

DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN PARTICULAS RESPIRABLES E  
IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISION, A PARTIR DE UN MUESTREO  
ATMOSFERICO EN LA LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA EN LA CIUDAD DE  
BOGOTÁ

LUISA FERNANDA PEREZ FADUL  
LILIANA HERNANDEZ HERNANDEZ

Tesis de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria

Director  
JORGE PACHON QUINCHE  
Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
PREGRADO EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C  
2006

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras expresan sus agradecimientos a:

A nuestros padres por su incansable apoyo.

A Dios...

Al Departamento de Investigaciones de la Universidad de La Salle, por la financiación de este estudio.

A todos los integrantes del grupo de investigación de aerosoles, por el trabajo en equipo que se logró, especialmente a los futuros ingenieros Lucho y Yuliana.

Al Ingeniero Jorge Pachón, director de la presente investigación por sus aportes y dedicación en el desarrollo de la propuesta.

Al Químico Hugo Sarmiento por la asesoría técnica y la dedicación para la realización de este estudio.

A la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle.

A las personas que de alguna manera brindaron su colaboración en el desarrollo de esta investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

	pag.
1. RESUMEN.....	9
2. ABSTRACT.....	10
3. INTRODUCCIÓN.....	11
4. OBJETIVOS.....	13
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
5. ANTECEDENTES.....	14
6. MARCO TEORICO.....	18
6.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	18
6.2 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.....	19
6.2.1 Partículas atmosféricas.....	20
6.2.2 Metales pesados.....	22
6.2.2.1 Plomo.....	23
6.2.2.1.1 Efectos en la salud.....	24
6.2.2.2 Cromo.....	25
6.2.2.2.1 Efectos en la salud.....	25
6.2.2.3 Cinc.....	26
6.2.2.3.1 Efectos en la salud.....	27
6.2.2.4 Cobre.....	27
6.2.2.4.1 Efectos en la salud.....	28
6.2.2.5 Hierro.....	28
6.2.2.5.1 Efectos en la salud.....	28
6.3 MUESTREO ATMOSFÉRICO.....	29
6.3.1 Muestreador de alto volumen (Hi-Vol-PM <sub>10</sub> ).....	30
6.3.2 Procedimiento de muestreo.....	31
7 METODOLOGIA.....	32

7.1 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO.....	32
7.2 EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA DE MUESTREO.....	32
7.2.1 Procedimiento de muestreo.....	33
7.3 REALIZACIÓN DE ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	33
7.3.1 Procedimiento de extracción.....	34
7.3.2 Procedimiento de lectura de las muestras.....	35
7.4 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN.....	36
7.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	37
8 INFORMACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	38
8.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	38
8.2 SITUACIÓN ACTUAL.....	39
8.2.1 Calidad del aire.....	40
8.2.2 Presencia Industrial.....	41
8.2.2.1 Fuentes fijas.....	41
8.2.2.2 Fuentes Móviles.....	45
8.3 METEOROLOGÍA.....	46
8.3.1 Rosas de contaminación de PM <sub>10</sub> .....	49
9. RESULTADOS .....	50
9.1 CONCENTRACIÓN DE PM <sub>10</sub> .....	50
9.1.1 Muestra de cálculos de PM <sub>10</sub> .....	50
9.1.2 Resultados PM <sub>10</sub> .....	51
9.2 CONCENTRACIÓN DE METALES.....	52
9.2.1 Muestra de cálculos metales.....	52
9.2.2 Resultados de metales.....	53
9.3 PORCENTAJES DE RECUPERACIÓN.....	54
10. FUENTES DE EMISIÓN.....	56
10.1 AGRUPACIÓN INDUSTRIAL DE LA EPA.....	56
10.2 PRESENCIA INDUSTRIAL CERCANA A LAS ESTACIONES DE MUESTREO.....	60
10.3 PROCESOS INDUSTRIALES RELEVANTES.....	63

10.3.1 Fabricación de pinturas y barnices (D 2422).....	63
10.3.2 Fundición secundaria de cobre (D 2732).....	64
10.3.3 Fundición secundaria de plomo (D 2732).....	66
10.3.4 Fundición de hierro (D 2731).....	68
10.3.5 Fundición secundaria del cinc (D2732).....	70
10.3.6 Fundición secundaria de aluminio (D2732).....	74
11. ANALISIS DE RESULTADOS.....	79
11.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PM <sub>10</sub> .....	79
11.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE METALES PESADOS.....	80
11.2.1 Plomo.....	80
11.2.2 Cobre.....	84
11.2.3 Hierro.....	87
11.2.4 Cinc.....	90
11.2.5 Cromo.....	93
11.3. CORRELACIONES.....	96
12 ESTIMACIÓN DE RIESGOS SOBRE LA SALUD HUMANA.....	99
12.1 RIESGOS NO CANCERÍGENOS.....	99
12.2 RIESGOS CANCERÍGENOS.....	101
12.3 RESULTADOS RIESGOS.....	102
13. CONCLUSIONES.....	108
14. RECOMENDACIONES.....	111
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones estándar del EAA para lectura de metales .....	35
Tabla 2. Número de empresas por actividad industrial en Puente Aranda.....	42
Tabla 3. Porcentaje de industrias y consumo de combustibles .....	44
Tabla 4. Distribución porcentual de vehículos en sitios de aforo de la localidad de Puente Aranda.....	45
Tabla 5. Concentración de PM <sub>10</sub> en la estación del Invima.....	51
Tabