médicas en niños (Hering, 1994a). En cuanto al ambiente el material particulado en la atmósfera puede reducir la visibilidad, a través de su habilidad de disipar y absorber la luz, partículas en tamaño de un rango de 0.1-1 micrones en diámetro puede causar la mayor reducción en visibilidad, la razón es que este diámetro de partículas es del mismo tamaño del largo de onda de la luz visible, el cual lo hace disponible para bloquear la salida de la luz. En la región de Skeena, las montañas también se están viendo obstruidas de vista ambiental, estos efectos ambientales son serios desde la perspectiva de la seguridad aérea y de carretera, en adición al impacto económico del turismo local.

La degradación de la visibilidad por causa del humo puede interferir con la transportación aérea y terrestre, grandes volúmenes de humo pueden obscurecer la visibilidad de los pilotos, otro problema significativo para los residentes y turistas, es que los escenarios naturales pueden ser difícil para observar o se mantienen la mayor parte del tiempo detrás de una nube de humo, fotógrafos profesionales que visitan o viven en la región lo piensan dos veces para trabajar en dicho escenario.

Otro impacto ambiental del material particulado es el efecto en el suelo, este ha sido experimentado en comunidades como Port Edward, en la porción oeste de la región de Skeena, cuando el material particulado cae de la atmósfera este se puede acumular en las casas y propiedades de las personas.

El material particulado ha sido motivo de estudio durante los últimos años por el daño que representa para la salud humana (Laden & Dockery, 2001). Las partículas de mayor importancia son aquellas que se pueden inhalar y depositar en regiones sensitivas del tracto respiratorio, afectando los mecanismos de defensa y el tejido pulmonar (Godleski & Verrier, 2000).

Los ancianos, niños, individuos con padecimientos asmáticos y adultos con enfermedades pulmonares o del corazón, son los grupos con mayor riesgo a la exposición por partículas finas (Dye, et al., 2001). Entre más pequeño sea el diámetro de la partícula más profundo puede penetrar en el pulmón y mayor será el impacto en la salud (Oberdoster & Gelein, 2002).

### **Estudios de casos**

Dentro de los principales contaminantes atmosféricos, se encuentran un conjunto de compuestos orgánicos de naturaleza semivolátil. Por sus características fisico-químicas, estos compuestos se encuentran normalmente al material particulado en suspensión (aerosoles). Su origen se circunscribe a fuentes móviles, sector industrial, quema de combustibles sólidos y, en menor proporción, emisiones de origen vegetal, esto fue lo que reflejaron muestras de material particulado en la ciudad de Córdoba.

En un estudio realizado en la Ciudad de México (Borja et, al. 2000) observaron un incremento de la mortalidad asociado de manera independiente con ozono, bióxido de azufre y partículas en suspensión. Cuando se consideraron los tres contaminantes simultáneamente en el mismo modelo, sólo las partículas en suspensión se asociaron con la mortalidad.

Estudios realizados por (Loomis et, al. 2001), observaron un incremento de la mortalidad infantil asociado con los niveles de material particulado que se presentaron días antes de las muertes. La contaminación del aire se complica debido a que el proceso de de urbanización en los países latinoamericanos ha sido extremadamente rápido durante el siglo XX. Existen 14 grandes aglomeraciones urbanas con más de dos millones de habitantes; dos de ellas, la Ciudad de México y Sao Paulo, se encuentran entre las 12 ciudades más grandes del mundo.

Ambas presentaron elevadas tasas de crecimientos alrededor del 2.7% anual, los habitantes de las ciudades representan el 76% del total de la población, por otra parte, la ciudad de Santiago de Chile presentaba una tasa anual de crecimiento urbano inferior a 1.8%, su población urbana representaba 84% de la población del país.

Las estadísticas sobre uso de vehículos proporcionan uno de los índices de contaminación atmosférica potencial más significativos (Ntziachristos & Samara, 2003). Así, se sabe que desde 1984 hasta 1993, el parque vehicular de México ha crecido a un ritmo acelerado, siguiéndole en orden de importancia Chile y Brazil. A pesar de que las cifras que se proporcionan se refieren al total de vehículos por país, no es difícil pensar que la mayoría se concentra en las áreas urbanas y en sus áreas de tránsito.

En estas tres ciudades se implementaron medidas de control para trabajar con la contaminación atmosférica. En México en 1990 se estableció el programa de verificación vehicular, se introdujeron las gasolinas oxigenadas y se inició el programa Hoy no Circula, el cual prohíbe la circulación de los automóviles un día a la semana dependiendo del último número de la tablilla. Establecieron el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica, en el cual se pretendía que no se rebasaran las normas internacionales de plomo, así como de bióxido de azufre, se buscó frenar el incremento de los niveles de partículas originadas por la destrucción de bosques, erosión de suelos y tiraderos que van a dar al aire, información de acuerdo al Departamento de Salud Pública de México.

En Santiago de Chile en 1990 se desarrolló el Plan Maestro de Descontaminación el cual consistía de ampliación de la red de monitoreo ambiental, regulación de fuentes fijas, control de emisiones de fuentes móviles y regulación del sistema de transporte, regulación de emisiones residenciales, regulación de emisiones de fuentes fugitivas.

También consistía en contener la expansión urbana, mejorar la calidad de su infraestructura vial para reducir las emisiones de polvo en suspensión y dotar a la ciudad de áreas forestadas que contribuyan a oxigenar la ciudad. En Sao Paulo, Brazil se desarrolló el Plan de Control de la Contaminación del Aire para reducir las concentraciones ambientales de partículas. El programa de control de partículas, se inició basado, en la aplicación de mejores tecnologías de control para reducir las emisiones tanto industriales como vehiculares de ese contaminante, el objetivo del programa era

reducir y conservar las concentraciones de material particulado dentro de la norma primaria de calidad de aire.

Pudieron constatar la gravedad de la contaminación generada por los vehículos de motor, por lo que todos los vehículos nacionales e importados son sometidos anual y obligatoriamente a emisión de contaminantes. El material particulado sigue siendo un problema de contaminación de aire en las tres ciudades, en México se han registrado las concentraciones de partículas más elevadas en una zona industrial cercana a la autopista, además a los polvos generados por una maderera y calles sin pavimentar que la rodean, esta tendencia de los niveles de material particulado se debe también al incremento de tránsito vehicular.

En Santiago de Chile, el promedio anual de material particulado muestra una tendencia estable y se aprecia un ligero descenso de este contaminante; es probable que esta tendencia se explique por las medidas incluidas en el Plan de Descontaminación se orientaron a combatir la contaminación originada en los procesos de combustión que constituyen la fuente principal de material particulado.

En Sao Paulo, Brazil, las concentraciones de material particulado no muestran una tendencia clara, en marzo de 1994 se tomaron medidas para controlar la emisión vehicular de material particulado. Sin embargo en 1995 en muchos puntos persistían las concentraciones de partículas por encima de las normas de calidad del aire, lo cual indica una influencia de los vehículos automotores en estas concentraciones, asociada a las necesidades de urbanización y planeación del tránsito.



Un estudio detallado de la composición química del material particulado realizado en la zona metropolitana del valle de México ha demostrado que algunos de sus componentes pueden estar asociados con daños específicos a la salud, principalmente aquellos compuestos orgánicos provenientes de las emisiones de vehículos operados con diesel, en el cual encontramos metales pesados, metales con diferentes estados de oxidación, sílice y una gran variedad de especies químicas formadas durante los episodios de smog fotoquímico.

Se determinaron con mayor certidumbre las principales fuentes que contribuyen con la emisión de material particulado a la atmósfera en diferentes sitios de la zona metropolitana de la ciudad de México. Los resultados obtenidos de masa de especies químicas durante el invierno de 1997 mostraron que las emisiones vehiculares son la principal fuente de emisión (mayor que el 60%) en los sitios Pedregal, La Merced y Xalostoc. La emisión de partículas finas por polvos fue importante en los sitios de Tlalnepantla y Netzahualcoyotl (alrededor de 40%), en la estación de La Merced se encontró que la emisión de material particulado por la cocción de alimentos fue considerable (aproximadamente 40%).

Estudios sobre morfología y composición química de partículas realizados por el Departamento de Salud Pública de México reflejaron que los automóviles arrojan al aire ambiental de los centros de la población entre 70% a 80% de los contaminantes emitidos, lo cual depende si la ciudad es mediana o un gran centro de población como son (Zona Metropolitana de la ciudad de México, Guadalajara y Monterrey), en específico los

principales contaminantes emitidos son monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos precursores de ozono, tóxicos, partículas (constituidas de hidrocarburos policíclicos aromáticos, sulfatos y trazas de elementos) entre otros, dichos contaminantes interactúan entre sí o con otros elementos y en presencia de luz solar dan origen a contaminantes secundarios.

Es necesario el desarrollar estudios y proyectos de investigación que tiendan a demostrar la problemática ambiental en dichos centros de población, para que con ello desarrollen programas y acciones específicas que disminuyan en gran medida el impacto ambiental, producido por los vehículos en circulación. Es importante, destacar que los automóviles (gasolina y diesel) emiten en la Zona Metropolitana de México el 75% de los contaminantes arrojados a la atmósfera, en específico, las partículas emitidas anualmente son 20,000 toneladas, las cuales representan cerca del 5% del total, sin embargo, su grado de toxicidad y la exposición de personas asociadas a este sector es mucho más elevado que las partículas provenientes de fuentes naturales.

## **Marco teórico**

### **Caracterización del particulado**

Hasta hace algunos años, las partículas emitidas por los motores a diesel no se consideraban de gran importancia, pero bases científicas, planteaban la necesidad de caracterizar física, química y biológicamente, el efecto de estas en el medio ambiente.

Datos de la Organización Mundial de la Salud, indican que, hoy en día dado a su diminuto tamaño y su composición, en gran medida, representan un factor de toxicidad por estar constituidas principalmente de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA) de los cuales los Pirenos, Fenantrenos y Antracenos, son compuestos que potencialmente son precursores de cáncer en seres humanos. De acuerdo a datos del Centro de Investigación y Estudios Avanzados de México, debido a la altitud de la Zona Metropolitana de México (2240m SNM) existe una reducción en la concentración de Oxígeno del 23%, lo cual propicia que los procesos de combustión a esta altura no sean eficientes, en el caso específico de los automóviles a diesel se incrementa la emisión de partículas, el cual depende de la tecnología de los motores en uso.

Información del Instituto Mexicano del Petróleo sobre emisiones de los motores Diesel, indica que, el motor a diesel fue patentizado en 1892 por Rudolf Diesel, presentaba ventajas en la eficiencia de consumo de combustible comparado con los motores por ignición de bujía. Actualmente, en los Estados Unidos de Norteamérica y en nuestro país los automóviles a diesel son ampliamente camiones, autobuses, equipos de agricultura, embarcaciones marinas y generadores de electricidad, los motores a diesel han demostrado tener ventajas en economía de combustible y durabilidad, pero emiten en gran medida emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx) y partículas de carbón en comparación con los motores a gasolina. Actualmente y gracias a las modificaciones de los componentes internos de los motores a diesel se han reducido sustancialmente las emisiones gaseosas y de partículas.

Las emisiones de escape son influenciadas por la combustión completa o incompleta del combustible y el aceite lubricante, ambos pueden dar origen a mezclas en gases con partículas de carbón de bajo peso molecular.

Así mismo, al ser estudiadas las partículas emitidas por los motores a diesel aportan información importante acerca del destino del azufre presente en el combustible diesel al ser quemado dentro de la cámara de combustión. De acuerdo con el Instituto Mexicano del Petróleo, los sulfatos son compuestos constituyentes de las partículas provenientes de los motores a diesel, generalmente constituyen el 2% de azufre presente en el combustible, tales datos constituyen el balance del dióxido de azufre emitido, actualmente, la reducción en el azufre del combustible diesel origina una reducción en los sulfatos presentes en las partículas.

La combustión del combustible en los motores diesel dan origen a la formación de mezclas complejas de gases y partículas que se emiten a la atmósfera, las cuales se asocian a posibles efectos en la salud del ser humano. En los años recientes a cobrado gran importancia el estudio de las emisiones de partículas emitidas por los automóviles a diesel, en los Estados Unidos de Norteamérica, fue en 1973 cuando el termino smoke (opacidad) asociado a la emisión de estas se dejó de aplicar ya que bases científicas, planteaban la necesidad de caracterizar física, química y biológica, el efecto de estas en el medio ambiente. La formación de las pequeñas partículas de carbón emitidas por los motores a diesel no está completamente establecida, pero se considera que es debido a la formación de compuestos policiclicos aromáticos, el carbón es un producto estable presente en las partículas y se forma en un rango estrecho de temperatura.

Las partículas emitidas por los motores diesel son núcleos sólidos constituidos de carbón, fracción orgánica soluble, sulfatos y trazas de elementos. Cuando comparamos el tamaño de partícula emitida entre los motores a gasolina y diesel, estos últimos emiten partículas de mayor tamaño con rangos entre 0.1 a 1.0  $\mu\text{m}$  con picos de 0.15  $\mu\text{m}$ , las partículas provenientes de los motores a gasolina emiten estas con rango de 0.01 a 0.1  $\mu\text{m}$  con un pico de 0.2  $\mu\text{m}$ , los vehículos denominados para servicio ligero (light duty) a diesel emiten entre 30 a 100 veces más partículas que los automóviles a gasolina equipados con convertidor catalítico, por lo tanto se convierten en un problema tanto para el ambiente como para la salud y el bienestar humano.

Estudios realizados por Keles & Deber, (1999), han revelado que estas partículas pueden viajar hasta los pulmones, pasando nuestro principal mecanismo de defensa respiratorio almacenándose en los alveolos, los pequeños sacos de aire que se encuentran en los pulmones. Joel Schwartz de la Escuela de Salud Pública de Harvard realizó un estudio en el cual documentó el hecho de que por cada aumento en el nivel de contaminación de aire por material particulado hay un aumento medible de enfermedades respiratorias crónicas, por lo tanto un aumento en mortalidad, un claro ejemplo de estos son las muertes relacionadas con neumonía. La neumonía es una enfermedad del pulmón bajo donde las partículas tienden a alojarse, estudios realizados en años recientes han comenzado a revelar una relación entre ataques al corazón y periodos de alta contaminación de aire por material particulado.

El material particulado puede causar inflamación y coagulación de la sangre, contribuyendo a ataques al corazón esto bloqueando el flujo de sangre que viaja hacia el corazón (Frank & Tankersley, 2002). Estudios más recientes han comenzado a demostrar que estas partículas también pueden crear reacciones eléctricas que pueden afectar el sistema nervioso central, contribuyendo al problema.

### **Marco legal**

Las emisiones de contaminantes atmosféricos en el aire ambiental están reguladas por la ley de Política Pública Ambiental (ley Número.416, aprobada el 22 de septiembre de 2004, antes ley Número.9), Regulación para el Control de Contaminación Atmosférica, el Plan de Implementación Estatal de Puerto Rico (SIP, por sus siglas en inglés), así como por el Acta de Aire Limpio Federal (CAA, por sus siglas en inglés).

### **Ley de Política Pública Ambiental**

La Ley de Política Pública Ambiental Número 416 faculta a la Junta de Calidad Ambiental (JCA) la autoridad para determinar a través de estudios y muestreos la calidad del aire ambiental, para promulgar regulaciones que establezcan los requerimientos necesarios para el control de emisiones de contaminantes atmosféricos, y para acoger y administrar la delegación de programas de conservación de aire ambiental federal. Autoriza a la JCA para adoptar e implementar la mayor fuente de programas de permisos operacionales requeridos por la Sección 501 del CAA; para autorizar la creación del Consejo Asesor de Complacencia para Pequeños Negocios requeridos por la Sección 507

del CAA; y para autorizar a la JCA para proveer asesoramiento al Gobierno de Puerto Rico y a la Legislatura concerniente a la efectividad del Programa de Asistencia Técnica de Fuentes Estacionarias de Pequeños Negocios.

### **Reglamentación para el Control de Contaminación Atmosférica**

La Reglamentación de Aire fue promulgada para preservar la calidad natural del aire ambiental y para establecer estándares y requerimientos para la prevención, eliminación y control para la contaminación del aire. Para cumplir con este objetivo la Regulación de Aire regula la emisión de contaminantes atmosféricos dentro del aire ambiental de fuentes estacionarias. La Reglamentación de Aire define “contaminación de aire” como la presencia en el aire de uno o más contaminantes atmosféricos los cuales de acuerdo a su cantidad y duración pueden ser perjudiciales a la salud y el bienestar humano, adversamente afecta a los animales o la vida de las plantas, daña las propiedades, o viola algún estándar establecido en la Reglamentación de Aire o cualquier regulación propuesta bajo el CAA. El término “contaminante de aire” es definido como polvo, humo, cenizas, material particulado, vapores, gases, olores, sustancias físicas, sustancias químicas, sustancias biológicas, o sustancias radioactivas, o cualquier combinación de estas, vapor de agua no combinado no se considera contaminación de aire. La Reglamentación de Aire también identifica “contaminación de aire regulada o sustancias reguladas” para propósito de determinar la aplicabilidad de las Reglas de Permisos de Operación para fuentes de Título V.

Los contaminantes de aire regulados son: óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de azufre, material particulado, monóxido de carbono, ozono, plomo o cualquier contaminante sujeto a los estándares o requerimientos establecidos bajo las secciones 112(g), (j) y ( r) del CAA. La Reglamentación de Aire regula las fuentes estacionarias a través de sistemas de permisos, una “fuente” se define como cualquier estructura, edificio, facilidad, instalación o combinación de estas, localizadas en una o más propiedades contiguas o adyacentes bajo una operación o posesión común, las cuales emiten o pueden emitir un contaminante atmosférico.

Los vehículos de motor y las embarcaciones marítimas, las únicas fuentes no-estacionarias actualmente no reguladas, están sujetas a una limitación de emisiones visibles. Vehículos de motor impulsados por gasolina y diesel, así como embarcaciones marítimas, no están permitidas a ocasionar la emisión de contaminantes de aire visibles con una opacidad mayor de 20 por ciento por más de 5 segundos consecutivos cuando están estacionados en posición de reparación o anclados en cualquier muelle o puerto de Puerto Rico. La Reglamentación de Aire específicamente prohíbe la emisión de contaminantes atmosféricos en violación de las “regulaciones y reglas aplicables”, este término incluye pero no se limita a: todas las regulaciones y reglas aplicables propuestas para el control de contaminación atmosférica en relación a la ley Número 416 y en el CAA; a todos los requerimientos adoptados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) en relación al CAA; y a todos los requerimientos adoptados por la JCA para asegurar el logro y el mantenimiento de los Estándares Nacionales Ambientales de Calidad de Aire (NAAQS, por sus siglas en inglés).



## **Plan de Implementación Estatal**

La sección 110 del CAA le requiere a cada estado someter un plan que provea para la implementación, mantenimiento y cumplimiento de los NAAQS primarios y secundarios. Puerto Rico sometió el Plan de Implementación Estatal (SIP, por sus siglas en inglés) a la EPA en enero 31, 1972, este incorporó la versión de junio 27,1980 de la Reglamentación de Aire como estrategia de control para lograr cumplir con los NAAQS, el administrador de EPA aprobó el SIP de Puerto Rico en 1980, y encontró que el plan satisfacía todos los requerimientos de la Parte D, Título I del CAA. En noviembre 14,1994, la JCA sometió la revisión del SIP para designar al Municipio de Guaynabo como un área moderada de no-logro para material particulado con un diámetro menor o igual de 10 micrones (PM<sub>10</sub> SIP), este SIP fue aprobado por EPA en mayo 31,1995 y fue efectivo el 30 de junio de 1995, este incluyó varias enmiendas a la Reglamentación de Aire como fueron: Regla 102 (Definiciones), Regla 201 (Aprobación de Localización), Regla 202 (Análisis de Impacto de Calidad de Aire), Regla 203 (Permisos de Construcción), Regla 401 (Prohibiciones Genéricas), Regla 402 (Quema a Campo Abierto), Regla 403 (Emisiones Visibles), Regla 404 (Polvo Fugitivo), y Regla 423 (Limitaciones para el Area de No- Logro para Material Particulado de Guaynabo), cada una de estas reglas fueron efectivas para el 2 de abril de 1994.

## **EPA/JCA Acuerdo de Cumplimiento de Aire**

Consistente con el mandato Congressional para delegar la administración de las políticas de control de contaminación de aire del CAA y en orden de coordinar la implementación y cumplimiento de las regulaciones federales, la JCA y la EPA llegaron

a un Acuerdo de Cumplimiento de Aire, obteniendo la JCA la delegación de la administración de muchos de los programas del CAA.

### **Programa para el Control de la Contaminación Atmosférica de la JCA**

El Programa para el Control de la Contaminación Atmosférica de la JCA está organizado en siete secciones operacionales: la Oficina del Director, la División de Permisos e Ingeniería, la División de Muestreo de Aire, la División de Validación y Manejo de Datos, la División de Planificación, la Oficina de Certeza y Control de Calidad y la División de Tóxicos.

La Oficina del Director es responsable por el desarrollo de las políticas control y calidad del aire ambiental, la División de Permisos e Ingeniería inspecciona y evalúa fuentes de emisión para verificar el cumplimiento de las regulaciones federales y locales, maneja el Programa de Revisión de Nuevas Fuentes y actualiza los datos de permisos del sistema de inventario de emisiones, esta División tiene la responsabilidad de desarrollar e implementar el programa de permisos de operación para fuentes de Título V.

La División de Muestreo de Aire lleva a cabo monitoreo de aire a través de la Red de Muestreo de Aire de Puerto Rico y también es responsable de conducir monitoreo para propósitos especiales, la División de Validación y Manejo de Datos realiza análisis estadísticos de datos de emisiones obtenidos a través de la Red de Muestreo de Aire y el sistema de permisos y provee la información necesaria para desarrollar estrategias de control de contaminación atmosférica, la División de Planificación analiza datos estadísticos, desarrolla estrategias de calidad necesarias para mantener cumplimiento con los NAAQS.

El Laboratorio provee apoyo científico y analítico, la Oficina de Certeza y Control de Calidad se asegura que el laboratorio, muestreo y manejo de datos conduzcan los procedimientos en cumplimiento con el Plan de Gerencia de Certeza de Calidad de Monitoreo de Aire de Puerto Rico, el cual fue aprobado por la EPA en septiembre 23 de 1979 y revisado el 17 de marzo de 1994.

### **Estándares de Calidad de Aire Ambiental**

La sección 109 del CAA provee el establecimiento de estándares primarios y secundarios para aquellos contaminantes que causen o contribuyan al deterioro de la salud y el bienestar público. Los estándares de calidad de aire primarios definen los niveles de calidad de aire necesarios para proteger la salud pública, los estándares secundarios de calidad de aire definen los niveles de calidad de aire necesarios para proteger el bienestar público. La EPA estableció estándares para los siguientes contaminantes criterios: dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono, plomo, hidrocarburos, y material particulado en términos de particulado total suspendido (TSP, por sus siglas en inglés), particulado con un tamaño menor o igual a 10 micrones (PM<sub>10</sub>) y con un tamaño menor o igual a 2.5 micrones (PM<sub>2.5</sub>).

Los Estados pueden establecer estándares locales de calidad de aire para reforzar los estándares federales, si el estado aprueba estándares estos son más restrictivos que los federales, Puerto Rico no ha propuesto estándares locales de calidad de aire pero adoptó los estándares primarios y secundarios federales.

## **Designación de Logro y No-Logro**

Los Estados son requeridos para ser clasificados como regiones de control de calidad de aire en tres categorías: áreas con una calidad de aire mejor que los NAAQS (áreas de logro), áreas que no cumplen con los estándares primarios y secundarios de calidad de aire (áreas de no logro) y áreas que basados en los datos disponibles no pueden ser clasificadas, Puerto Rico fue clasificado como una región de control de calidad de aire de acuerdo a la sección 110 del CAA, en 1972, Puerto Rico fue evaluado para los siguientes contaminantes criterios: material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono.

Las áreas de Cataño- Guaynabo y Guayanilla- Peñuelas fueron designadas áreas de no-logro, el área de Cataño- Guaynabo fue designada no-logro para los estándares primarios y secundarios de TSP, esta incluye la Municipalidad de Cataño y partes de las Municipalidades de San Juan, Bayamón, Guaynabo, Toa Baja y Dorado. Las áreas de Guayanilla-Peñuelas fueron designadas no-logro para los estándares secundarios de TSP, esta incluye la Municipalidad de Guayanilla y partes de las Municipalidades de Peñuelas y Yauco, en 1983, Puerto Rico sometió la revisión del Plan de Implementación Estatal (SIP, por sus siglas en inglés) para designar el área de Guayanilla-Peñuelas logro para los estándares de TSP.

Las enmiendas de 1990 del CAA, requirieron que todas aquellas áreas que reflejaran una medida que violara los estándares para PM<sub>10</sub> antes de enero de 1989, fueran consideradas áreas de no-logro.

La JCA colectó data para material particulado de 10 micrones desde sus estaciones de muestreo en la parte norte de la Municipalidad de Guaynabo, la data incluida en el SIP para PM<sub>10</sub>, mostró excedencias para ambos estándares 24 horas (150 ug/m<sup>3</sup>) y Anual (50 ug/m<sup>3</sup>). En noviembre 15 de 1990, por operación de ley, la Municipalidad de Guaynabo pasó a ser área de no-logro moderada para material particulado de 10 micrones, la cual incluye la parte norte de Guaynabo, la parte industrializada de San Juan y la parte este de la Municipalidad de Cataño.

### **Áreas de Mantenimiento**

Se le requiere a los Estados que identifiquen áreas las cuales presentan cumplimiento con los NAAQS, pero, por causa del esperado crecimiento industrial y socioeconómico, tienen el potencial para violar los NAAQS dentro de 10 años siguiendo la publicación del estándar. Estas áreas son designadas áreas de mantenimiento y están sujetas a la implementación de estrategias de control para mantener cumplimiento con los NAAQS.

La JCA a identificado 12 áreas de mantenimiento: Ponce, San Juan, Caguas, Mayaguez, Guánica, Dorado, Guayanilla-Peñuelas, Yabucoa, Guayama, Arecibo, Aguadilla, y Lares-Utuado-Adjuntas, la JCA deberá mostrar mantenimiento para los NAAQS para PM<sub>10</sub> para la Municipalidad de Guaynabo hasta 1999, estas áreas de mantenimiento están sujetas a los reglamentos federales y locales y a los reglamentos de Análisis de Impacto de Calidad de Aire.

## **Reglamentación para el Control de la Contaminación Atmosférica**

El estatuto de la Reglamentación de Aire es la estrategia de control más importante que contiene el SIP. La Reglamentación de Aire cubre dos áreas básicas: limitaciones de emisiones y mecanismos de control para contaminantes específicos, y procedimientos administrativos para asegurar cumplimiento. La Reglamentación de Aire establece limitaciones de emisiones en cuanto a cantidad, grado o concentración de emisiones de contaminantes de aire específicos e impone los equipos de control requeridos para las categorías de fuentes específicas y generales. La JCA ejecuta la Tecnología de Control Razonable Disponible (RACT, por sus siglas en inglés) orientadas a las limitaciones, por ejemplo las emisiones del dióxido de azufre están limitadas a un máximo de contenido de azufre en el combustible, las emisiones del material particulado están limitadas entre otros a grados de emisión de masas, restricciones de opacidad y concentraciones de escapes. La Reglamentación de Aire establece procedimientos administrativos para permisos, inspecciones, mantenimiento de records, reportes, disponibilidad de datos públicos, notificación de violaciones, variantes, aviso público, audiencias, penalidades.

## **Control para el Crecimiento de la Contaminación Atmosférica**

La JCA controla el crecimiento de contaminación atmosférica a través de la imposición de RACT, Medidas de Control Razonables Disponibles (RACM, por sus siglas en inglés), Grados de Emisiones Bajas Realizables (LAER, por sus siglas en inglés), Mejor Tecnología de Control Disponible (BACT, por sus siglas en inglés),

Máxima Tecnología de Control Disponible (MACT, por sus siglas en inglés), Tecnología General de Control Disponible (GACT, por sus siglas en inglés), el RACT es la limitación de emisión más baja que una fuente es capaz de alcanzar después de utilizar la tecnología de control razonable disponible, y tomando en cuenta la viabilidad económica y tecnológica.

El RACM analiza medidas de concentraciones para el control de emisiones de fuentes de polvo fugitivo en áreas urbanas como son, carreteras pavimentadas y sin pavimentar, lotes de estacionamientos, sitios de construcción y áreas que pueden generar polvo de carga aérea.

El LAER la limitación de emisión más rígida que puede alcanzarse en la práctica cualquier categoría de fuente estacionaria o la limitación más rígida de emisión que puede contener el SIP, el cual es mucho más rígido.

El BACT es una limitación de emisión que está basada en el grado máximo de reducción que puede ser alcanzado por una nueva fuente mayor estacionaria o modificación mayor tomando en cuenta la energía, el impacto al ambiente y la disponibilidad de costo y tecnología.

Los MACT son los estándares de emisiones aplicables para categorías o subcategorías de fuentes mayores y fuentes de área de contaminantes atmosféricos peligrosos.

El GACT es una tecnología de control o práctica de mantenimiento diseñada para reducir las emisiones de contaminantes de aire peligrosos de áreas de categorías o subcategorías de fuentes.

## **Estrategias de Control para PM<sub>10</sub>**

Para asegurar que los requerimientos de los RACM/RACT sean implementados en la Municipalidad de Guaynabo un área de no-logro moderado para material particulado, la JCA firmó el Memorando de Entendimiento con el Departamento de Transportación, la Autoridad de Energía de Puerto Rico, la Municipalidad de Guaynabo y la Autoridad de Puertos.

La Reglamentación de Aire provee limitaciones RACT para las siguientes fuentes localizadas en o que impactan significativamente la Municipalidad de Guaynabo, área de no-logro moderada para material particulado:

- Fuentes de manejo y procesamiento de granos.
- Fuentes de manejo y procesamiento de materiales compuestos por partículas.
- Facilidades de procesamiento y acarreo de piedras.
- Plantas de energía eléctrica con una capacidad mayor a 25 megawatts.
- Refinerías de petróleo; y
- Fuentes de procesamiento de asfalto.

Las limitaciones RACT para los primeros dos tipos de fuentes requieren:

- Uso de buenas prácticas de manejo y limpieza.
- Cubierta para los camiones que acarrean materiales.
- Pavimentar las áreas por donde transitan vehículos.
- Uso de filtros de control con un mínimo de eficiencia de remoción de 99.5 %.
- Uso de áreas encapsuladas para la carga y descarga de granos en camiones.



Las prácticas RACT para el acarreo de piedras requieren que los materiales a ser manejados, sean transportados y procesados en una manera que no generen emisiones aéreas de material particulado. La limitación RACT para las plantas de energía eléctrica con capacidad mayor de 25 megawatts provee que dichas plantas puedan quemar combustible residual con un contenido de azufre igual o menor que 1.5 por ciento por peso.

La limitación RACT para las refinerías de petróleo localizadas en o que impactan la Municipalidad de Guaynabo provee que dichas fuentes puedan quemar combustible con un contenido de azufre igual o menor que 1.0 por ciento por peso. Para las plantas de energía eléctrica con una capacidad mayor a los 25 megawatts y a las refinerías de petróleo, la JCA puede imponer un contenido de azufre en el combustible asignado menor que el permitido por la Reglamentación de Aire, donde quiera que haya razones para creer que dicho contenido de azufre pueda impedir el logro de los NAAQS para material particulado. La limitación RACT para las fuentes de procesamiento de asfalto provee para el uso de un equipo de control de contaminación de aire con una eficiencia de remoción del 90 por ciento de material particulado.

### **Reglamentación de Contaminantes Específicos**

La Reglamentación de Aire establece límites de emisiones para material particulado de incineradores, equipo de quema de combustible, plantas de asfalto y fuentes de proceso y no-proceso.

Incineradores de desperdicios médicos o desperdicios sólidos no-peligrosos no pueden emitir más de 0.40 libras de material particulado por 100 libras de carga de desperdicios, incineradores domésticos de desperdicios no-peligrosos deben cumplir con un 20 por ciento de límites de opacidad y limpieza diaria de la cámara de combustión.

Equipos de quema de combustibles sólidos y líquidos pueden emitir hasta 0.30 libras de material particulado por millón Btu de entrada de calor, que en términos está definido como la suma del calor contenido de todos los combustibles cuyos productos de combustión son ventilados a través de una chimenea. Las plantas de asfalto están sujetas a un límite de emisión de material particulado de 0.08 gramos por pies cúbicos, la JCA puede autorizar un control equivalente cuando las emisiones no han sido medidas y certificadas.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **Introducción**

El propósito del estudio fue tomar muestras de particulado en la zona industrial del Bo. Amelia, ya que es un área de No-Logro debido a las altas concentraciones de particulado que pueden ser perjudiciales a la salud y el ambiente. Caracterizar las mismas para, de acuerdo a la composición química del particulado, poder determinar la posible fuente de mayor impacto en el ambiente y la población. Estas fuentes pueden ser instalaciones industriales, servicios públicos o grandes fuentes de emisiones comerciales o institucionales. También se pueden incluir vehículos de carretera y motores, polvo fugitivo proveniente de la agricultura, caminos pavimentados y no pavimentados y actividades de construcción. Por lo tanto, busqué establecer estrategias de control ambiental que ayuden en la disminución del impacto del material particulado en el ambiente y la población.

#### **Área de estudio**

El estudio lo realicé en el área del Bo. Amelia, Guaynabo (Figura 3), consistió en una estación localizada en los predios del U.S. Geological Survey la cual contiene un monitor para medir material particulado. Seleccioné esta área, ya que es una altamente industrial y por las diversas fuentes de emisión que rodean el punto de muestreo, la carencia de edificios altos o árboles que obstaculicen la toma de muestra.

## **Diseño metodológico**

El estudio lo realicé mediante la toma de muestras de particulado por 24 horas a una frecuencia de cada 3 días durante el mes de enero de 2008 para un total de diez (10) muestras. Dicho lapso de tiempo garantiza valores representativos, ya que la posibilidad de que los filtros se tapen es mínima en 24 horas.

El equipo que utilicé fue el SASS chemical speciation sampler de MET ONE instruments, sistema portátil de muestreo de particulado ambiental, equipo diseñado para coleccionar muestras para análisis de químicos y de peso de material particulado en el aire, según los requerimientos de la Agencia de Protección Ambiental (Figura 4).

Cada equipo provee tres frascos de muestra, cada uno contiene su propia abertura de entrada de flujo de aire hacia la cámara de impacto donde ocurre la separación de partículas, cada frasco está montado en una base la cual está cubierta por un escudo solar que los mantiene a una temperatura menor de los tres °C sobre la temperatura ambiente durante y después del evento de muestreo.

Utilicé diferentes tipos de filtros para lograr la toma de los diferentes constituyentes químicos y particulado ambiental, el tipo de filtro debía ser conforme al tipo de análisis que se realizaría. Filtros de Teflón se utilizaron para la determinación de masa y trazos de metales y filtros de Cuarzo se utilizaron para analizar carbón orgánico.

Algunos análisis incluyeron extracción de la muestra directamente del filtro, otros análisis se realizaron directamente del filtro sin la necesidad de extracción. Las muestras de material particulado fueron analizadas químicamente para determinar posibles cantidades de sulfato, nitrato, carbón y trazos de metales.

El sulfato y el nitrato son partículas secundarias formadas en la atmósfera a partir de la reacción con el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno respectivamente (Solomon, 1998). El carbón y los trazos de metales son las partículas primarias, estas son emitidas directamente hacia la atmósfera, o generadas por procesos tales como; la erosión por el viento, la construcción o el tráfico en caminos pavimentados o no pavimentados.

Cada muestra debía ser uniforme para lograr estos propósitos, el equipo SASS está diseñado para lograr depósitos uniformes en los filtros. Para obtener datos confiables o válidos, el equipo fue calibrado y se le realizaron los cotejos rutinarios de flujo, presión y temperatura, esto como información necesaria para interpretar propiamente la data colectada.

Para esto utilicé el DryCal DC-Lite un equipo ultra compacto, un metro de flujo de aire primario utilizado para aplicaciones de higiene industrial, laboratorios y ambiental, utiliza tecnología de pistones de poca fricción y sensores foto-ópticos para obtener cantidades de flujo volumétrico rápidamente y preciso, se puede observar en la (Figura 5).

La importancia de mantener un flujo estable durante el muestreo, es que de acuerdo a su volumen poder calcular las concentraciones de aire ambiental, desviaciones en el flujo reduce la calidad de la data (Brauer,1999). La importancia de medir la presión barométrica es utilizarla para computar el volumen colectado de la muestra.

Medir y mantener control en la temperatura es un elemento importante en la caracterización de aerosoles que puedan ser capturados, si la temperatura del filtro es más fría que la temperatura ambiental, como puede ocurrir en horas de la mañana más especies volátiles podrán ser capturadas que en condiciones normales (Solomon,1999).

Removí las muestras luego de su periodo de muestreo de 24 horas. Coloqué tapones de seguridad a los frascos de muestras para evitar dañar la muestra y protegerla de material suelto. Todos los factores relacionados a la validez o representación de la muestra, como mal funcionamiento del equipo, condiciones meteorológicas inusuales, actividad de construcción, fuegos o polvos del Sahara, se anotaron en la hoja de datos, como se muestra en el ( Apéndice I ).

### **Fuente de datos secundaria**

Como fuente de datos adicionales utilicé estadísticas realizadas por el Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP) para los años 1998-2007 y poder comparar el aumento en tránsito vehicular. Utilicé el Plan de Implementación Estatal (SIP, por sus siglas en Inglés) que la JCA estableció en 1993 para el municipio de Guaynabo donde se le establecieron estrategias de control a las posibles fuentes de emisión y así cumplir con las regulaciones de la EPA.

### **Análisis de datos**

Todas las muestras tomadas las envié al laboratorio privado Research Triangle Institute (RTI) en Carolina del Norte.

Durante este periodo, las muestras deben permanecer a una temperatura fría 0.4°C y continuamente protegidas de exposición a temperaturas de más de 25°C. Para lograr esto envié las muestras dentro de una nevera portátil o “cooler” con refrigerantes o “ice packs” y sellando la misma con cinta adhesiva para evitar que se abriera durante el envío y su posterior manejo (Apéndice II).

Los métodos utilizados para los análisis de los filtros incluyeron gravimetría para masa y varios métodos instrumentales para la determinación de la composición química del particulado. Algunos de los análisis se realizaron mediante la utilización de microscopios electrónicos para determinar el tamaño de la partícula y su morfología.

Los métodos más comunes aplicados para los análisis de las muestras se dividieron en; masa, elementos, iones, y carbón. Fue posible obtener varios análisis diferentes de un mismo sustrato, pero no obtener todas las especies químicas deseadas de un solo sustrato; por lo tanto se tuvo que combinar métodos de análisis en algunas muestras.

Las técnicas o métodos de análisis a ser realizadas en un filtro en particular, dependía de la categoría de especie química a ser analizada, masa, elemento, iones o carbón. Para masa se utilizó como método la gravimetría, para poder determinar la composición química de las partículas. Para los elementos se utilizó el método de dispersión de energía por rayos X (EDXRF, por sus siglas en Inglés).

El interés en la composición elemental surge de los efectos en la salud y en la utilidad de estos elementos para rastrear fuentes de partículas en suspensión.

Puesto que los filtros a menudo contienen pequeñas cantidades de depósitos, se prefieren métodos que puedan acomodar pequeños tamaños de muestra y que requieran muy poca o ninguna preparación o tiempo del operador luego de las muestras ser colocadas en el analizador.

El método EDXRF complace estas necesidades y mantiene la muestra intacta después del análisis por lo que puede ser sometida a exámenes adicionales utilizando cualquier otro método. Para obtener una mejor eficiencia, el método coloca los filtros en un aspirador el cual produce que los compuestos volátiles se evaporen.

Aerosoles iónicos se refieren a compuestos químicos los cuales son solubles en agua. Iones poliatómicos como son sulfato, nitrato, y amonio son cuantificados por el método de cromatografía iónica (IC, por sus siglas en Inglés), al igual que los iones simples, como son cloruro y fluoruro.

Todos los métodos de análisis de iones requieren que una fracción del filtro sea extraída en agua destilada deionizada y luego filtrada para remover residuos insolubles previo al análisis. Los carbonos orgánicos y elemental fueron determinados mediante transmitancia óptica termal (TOT) e instrumentación especificada en el método 5040 de NIOSH, este fue desarrollado para monitoreo ocupacional de partículas de diesel.

El método óptico-termal es aplicable solamente a especies de carbón no volátiles, los analizadores óptico-termales son prácticos, económicos, y rutinariamente utilizados para monitoreo ocupacional y ambiental de aerosoles carbonáceos.



Solamente una fracción de carbón orgánico y una de carbón elemental son reportadas en el NIOSH 5040, podemos obtener carbono total mediante la suma ambos tipos de carbono.

Una vez obtuve los resultados de los análisis de las muestras suministrada por RTI, comparé y describí la composición del material particulado, definí en por cientos la categoría mayor de químicos encontrados y establecí quien es su mayor precursor en el área de estudio.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Introducción

El propósito del estudio fue realizar la caracterización del material particulado mediante la toma de 10 muestras a una frecuencia de 1 cada 3 días por un periodo de 24 horas durante el mes de enero 2008, para poder determinar de acuerdo a su composición química, la posible fuente de emisión que aún está afectando el área del Bo. Amelia de Guaynabo.

En los últimos años se le ha conferido importancia al material particulado ya que existe evidencia firme de estudios realizados por el Departamento de Salud de Puerto Rico y el Recinto de Ciencias Médicas que demuestran asociación de efectos adversos a la salud y el medio ambiente con la exposición al material particulado. En el Sistema de Recolección de Información Aerométrica de la Agencia de Protección Ambiental, se registró un valor de 285  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  medido en la Subestación Eléctrica de Bo. Amelia en Agosto 1, 1987, el cual viola los estándares de calidad de aire ambiental.

#### Resultados

Los resultados mostraron, dentro de los principales contaminantes atmosféricos que se analizaron, un conjunto de compuestos orgánicos de naturaleza semivolátil. Por sus características fisico-químicas, estos compuestos se encuentran normalmente asociados al material particulado en suspensión (aerosol).

Su origen se relaciona a fuentes móviles, sector industrial, quema de combustibles sólidos y, en menor proporción a emisiones de origen vegetal. De las muestras analizadas en este estudio, determinamos las concentraciones de elementos químicos a través de las técnicas de gravimetría, rayos x, cromatografía iónica y transmitancia óptica termal.

Los resultados mostraron que diferentes tipos de fuentes emiten diferentes elementos en concentraciones que le son propias. Estas fuentes de emisiones pueden ser instalaciones industriales, servicios públicos, grandes fuentes de emisiones comerciales o institucionales, también, incluye vehículos de motor, polvo fugitivo proveniente de la agricultura, los caminos pavimentados y las actividades de construcción.

Entre los elementos detectados en las muestras analizadas tomadas en el área de estudio se encontraron cantidades de sulfato, nitrato, carbón y tierra presente, esta última es presentada en trazos de metal.

El sulfato y el nitrato son partículas secundarias formadas en la atmósfera, el carbón y la tierra son emitidas directamente hacia la atmósfera, o generadas por procesos tales como la erosión por el viento, la construcción o el tránsito en caminos pavimentados y no pavimentados.

Los datos de los análisis mostraron para el día 3/ene/08 una masa total de 7.11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la que las concentraciones más altas fueron para sulfato con 1.826 el cual forma el 26.0% de la masa total y 4.955 para carbono total el cual constituye el 70.0% de la masa total, nitrato con 0.240 para el 3.4% de la masa total y trazos de metal en 0.089 para el 1.3% de la masa total.

El 6/ene/08 una masa total de 7.35 con sulfato donde se refleja 3.090 constituyendo el 42% de la masa total, carbono total 2.606 el cual forma el 35.4% de la masa total, nitrato 0.372 para el 5.1% de la masa total y trazos de metal en 1.284 para el 17.5 de la masa total.

La concentración más alta se reflejó durante el 9/enero/2008, donde se obtuvo una masa total de 14.37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una composición mayor de carbono total con 7.114 la cual forma el 50.0% de la masa total en comparación con sulfato 5.663 el cual constituye el 39.4% de la masa total, nitrato con 0.782 para el 5.4% de la masa total y trazos de metal en 0.812 para el 5.7% de la masa total.

El 12/ene/08 se reflejó una masa total de 6.759, sulfato con 3.449 el cual constituye el 51.0% de la masa total, carbono total con 2.823 el cual forma el 42.0% de la masa total, nitrato 0.225 para el 3.3% de la masa total y trazos de metal 0.262 para el 3.9% de la masa total.

El 15/ene/08 una masa total de 8.716 donde sulfato reflejó 2.085 el cual forma el 24.0% de la masa total, carbono total 6.273 el cual constituye el 72.0% de la masa total, nitrato 0.269 para el 3.1% de la masa total y trazos de metal 0.089 para el 1.0% de la masa total.

El 18/ene/08 se registró una masa total de 6.897, donde sulfato reflejó 2.314 el cual constituye el 34.0% de la masa total, carbono total 3.938 el cual forma el 57.0% de la masa total, nitrato 0.319 para el 4.6% de la masa total y trazos de metal 0.326 el cual forma el 5.0% de la masa total.

El 21/ene/08 se obtuvo una masa total de 7.604, donde sulfato reflejó 1.848 el cual forma el 24.0% de la masa total, carbono total 5.327 el cual constituye el 70.0% de la masa total, nitrato 0.326 el cual forma el 4.3% de la masa total y trazos de metal con 0.103 para el 1.4% de la masa total.

El 24/ene/08 se reflejó una masa total de 9.046, sulfato con 2.286 el cual constituye el 25.3% de la masa total, carbono total 6.124 el cual forma el 68.0% de la masa total, nitrato 0.369 para el 4.1% de la masa total y trazos de metal con 0.267 el cual forma el 3.0% de la masa total.

El 27/ene/08 una masa total de 8.437 donde sulfato reflejó 0.947 la más baja de las muestras la cual constituye el 11.2% de la masa total, carbono total con 7.138 la más alta de las muestras la cual forma el 85.0% de la masa total, nitrato 0.297 el cual forma el 3.5% de la masa total y trazos de metal con 0.055 para el 0.7% de la masa total.

El 30/ene/08 se reflejó una masa total de 8.112, sulfato con 1.476 el cual forma el 18.2% de la masa total, carbono total 6.316 el cual constituye el 78.0% de la masa total, nitrato 0.243 para el 3.0% de la masa total y trazos de metal con 0.077 para el 0.9% de la masa total, se pudo observar que la tendencia en composición durante las diez muestras realizadas fue la misma ( Tablas 3 , 4 y Figura 6 ).

Carbono total incluía, Carbón Elemental y Orgánico, para el 3/ene/08 de una masa de Carbono Total de 4.955 el 50.2% fue Carbón Elemental con 2.488 de masa y el 49.9% fue Carbón Orgánico con 2.468 de masa.

El 6/ene/08 de una masa de Carbono Total de 2.606 el 22.2% fue Carbón Elemental con 0.579 de masa y el 77.8% fue Carbón Orgánico con 2.028 de masa, para el 9/ene/08 de una masa de Carbono Total de 7.114 el 53.8% fue Carbón Elemental con 3.832 de masa y el 46.1% fue Carbón Orgánico con 3.282 de masa.

El 12/ene/08 de una masa de Carbono Total de 2.823 el 29.0% fue Carbón Elemental con 0.821 de masa y el 70.9% fue Carbón Orgánico con 2.002 de masa, para el 15/ene/08 de una masa de Carbono Total de 6.273 el 50.3% fue Carbón Elemental con 3.160 de masa y el 49.6% fue Carbón Orgánico con 3.113 de masa.

El 18/ene/08 de una masa de Carbono Total de 3.938 el 33.7% fue Carbón Elemental con 1.330 de masa y el 66.2% fue Carbón Orgánico con 2.608 de masa, para el 21/ene/08 de una masa de Carbono Total de 5.327 el 49.9% fue Carbón Elemental con 2.660 de masa y el 50.0% fue Carbón Orgánico con 2.668 de masa.

El 24/ene/08 de una masa de Carbono Total de 6.124 el 52.5% fue Carbón Elemental con 3.221 de masa y el 47.4% fue Carbón Orgánico con 2.903 de masa, para el 27/ene/08 de una masa de Carbono Total de 7.138 el 47.0% fue Carbón Elemental con 3.357 de masa y el 52.9% fue Carbón Orgánico con 3.781 de masa.

El 30/ene/08 de una masa de Carbono Total de 6.316 el 61.1% fue Carbón Elemental con 3.865 de masa y el 38.8% fue Carbón Orgánico con 2.451 de masa, en un total de 10 muestras se obtuvo un 48.0% de Carbón Elemental y un 51.8% de Carbón Orgánico ( Tabla 5).

Entre los trazos de metal se encontraron aquéllos declarados por la Agencia de Protección Ambiental como peligrosos para la salud, como son: Aluminio (Al), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Arsénico (As) y Antimonio (Sb) en concentraciones pequeñas, se logró obtener el 100% de captura de las muestras.

El 3/ene/08 se reflejó una masa total de trazos de metal de 0.089, Aluminio con 0.032 el cual forma el 35.95% de la masa, Antimonio con 0.038 el cual constituye el 42.69% de la masa, Bario con 0.018 para el 20.22% de la masa y Cadmio con 0.001 para el 1.12% de la masa.

El 6/ene/08 se reflejó una masa total de trazos de metal de 1.284, Aluminio con 1.242 el cual constituye el 96.70% de la masa, Antimonio con 0.027 el cual forma el 2.10% de la masa, Bario con 0.013 para el 1.01% de la masa y Cadmio con 0.002 para el 0.15% de la masa.

El 9/ene/08 se reflejó una masa total de trazos de metal de 0.812, Aluminio con 0.774 el cual forma el 95.30% de la masa, Bario 0.034 el cual constituye el 41.18% de la masa y Cadmio con 0.004 para el 0.49% de la masa.

El 12/ene/08 se reflejó una masa total de trazos de metal de 0.262, Aluminio con 0.186 el cual constituye el 70.99% de la masa, Antimonio con 0.003 el cual forma el 1.14% de la masa, Arsénico con 0.001 para el 0.38% de la masa y Bario con 0.072 el cual constituye el 27.48% de la masa.

El 15/ene/08 se reflejó una masa total de trazos de metal de 0.089, Aluminio con 0.059 el cual constituye el 66.29% de la masa, Antimonio con 0.005 el cual forma el 5.61% de la masa, Arsénico con 0.003 para el 3.37% de la masa, Bario con 0.021 el cual constituye el 23.59% de la masa y Cadmio con 0.001 para el 1.12% de la masa.

El 18/ene/08 se reflejó una masa total de trazos de metal de 0.326, Aluminio con 0.285 el cual forma el 87.42% de la masa, Bario con 0.038 el cual constituye el 11.65% de la masa y Cadmio con 0.003 para el 0.92% de la masa.

El 21/ene/08 se reflejó una masa total de trazos de metal de 0.103, Aluminio con 0.053 el cual constituye el 51.45% de la masa, Antimonio con 0.001 el cual forma el 0.97% de la masa, Arsénico con 0.001 para el 0.97% de la masa, Bario con 0.047 el cual constituye el 45.63% de la masa y Cadmio con 0.001 para el 0.97% de la masa.

El 24/ene/08 se reflejó una masa total de trazos de metal de 0.267, Aluminio con 0.243 el cual forma el 91.01% de la masa, Arsénico con 0.001 para el 0.37% de la masa y Bario con 0.023 el cual constituye el 8.61% de la masa.

El 27/ene/08 se reflejó una masa total de trazos de metal de 0.055, Aluminio con 0.030 el cual constituye el 54.54% de la masa, Antimonio con 0.001 para el 1.81% de la masa, Arsénico con 0.002 para el 3.63% de la masa y Bario con 0.022 el cual forma el 40.00% de la masa.

El 30/ene/08 se reflejó una masa total de trazos de metal de 0.077, Aluminio con 0.040 el cual forma el 51.94% de la masa, Arsénico con 0.003 para el 3.89% de la masa, Bario con 0.033 el cual constituye el 42.85% de la masa y Cadmio con 0.001 para el 1.29% de la masa (Tabla 6).



Las 10 muestras tomadas mostraron una composición en trazos de metal de Aluminio con 70.16% de la masa, Antimonio con 5.43% de la masa, Arsénico con 1.26% de la masa, Bario con 22.52% de la masa y Cadmio con 0.63% de la masa (Tabla 9).

De los resultados obtenidos del muestreo podemos señalar que el 62.0% de la composición del material particulado son Carbono Orgánico y Elemental, ya que reflejaron las lecturas más altas, éstas relacionadas a la combustión proveniente de la transportación, el 30% se debe a Sulfato, formado de dióxido de azufre emitido de fuentes locales, pequeñas fuentes de combustión y transportación.

El 4.1% se debe a Nitrato, formado de óxidos de nitrógeno emitido de fuentes locales, transportación e industrias, 3.9% a los trazos de metal los cuales se deben a los polvos fugitivos proveniente de los suelos (Tabla 8 y Figura 7).

Estos resultados comparan favorablemente con la información obtenida de la literatura relacionada a la composición del material particulado, la cual indica que el material particulado es una mezcla de partículas sólidas y líquidas en el aire. Ésto incluye aerosoles, humo, polvo, cenizas y polen, la composición del material particulado puede variar de acuerdo con el lugar, la temporada del año y las condiciones del tiempo.

El material particulado está formado principalmente de reacciones químicas en la atmósfera y a través de la quema de combustible, el tránsito vehicular es una de las fuentes de origen de la materia particulada en el aire.

En los análisis de los datos de tránsito del 2000 del Departamento de Transportación y Obras Públicas, determinamos que en Puerto Rico hay 2.5 millones de vehículos registrados, con una densidad de 4,300 autos por milla cuadrada. Se estima que por cada 1,000 habitantes, hay 617 automóviles y que el promedio es 2.5 autos por familia, y que el promedio era de un vehículo por cada dos habitantes en Puerto Rico.

Para el 2005 habían registrados en Puerto Rico 2,801,120 automóviles, de esos ya están circulando las calles 500,000, a eso de las 8:00 de la mañana. En Puerto Rico hay municipios, como por ejemplo Guaynabo, donde la razón promedio es un vehículo por cada persona; inclusive el flujo vehicular sobrepasa los 100,000 vehículos, el cual tiene un efecto en la congestión del tránsito, el desparrame urbano y la calidad del aire.

De los datos sobre tránsito del Departamento de Transportación y Obras Públicas, se escogieron en una frecuencia de cada tres años, aquellos referentes específicamente a las principales vías de rodaje que comprenden el área de estudio, estas fueron: PR. # 22, PR. #24, PR. #28 y la PR # 165.

Estos datos reflejaron que en la PR # 22, expreso De Diego, hubo para el año 2000 un total de 137,100 vehículos transitando diariamente. Para el año 2003 se reflejaron un total de 140,122 vehículos transitando, en el año 2006 se encontraron transitando diariamente una cantidad de 142,680, reflejando un aumento total de vehículos en seis años aumentando a 5,580.

Los datos también reflejaron que en la PR # 24, hubo para el año 2000 un total de 12,100 vehículos transitando diariamente. Para el año 2003 se reflejaron un total de 13,750 vehículos transitando.

En el 2006 se encontraron transitando diariamente una cantidad de 14,700 vehículos reflejando un aumento total en seis años de 2,600. Esto refleja una cantidad excesiva tomando en cuenta que es una vía que comprende una porción del Bo. Amelia de Guaynabo y parte del pueblo de Cataño.

Los datos reflejaron que en la PR # 28, la Goya, hubo para el año 2000 un total de 18,900 vehículos transitando diariamente, para el año 2003 se reflejó un total de 19,670 vehículos transitando, en el año 2006 se encontraron transitando diariamente una cantidad de 20,800, para un aumento total de 1,900 vehículos en seis años.

En la PR # 165 hubo para el año 2000 un total de 62,720 vehículos transitando diariamente, para el año 2003 se reflejó un total de 63,200 vehículos transitando. Para el año 2006 se reflejó un total de vehículos transitando de 64,520, para un aumento total de 1,796 vehículos en seis años.

Por lo tanto, se encontró que para el año 2000 transitaron diariamente en el área de estudio un total de 230,824 vehículos. Durante el año 2003 se presentó un total de 236,742 vehículos transitando, para el año 2006 se obtuvo que un total de 242,700 vehículos transitaban, para un aumento total de 11,876 vehículos transitando diariamente en el área de estudio en un total de seis años (Tabla # 10).

Ésto compara a Puerto Rico con tres megaciudades de América Latina como son México, Brazil y Chile, las cuales presentan problemas de contaminación de aire en particular con la transportación, la cual produce material particulado. Estas tres megaciudades han implantado medidas de control para la contaminación del aire y tratar de disminuir las concentraciones de material particulado.

México, Brazil y Chile realizaron estudios para verificar la eficiencia de estos controles, los resultados indicaron que en las tres megaciudades hubo una disminución de las concentraciones de material particulado, aunque seguían rebasando las normas de calidad de aire.

Los programas de control para este contaminante no tuvieron el impacto esperado, lo cual se podía explicar, en gran medida, por el rápido crecimiento urbano y en consecuencia, por el aumento de vehículos.

En ciudad México a partir del 1995 se ha observado, cada cinco años, un aumento superior a 20% en el número de vehículos y por consiguiente, en la cantidad de contaminantes emitidos en la atmósfera o sea en el aire.

Otras fuentes son las actividades industriales, la producción de energía en las termoeléctricas, los incendios y la extracción de la corteza terrestre.

Para lograr cumplir con los estándares establecidos la Junta de Calidad Ambiental desarrolló el Plan de Implementación Estatal durante el año 1990 en el mismo se desarrolló un inventario de fuentes de emisión, como son: fuentes de punto, fuentes móviles, fuentes de área y fuentes de microinventario.

Se revisó este inventario y se encontró que las fuentes de punto identificadas incluían las fuentes del Bo. Amelia de Guaynabo y las fuentes de municipios limítrofes que pudiesen tener un impacto significativo en el área de estudio.

Las fuentes de punto incluía las siguientes categorías:

1- Geológicas

- a) Asfalto Bayamón
- b) Concreto Mixto
- c) Ready Mix
- d) Canteras de Puerto Rico

2- Granos

- a) Molinos de Puerto Rico
- b) Agro Ochoa, Inc.
- c) Pan American Grain (Arroz Rico)
- d) Pan American Grain (Army Terminal)
- e) Pan American Grain (Amelia Plant)

3- Combustión de Aceite

- a) Molinos de Puerto Rico (caldera # 5)
- b) Goya de Puerto Rico
- c) Caribbean Petroleum Company (Gulf)
- d) Easton, Inc.
- e) Edelcar, Inc.
- f) Petroleum Chemical
- g) Cartonera Nacional
- h) Bacardi Corp.

Las fuentes móviles incluían, los automóviles, camiones y autobuses, contando como una porción de emisiones de contaminantes en el área del Bo. Amelia del municipio de Guaynabo.

Las fuentes de área son numerosas fuentes estacionarias que no pueden ser manejadas como fuentes de punto porque hay demasiadas de ellas. Estas incluían:

- a) Combustión de aceite (para calentamiento de agua solamente)
- b) Incineración
- c) Fuegos Estructurales

Las fuentes de microinventario identificadas incluían carreteras sin pavimentar, lotes de estacionamientos y áreas donde la erosión del viento puede ocurrir.

La Ley de Aire Limpio de 1990 requiere como estrategia de control que áreas de “No-Logro” implanten medidas de control razonablemente disponibles. Estas incluyen tecnologías de control razonablemente disponibles, para fuentes de punto y medidas para reducir emisiones de fuentes móviles y fuentes de áreas como pueden ser quemado de madera, polvo fugitivo, carreteras pavimentadas, sin pavimentar y construcciones.

La Junta de Calidad Ambiental mediante su Plan de Implementación Estatal determinó aquellas tecnologías de control razonablemente disponibles para las diferentes industrias ubicadas en el área de estudio. Estas son:

- a) Facilidades Eléctricas- utilizaran 1.5% de azufre en aceite residual No. 6.
- b) Refinerías de Petróleo- azufre en quemado de aceite residual No.6 limitado a 1.0%

c) Manejo de Granos-

- 1) 99.5% de eficiencia en equipos de control.
- 2) No camiones abiertos.
- 3) Toda operación de manejo de materiales incluyendo llenado y vaciado de camiones, y vaciado de barcos deben tomar lugar en espacios totalmente encapsulados.
- 4) Todo terreno asociado a actividad vehicular deberá ser pavimentado y mantenido en buenas condiciones.

d) Operaciones de Acarreo- reducir un 70% el polvo mediante supresión con agua.

Las medidas de control razonablemente disponibles incluían medidas para reducir emisiones de fuentes de polvo fugitivo urbano, como son, polvos de carreteras pavimentadas, carreteras y estacionamientos sin pavimentar, sitios de construcción y otras áreas donde se pueda emanar polvo.

Se identificaron las siguientes medidas:

- a) Pavimentar carreteras y estacionamientos.
- b) Requerir planes de control de polvo en áreas de construcción
- c) Requerir cubiertas en los camiones.
- d) Desarrollar planes de reducción de tránsito para carreteras sin pavimentar.
- e) Establecer medidas de control de polvo en almacenes de materiales.

De acuerdo con los resultados de este estudio podemos señalar que el material particulado en el Bo. Amelia de Guaynabo está mayormente formado por Carbón Orgánico y Elemental, partículas de Sulfato, partículas de Nitrato y Trazos de metal, teniendo como factor común el que todos estos componentes están relacionados con la transportación, afectando severamente la salud de los que transitan en el área de estudio.



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### **Introducción**

El manejo de la contaminación del aire por fuentes móviles tiene gran importancia ya que existen en Puerto Rico 2.5 millones de autos registrados, con una densidad de 4,300 autos por milla cuadrada. Se estima que por cada 1,000 habitantes, hay 617 autos y que el promedio es de 2.5 autos por familia, estos datos según la Compañía de Comercio y Exportación de Puerto Rico. Ésta cantidad de vehículos, son la fuente primaria de material particulado lo que conlleva a que más personas estén expuestas a niveles excesivos de contaminación atmosférica. Ésta investigación tiene como meta, caracterizar el material particulado con los objetivos de determinar su composición química y establecer la posible fuente que aún se encuentra afectando el Bo. Amelia de Guaynabo y poder establecer estrategias de control ambiental dirigidas a disminuir el impacto del material particulado en el ambiente del área de estudio.

#### **Conclusiones.**

Del estudio realizado se puede concluir que:

- La contaminación del aire por material particulado en el Bo. Amelia es un problema serio.

- Estudios de salud realizados por el Departamento de Salud de Puerto Rico muestran que la contaminación del aire por material particulado registra decenas de muertes, por condiciones respiratorias, que en Puerto Rico está entre las primeras 10 causas de muertes.
- Dentro de los componentes encontrados en el particulado que fue tomado en el Bo. Amelia están: sulfatos, nitrato, carbón orgánico y elemental y trazos de metal que incluían: aluminio, arsénico, antimonio, bario y cadmio.
- El dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y una cantidad de contaminantes orgánicos constituyen los mayores precursores de material particulado, en el Bo. Amelia.
- Dentro de las emisiones de carácter geológico y biológico que se encuentran en el área de estudio incluyen: levantamiento de polvo proveniente de la erosión, transporte a larga distancia de polvo procedente del Sahara, aerosol marino, compuestos derivados del azufre procedente, de la combustión y la oxidación de hidrocarburos.
- En el Bo. Amelia encontramos polvos procedentes de la degradación de las carreteras y actividad industrial.
- Dentro del área de estudio, los vehículos de motor, son los mayores contribuyentes de material particulado, representando riesgos a la salud de los habitantes del Bo. Amelia, porque las emanaciones producen daños respiratorios.

- Se reflejó un aumento de 11,876 vehículos en seis años en las vías principales del área de estudio. Esto representa un problema debido a que mayor cantidad de vehículos de motor, mayor cantidad de material particulado.
- El aumento de vehículos de motor en el área de estudio trajo como consecuencia gran congestión vehicular, produciendo partículas provenientes de la combustión, las que afectan la salud y el ambiente en el Bo. Amelia.
- El aumento vehicular provocó degradación de carreteras, produciendo polvo fugitivo en el caso de la PR # 28 a la altura de la Termoeléctrica de San Juan.
- El humo proveniente del quemado de combustible, es producto en su mayoría de camiones transitando en el área de estudio, debido a que esta es una zona portuaria y por consiguiente se hace uso de transporte pesado cuyo combustible es el diesel, produciendo hollín y partículas.
- El estudio evidenció un aumento vehicular en las vías principales del Bo. Amelia, convirtiéndose la transportación en la causa principal de contaminación por material particulado.

### **Recomendaciones.**

Dentro de las recomendaciones para disminuir las concentraciones en el área de estudio se puede mencionar:

- Promover la disminución del uso del automóvil mejorando la organización y operación de los sistemas de transporte, asegurando la coordinación entre los distintos medios.

- Se recomienda incentivar al usuario de transporte público por medio de deducción en planilla de contribuciones, del gasto incurrido, al igual que se hace con el peaje mediante la utilización de vales o recibos.
- El sistema de transporte público debe ser mejorado para hacerlo mucho más atractivo y efectivo, por ejemplo: se debe reducir el costo de las tarifas, añadir nuevas rutas, más frecuencias de viajes y apoyar la ampliación del Tren Urbano hacia pueblos fuera del área metropolitana, reduciendo el uso del vehículo.
- Ubicar fuera del área metropolitana agencias centrales de gobierno, así se evitaría el gran flujo vehicular.
- Realizar monitoreo electrónico de emisiones en los centros de peaje, para establecer si los niveles de emisión afectan incluso al personal que labora diariamente en las estaciones.
- Realizar estudio sobre Aluminio en material particulado y la incidencia de Alzheimer en el Bo. Amelia de Guaynabo.
- Se recomienda repetir el estudio en un término de cinco años para actualizar y comparar datos en el área de estudio.

- Se recomienda establecer un plan de manejo ambiental en el área de estudio, enfocado a lograr la disminución del impacto por material particulado, como se presenta adelante:

**Título: Plan de manejo ambiental para el Bo. Amelia de Guaynabo.**

**Meta:** Disminuir el material particulado.

**Objetivo del plan:** Manejar de forma eficiente y efectiva el ambiente para lograr disminuir en un 50% las concentraciones de material particulado, mediante la creación de programas que ayuden a mejorar la calidad del aire y prevenir su deterioro.

**Información general de la zona:**

**Geografía y clima:** Área urbano-industrial, se localiza al suroeste de la bahía de San Juan, comparte la bahía y colinda con el área urbana de Cataño, su topografía es llana, su temperatura promedio anual ronda los 78° F, tiene una precipitación de 76”.

**Transporte e industrias:** El municipio de Guaynabo cuenta con 47,000 vehículos registrados, por sus vías principales de rodaje transitan diariamente 240,000 vehículos aproximadamente. Cuenta con industrias de todo tipo; botellas, cemento, papel.

**Población y desarrollo urbano:** El municipio de Guaynabo cuenta con una población de 100,053, cuenta con varias urbanizaciones y residenciales públicos, mas con instalaciones de gobierno estatales y federales.

## **Descripción de las fuentes de contaminación del aire:**

**Fuentes de puntos:** Geológicas, granos, combustión de aceite.

**Fuentes móviles:** Automóviles, camiones, guaguas, una porción significativa de emisiones.

**Fuentes de área:** Incineradores, fuegos, estacionamientos y carreteras sin pavimentar.

**Estado de la calidad del aire:** No-Logro para el estándar de 24 horas para material particulado de 10 micrones.

**Justificación:** El Bo. Amelia de Guaynabo es un área con altas concentraciones de material particulado las cuales afectan la salud de su población y ambiente, por lo que es indispensable desarrollar un plan para el manejo del ambiente.

## **Programas:**

### **A) Formulación de ordenanzas municipales.**

**Meta:** Disminuir en un 50% la contaminación de las emisiones vehiculares en específico el material particulado.

**Objetivo:** Exigir a todo vehículo registrado en el área de estudio el uso de tecnologías eficientes en cuanto al combustible que sea menos contaminante. Es necesario contar con una calidad de combustible aceptable para disminuir la contaminación de las emisiones y tecnologías de control de emisiones, por ejemplo, convertidores catalíticos que puedan utilizarse en los distintos vehículos.

**Impactos a prevenir:** Emisiones vehiculares contaminantes, en particular monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, azufre, compuestos orgánicos volátiles y material particulado.

**Departamento responsable:** Municipio de Guaynabo.

**Responsable del seguimiento:** Departamento de Transportación Municipal.

**Localización:** Bo. Amelia.

**Fecha de cumplimiento:** Año 2010.

**Acciones a tomar:** a) Verificaciones vehiculares cada tres meses, para un total de tres anuales, de los vehículos registrados en el área de estudio a los cuales se les colocarán sellos de verificación identificados del 1 al 3 para evitar fraude entre verificaciones.

b) Vigilancia en carreteras del Bo. Amelia por parte de la Policía Municipal, mediante la utilización de analizadores portátiles de gases, de excedencia a los límites de emisión vehicular permisibles.

c) Establecer plataformas de pesaje e inspección de sistema de escape de los camiones en las salidas de las industrias del Bo. Amelia, para corroborar que los transportistas salen a la calle libres de excesos contaminantes y con el peso establecido de carga, evitando la contaminación atmosférica y la degradación de carreteras.

**Costo:** Se estima costo aproximado de 250,000 dólares.

**Importancia del impacto:** Se elimine más del 50% de las emisiones atribuidas a los vehículos.

**B) Desarrollo ecológico.**

**Meta:** Promover la participación activa de empresas, organizaciones sociales, y el público en general para aumentar las áreas verdes en el Bo. Amelia.

**Objetivo:** Mejorar la calidad del aire, promoviendo la reforestación en un 30% de los terrenos municipales.

**Impactos a prevenir:** Reducir en un 50% los efectos producidos por el material particulado.

**Departamento:** Los responsables de la ejecución será la participación activa de las empresas del área, organizaciones sociales y la comunidad.

**Responsable del seguimiento:** Programa de Embellecimiento y Ornato del Municipio de Guaynabo.

**Localización:** Lotes baldíos urbanos.

**Fecha de cumplimiento:** Cubrir 30% del área en cinco años.

**Acción:** Obligar a los propietarios a plantar árboles ya que estos son extremadamente efectivos en capturar material particulado ambiental, verificar el uso actual de terrenos no urbanizados para promover su revestimiento verde.



**Costo:** Dependerá de la disposición del Gobierno Municipal y Estatal y de la ciudadanía en la donación de árboles, aproximadamente \$ 15,000.

**Importancia del Impacto:** Se podrán lograr las reducciones de emisiones de material particulado.

### **C) Salud, Comunicación y Educación Ambiental.**

**Meta:** Mejorar la comunicación y educación ambiental en el Bo. Amelia.

**Objetivo:** Establecer la importancia de una comunicación y educación efectiva para crear preocupación pública, se desarrollarán 12 charlas en temas relacionados con contaminación atmosférica.

**Impactos a prevenir:** Problemas en la salud relacionados con contaminación atmosférica.

**Departamento:** Salud Ambiental Municipal

**Responsable del seguimiento:** Especialistas en salud ambiental

**Localización:** Bo. Amelia

**Fecha de cumplimiento:** A partir del 2009

**Acción:** Educar e informar al público sobre emisiones e impactos de la contaminación por material particulado, para que los ciudadanos especialmente los que padecen de enfermedades respiratorias se concienticen y tomen las debidas precauciones.

**Costo:** \$ 2,000 y tendrá acceso a recursos públicos y privados así como a redes existentes de educación de salud y ambiental a nivel municipal.

**Importancia del impacto:** Lograr cambios en los hábitos personales con respecto al cuidado del medio ambiente, con énfasis especial en calidad del aire.

### **Limitaciones del estudio.**

Dentro de las limitaciones del estudio podemos mencionar que:

- No permitió realizar estudio más a fondo sobre aluminio encontrado en los trazos de metal del material particulado del Bo. Amelia.
- No se pudo realizar comparaciones de los distintos tipos de combustibles utilizados por los vehículos, que pueden resultar con emisiones perjudiciales a la salud humana.
- No se pudo establecer que tipo de vehículo es el que más afecta el área de estudio.
- Los compuestos orgánicos semivolátiles obtenidos en el muestreo pueden perderse por volatilización cuando se producen altas temperaturas durante el muestreo.
- Puede haber pérdida de material particulado al manejar los filtros de muestras y transportarlos al área de análisis.

La materia particulada es una mezcla de diferentes clases de contaminantes que contienen diferentes compuestos químicos, aparece en la atmósfera como resultado de interacciones de carácter químico, mediante diferentes mecanismos de formación, diferente composición química y diferentes impactos sobre la salud, como consecuencia de la exposición a la misma.

La principal fuente que aún afecta el área urbana del Bo. Amelia, por material particulado son el tránsito y los procesos de combustión. Si seguimos las recomendaciones de este estudio, podemos ayudar a mejorar la calidad de aire de Puerto rico, por lo tanto la del Bo. Amelia. La falta de una buena planificación y conservación de nuestros recursos se puede considerar algo sumamente preocupante, para el bienestar de nuestra salud y el ambiente.

## LITERATURA CITADA

- Baker, O. (1999). Car-Emission standards improve rural air. *Science News* Vol.6,156-198.
- Borja-Arturo VH. & Loomis DP. (2000). Ozone, suspended particles, and daily mortality in Mexico City. *Epidemiology* , 145:258-268.
- Brauer M. (1999). Evaluation of the gas collection of an annular denuder system under simulated atmospheric conditions, *Atmospheric Environment* 10 (7); 57-69.
- Brodish, P. H. & Massing, M. (2000). Income inequality and all-cause mortality in the 100 counties of North Carolina., *Care Medicine*, 93, 386-391.
- Burnett, R. (2001). The special association between community air pollution and mortality, *Environmental Health*, 109, 375-380.
- Burton R. M. & Suh HH, (2000). Spatial variation in particulate concentrations within metropolitan Philadelphia. *Environmental Science Technology* 30, 400-407.
- Chow J. C. (1993). PM 1 and PM 2.5 compositions in California's San Joaquin Valley, *Aerosol Science Technology* 11 (4),23-36.
- Chow J. C. (1998). Guideline on speciated particulate monitoring, draft report prepared for the Office of Air Quality Planning and Standard, *US Environmental Protection Agency*.
- Chow J. C. (2000). A neighborhood-scale study of PM 10 source contribution in Rubidoux, California. *Atmospheric Environment* 26, 693-706.
- Corvalán, R.M. & Galecio, J.I. (2003). Effectiveness in the Use of Natural Gas for the Reduction of Atmospheric Emissions, *Science* 53, 71-75.
- Costa, D. L. & Dreher, K.L. (2004). Bioavailable transition metals in particulate matter mediate cardiopulmonary injury in healthy and compromised animal models. *Environmental Health* 105; 1053-1060.
- Dockery D. W. & Pope C. A. (2000). An association between air pollution and mortality in six US cities, *Scientific American*, 329, 1753-1759.
- Donaldson, K. (2004). Ultrafine Particle Mediated Lung Injury, *Aerosol Science*; 29, 553-560.

- Dye, J. A., Lehmann, J. & Mc Gee, J. (2001). Acute pulmonary toxicity of particulate matter filter extracts in rats: Coherence with epidemiologic studies in Utah Valley Residents, *Environmental Health*, 109, 395-404.
- Frank, R. & Tankersley, C. (2002). Air pollution and daily mortality: A hypothesis concerning the role of impaired homeostasis, *Environmental Health*, 110, 61-68.
- Gamble, J. (2001). Reply to Kunzli and Tager regarding casualty in PM 2.5 cohort studies, *Environmental Health*, 107, A393-A394.
- Ghio, A. J. & Devlin, R. B. (2001). Inflammatory lung injury after bronchial instillation of air pollution particles, *Care Medicine*, 164, 704-708.
- Godleski, J. & Verrier, R. (2000). Mechanisms of morbidity and mortality from exposure to ambient air particles, *Health*, 91, 5-10.
- Greenbaum, D. S. & Bachman, J. D. (2001). Particulate air pollution standards and morbidity and mortality: case study, *Health Perspective*, 104, 428-436.
- Hajat, S. & Haines, A. (2001). Association between air pollution and daily consultations with general practitioners for allergic rhinitis in London, *Health Perspective*, 103,235-242.
- Harrison R. M. & Jones M. (2003). The chemical composition of airborne particles in the UK atmosphere, *Science Total Environment*, 168, 195-214.
- Harrison R. M. & Msibi I. M. (2004). Validation of techniques for fast response measurements of HNO<sub>3</sub> and NH<sub>3</sub> and determination of the concentration product, *Atmospheric Environment* 28, 247-255.
- Hering S. V. (1994a). Particle measurements for the Childrens Health Study. *International Society for Environmental Epidemiology, Septiembre 18-21, 1994 Research Triangle Park, NC.*
- Hering S. V. (1994b). Design and implementation of a two week sampler for fine particle ions and gaseous acids, *International Aerosol Conference, Agosto 29- Septiembre 2, 1994, Los Angeles, California.*
- John, W. (1997). New Personal Samplers for Repirable Particles and PM 2.5. *Annual Conference of the American Association for Aerosol Research, Denver, CO, Octubre 13- 17, 1997.*
- Keles, N. & Deger, K. (1999). Impact of air pollution on prevalence of rhinitis in Istanbul. *Archives of Environmental Health*,54,( 48).

- Klemm, R. J. & Mason, R. M. (2000). Aerosol Research and Inhalation Epidemiological Study, *Air Waste Manage*, 50, 1433-1439.
- Laden, F. & Dockery, D. W. (2000). Association of fine particulate matter for different sources with daily mortality in six U.S. cities, *Health Perspective*, 108, 941-947.
- Lapple, C. E. (1995). Air pollution. *Stanford Research Institute Journal*, 5, 25-30.
- Lazar, A. & Reilly, P. (2003). Real-time Surface Analysis of Individual Airborne Environment Particles, *Environmental Science & Technology*, 33, 393-400.
- Levy, D., Sheppard, L. & Siscovick, D. (2001). A case crossover analysis of particulate matter air pollution and out of hospital primary cardiac arrest, *Epidemiology*, 12, 193-199.
- Levy, J. I. & Spengler, D. (2002). Modeling the benefit of power plant emission controls in Massachusetts, *Air Waste Manage*, 52, 5-18.
- Loomis D. P. & Castillejos M. (2001). Air Pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology*, 10; 118-123.
- Manso, P. & Sbarato, V. (2003). Análisis de Compuestos Orgánicos del Material Particulado Atmosférico. *Science*, Vol. 23; 50-55.
- Mukherjee, A.B. (2003). The Effects of Switching From Coal to Alternative Fuels on Heavy Metals Emissions from Cement Manufacturing, *Chemistry*, 43, 45-61.
- Mouche, C. (2000). Perfect weather for an air pollution study. *Pollution Engineering*. 32, 32-33.
- Ntziachristos, L. & Samara, Z. (2003). New Directions: Emerging demands for vehicles particle emission characterization, *Atmospheric Environment*, 37, 299-442.
- Oberdorster, G. & Gelein, R. M. (2002). Association of particulate air pollution and acute mortality, *Inhalations Toxics*, 7, 111-124.
- Pedraza, L. (2005). Asthma Walk, *En Balance*, Vol. 3 pág. 69.
- Pope, C. A. (2002). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults, *Care Medicine*, 151, 669-674.
- Phalen, R. F. (2004). The particulate air pollution controversy, *Science*, Vol. 30; 60-65.

- Prescott, G. J. & Cohen, G. R. (1998). Urban air pollution and cardiopulmonary ill health: A 14.5 year time series study. *Occupational and Environmental Medicine*, 55, 697-702.
- Schwartz, J. & Dockery, D. W. (2003). Is daily mortality associated specifically with fine particles?, *Waste Manage*, 46, 927-939.
- Sienra, M. R. & Rosazza, N. G. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons and their molecular diagnostic ratios in urban atmospheric respirable particulate matter, *Atmospheric Research*, 75, 267-281.
- Solomon, P. A., (1999). Chemical characteristics of PM 10 aerosols collected in the Los Angeles area *JAPCA* 39, 154-163.
- Solomon, P. A., (1998). Basinwide nitric acid and related species concentrations observed during the Claremont nitrogen species comparison study, *Atmospheric Environment*, 22 1587-1594.
- Sosaky, K. & Kurita, H., (2003). Behavior of Sulfates, Nitrates and other Pollutants in the Long-range Transport of Air Pollution. *Atmospheric Environment*, 32, 1301-1308.
- Sudesh, Y. & Rajamani V. (2006). Air Quality and trace metal chemistry of different size fractions of aerosols. *Atmospheric Environment*, 40, 698-712.
- Vana, M. & Tamm, E. (2003). Experimental Study of the Air Pollution Transport by Synchronized Monitoring of Atmospheric Aerosols. *Atmospheric Environment*, 33, 4615-4628.
- Zaragoza Urdaz, R. (2005). Alerta roja a invasión ambiental, *Salud al Día*, 2, 20-21.

## **TABLAS**



Tabla 1

*Estándares Nacionales Ambientales Primarios y Secundarios de Calidad de Aire para particulado.*

<b>Tamaño (micrones)</b>	<b>Valor del Estándar (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	
	<b>Anual</b>	<b>24 horas</b>
< 10	50	150
< 2.5	15	65

*EPA, Quality Assurance Handbook for Air Pollution, June, 1992.*

Tabla 2

**Características del Material Particulado**

Maneras de Formación	Reacciones químicas Condensación Coagulación Nubes/neblinas
Composición	Sulfato Nitrato Amonia Hidrógeno Carbón orgánico y elemental Compuestos orgánicos Agua Metales (Pb, Cd, V, Ni,Cu, Zn, Mn, Fe, etc.)
Solubilidad	Grandemente soluble, higroscópico
Fuentes	Combustión Conversión de gas a partículas de NO,SO <sub>3</sub> , y VOC
Tiempo atmosférico	Días a semanas
Distancia de viaje	100s a 1000s de Km

*Adaptado de Chow JC et al.,2000.*

Tabla 3

*Composición y concentraciones de Material Particulado, Bo. Amelia, Guaynabo.*

<b>Fecha</b>	<b>masa total (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Nitrato</b>	<b>Sulfato</b>	<b>C.Elemental</b>	<b>C.Orgánico</b>	<b>C.Total</b>	<b>T.Metal</b>
3/1/08	7.11	0.240	1.826	2.488	2.468	4.955	0.089
6/1/08	7.35	0.372	3.090	0.579	2.028	2.606	1.284
9/1/08	14.37	0.782	5.663	3.832	3.282	7.114	0.812
12/1/08	6.759	0.225	3.449	0.821	2.002	2.823	0.262
15/1/08	8.716	0.269	2.085	3.160	3.113	6.273	0.089
18/1/08	6.897	0.319	2.314	1.330	2.608	3.938	0.326
21/1/08	7.604	0.326	1.848	2.660	2.668	5.327	0.103
24/1/08	9.046	0.369	2.286	3.221	2.903	6.124	0.267
27/1/08	8.437	0.297	0.947	3.357	3.781	7.138	0.055
30/1/08	8.112	0.243	1.476	3.865	2.451	6.316	0.077

Tabla 4

*Porcentaje de composición de material particulado, Bo. Amelia, Guaynabo.*

<b>Fecha</b>	<b>masa total (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Nitrato %</b>	<b>Sulfato %</b>	<b>C. Total %</b>	<b>Trazos metal %</b>
3/1/08	7.11	3.4	26.0	70.0	1.3
6/1/08	7.35	5.1	42.0	35.4	17.5
9/1/08	14.37	5.4	39.4	50.0	5.7
12/1/08	6.759	3.3	51.0	42.0	3.9
15/1/08	8.716	3.1	24.0	72.0	1.0
18/1/08	6.897	4.6	34.0	57.0	5.0
21/1/08	7.604	4.3	24.0	70.0	1.4
24/1/08	9.046	4.1	25.3	68.0	3.0
27/1/08	8.437	3.5	11.2	85.0	0.7
30/1/08	8.112	3.0	18.2	78.0	0.9
<b>% Total</b>	<b>84.404</b>	<b>4.1</b>	<b>30.0</b>	<b>62.0</b>	<b>3.9</b>

Tabla 5

*Porcentaje individual de carbono total como componente de material particulado, Bo. Amelia, Guaynabo.*

<b>Fecha</b>	<b>Carbono Total (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>C. Elemental %</b>	<b>C. Orgánico %</b>
3/1/08	4.955	50.2	49.9
6/1/08	2.606	22.2	77.8
9/1/08	7.114	53.8	46.1
12/1/08	2.823	29.0	70.9
15/1/08	6.273	50.3	49.6
18/1/08	3.938	33.7	66.2
21/1/08	5.327	49.9	50.0
24/1/08	6.124	52.5	47.4
27/1/08	7.138	47.0	52.9
30/1/08	6.316	61.1	38.8
	% total	48.0	51.8

Tabla 6

*Composición y concentraciones de trazos de metal en material particulado, Bo. Amelia, Guaynabo.*

<b>Fechas</b>	<b>T. Metal</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Antimonio</b>	<b>Arsénico</b>	<b>Bario</b>	<b>Cadmio</b>
3/1/08	0.089	0.032	0.038	0.000	0.018	0.001
6/1/08	1.284	1.242	0.027	0.000	0.013	0.002
9/1/08	0.812	0.774	0.000	0.000	0.034	0.004
12/1/08	0.262	0.186	0.003	0.001	0.072	0.000
15/1/08	0.089	0.059	0.005	0.003	0.021	0.001
18/1/08	0.326	0.285	0.000	0.000	0.038	0.003
21/1/08	0.103	0.053	0.001	0.001	0.047	0.001
24/1/08	0.267	0.243	0.000	0.001	0.023	0.000
27/1/08	0.055	0.030	0.001	0.002	0.022	0.000
30/1/08	0.077	0.040	0.000	0.003	0.033	0.001

Tabla 7

*Porcientos individuales de componentes de trazos de metal en material particulado, Bo. Amelia, Guaynabo.*

<b>Fecha</b>	<b>Aluminio %</b>	<b>Antimonio %</b>	<b>Arsénico %</b>	<b>Bario %</b>	<b>Cadmio %</b>
3/1/08	35.95	42.69	0.00	20.22	1.12
6/1/08	96.72	2.10	0.00	1.01	0.15
9/1/08	95.32	0.00	0.00	4.18	0.49
12/1/08	70.99	1.14	0.38	27.48	0.00
15/1/08	66.29	5.61	3.37	23.59	1.12
18/1/08	87.42	0.00	0.00	11.65	0.92
21/1/08	51.45	0.97	0.97	45.63	0.97
24/1/08	91.01	0.00	0.37	8.61	0.00
27/1/08	54.54	1.81	3.63	40.00	0.00
30/1/08	51.94	0.00	3.89	42.85	1.29

Tabla 8

*Contribución de Fuentes de Material Particulado en área de estudio.*

<b>Fuente</b>	<b>Precursor de</b>	<b>%</b>
Tránsito	Carbón Orgánico y Elemental	62.0
Industrias	Sulfatos	30.0
Utilidades	Emisiones de NO2 Nitratos	4.1
Trazos de metal	Polvo Fugitivo	3.9
		Total 100



Tabla 9

*Contribución de componentes de trazos de metal en material particulado, Bo. Amelia, Guaynabo.*

<b>Elementos</b>	<b>%</b>
Aluminio	70.16
Antimonio	5.43
Arsénico	1.26
Bario	22.52
Cadmio	0.63
Total	100

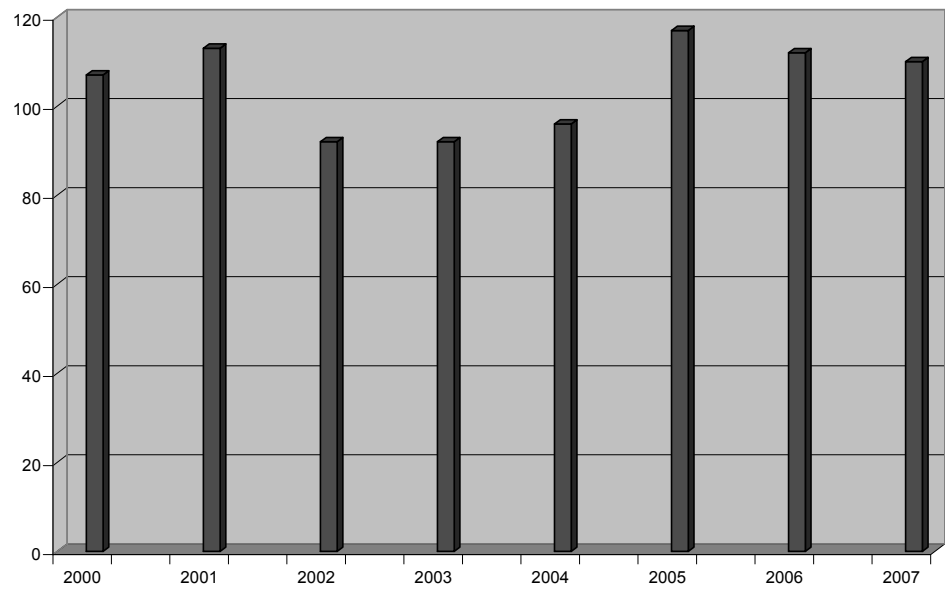
Tabla 10

*Total de vehículos transitando diariamente por área de estudio años 2000-2003-2006.*

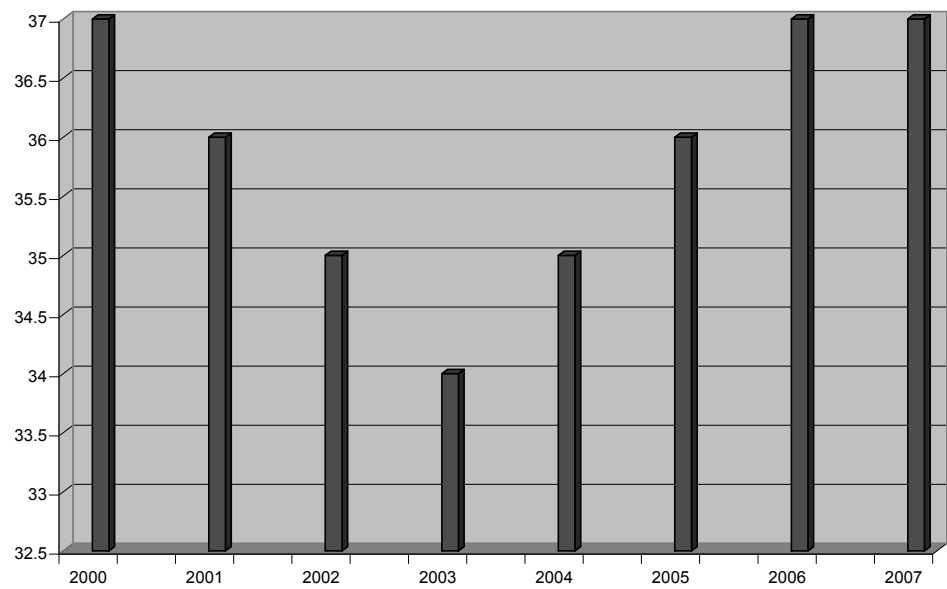
<b>PR. #</b>	<b>2000</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>	<b>aumento total en 6 años</b>
22	137,100	140,122	142,680	5,580
24	12,100	13,750	14,700	2,600
28	18,900	19,670	20,800	1,900
165	62,724	63,200	64,520	1,796
Total Área	230,824	236,742	242,700	11,876

Datos obtenidos del Departamento de Transportación y Obras Públicas.

## **FIGURAS**



*Figura 1.* Concentraciones máximas anuales en área de estudio de material particulado 2000-2007 (n=8), datos de la División de Manejo de Datos de la Junta de Calidad Ambiental.



*Figura 2.* Promedios de concentraciones anuales en área de estudio de material particulado 2000-2007 (n=8), datos de la División de Manejo de Datos de la Junta de Calidad Ambiental.

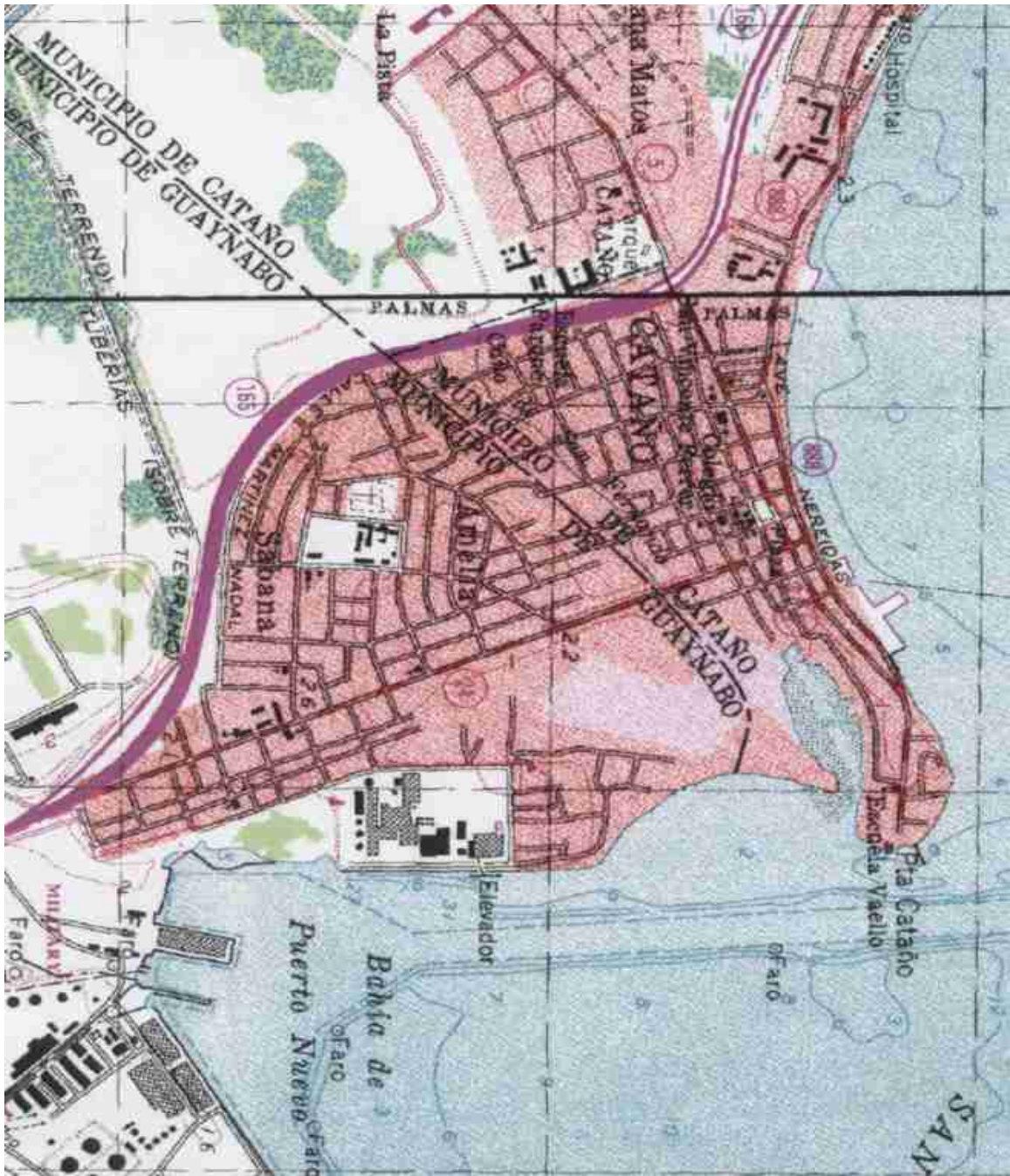
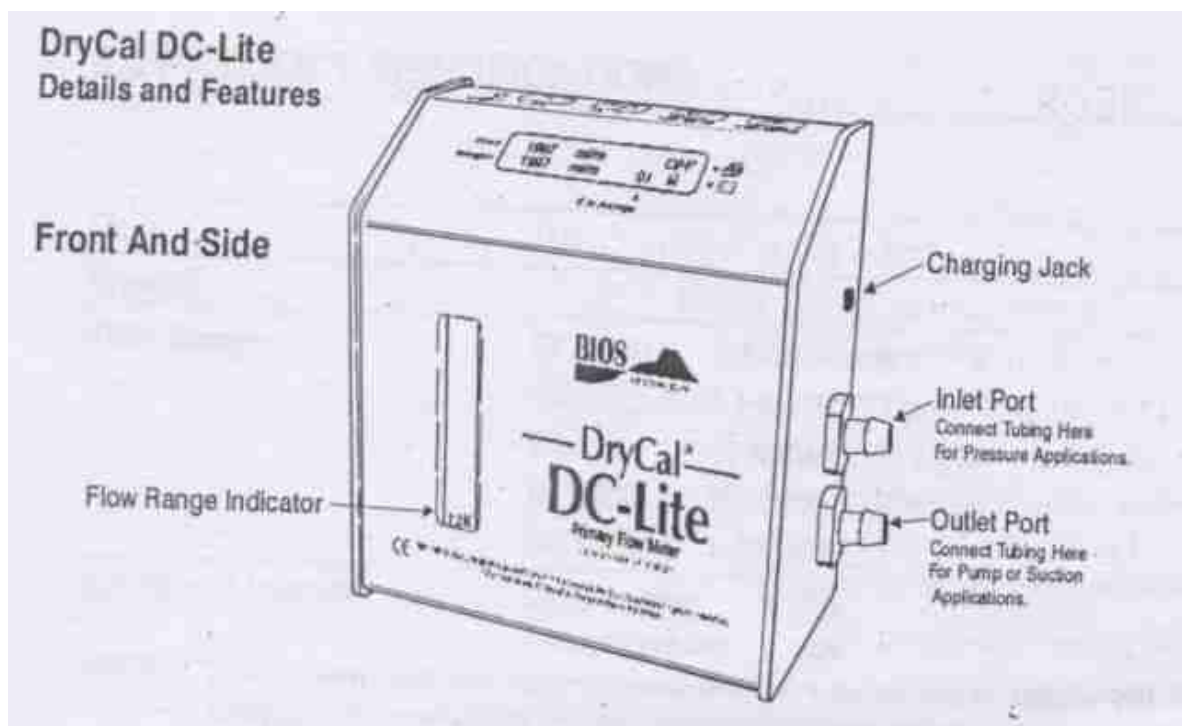


Figura 3. Mapa del área de estudio.



*Figura 4.* Equipo para medir material particulado (SASS).



*Figura 5.* Equipo de calibración DryCal DC-Lite



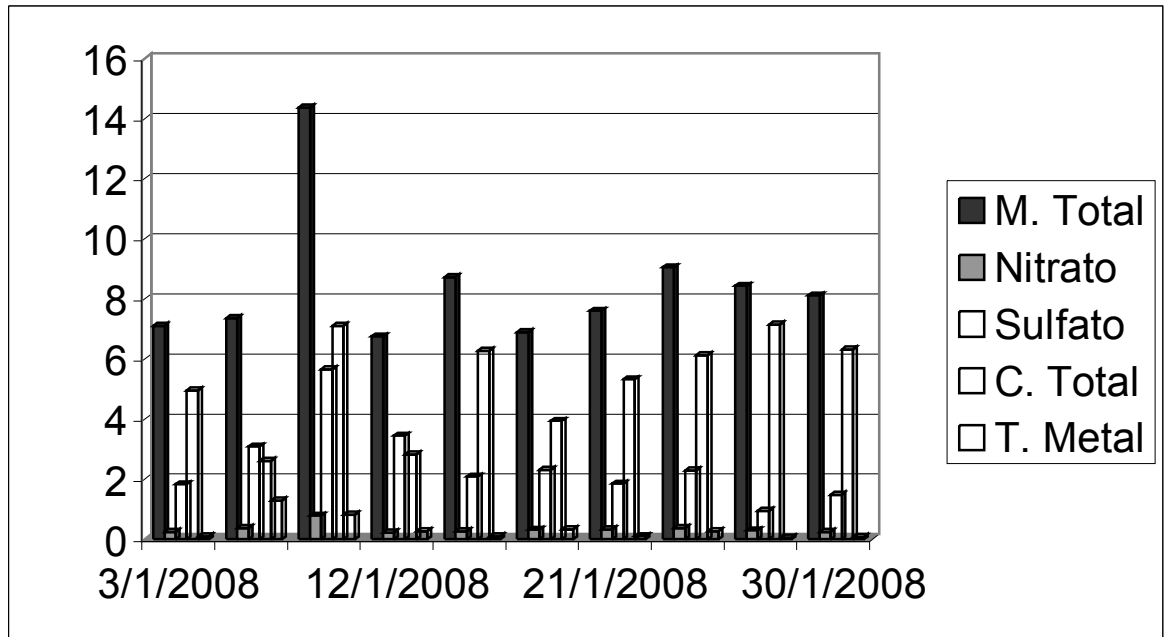
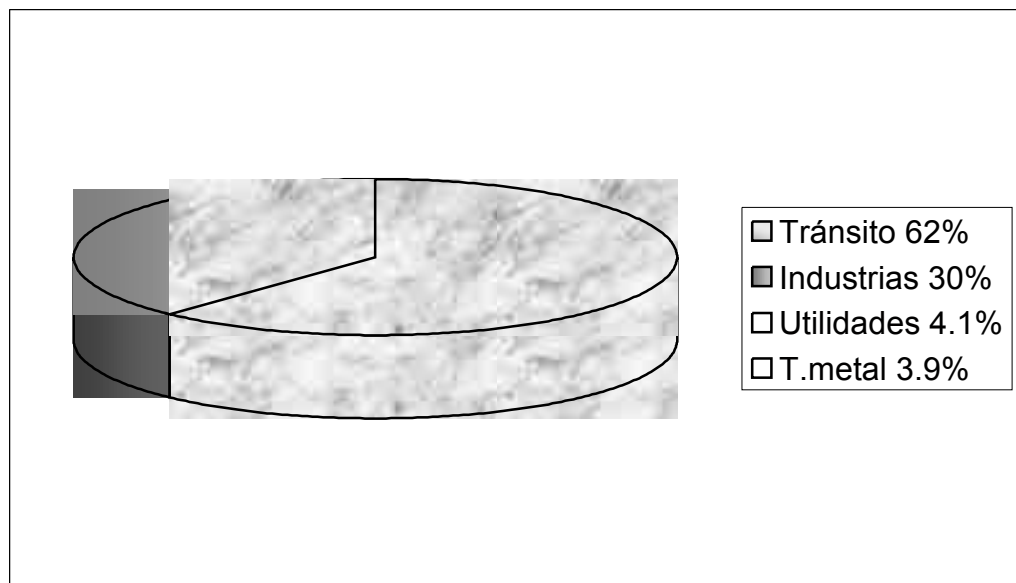
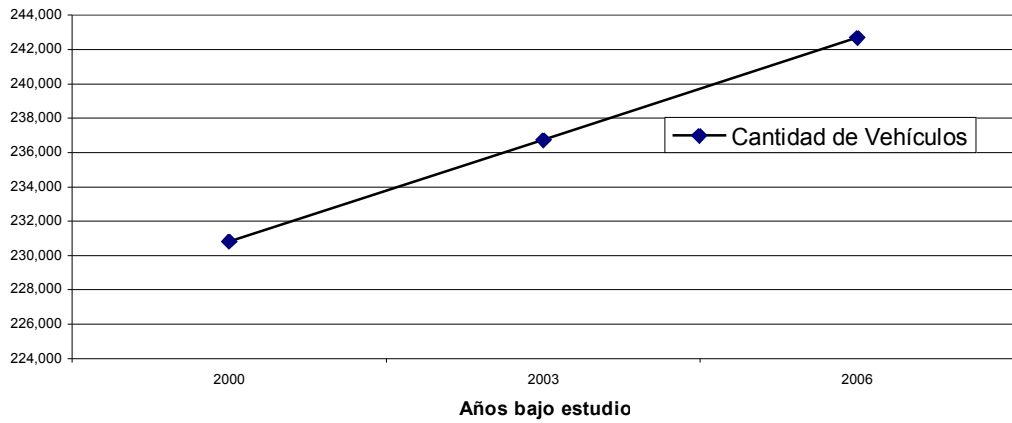


Figura 6. Composición y concentraciones de material particulado en el area del Bo. Amelia, Guaynabo, enero 2008 (n=10).



*Figura 7.* Contribución de fuentes de emisión de material particulado en el area del Bo. Amelia, Guaynabo.



*Figura 8.* Total de Vehículos Transitando Diariamente por Area de Estudio 2000-2003-2006

## **APÉNDICES**

**Hoja de Datos**

<b>Información Descriptiva</b>		<b>Informacion de Campo</b>	
Parámetro	-----	Temp/Presión	-----
Estación	-----	Fecha de muestreo	-----
Localización	-----	Hora Inicial ETM	-----
Equipo	-----	Hora Final ETM	-----
Flujo Ajustado	-----	Total	-----
<b>Instalación y Recogido de Filtros</b>		<b>Información Analítica</b>	
Instalación	Recogido	Núm. Filtro	-----
Firma	-----		-----
Fecha	-----		-----
Hora	-----	Masa Total	-----
<b>Resultados del Análisis</b>			

**Comentarios:**

Apéndice: 2

Cooler para la transportación de muestras

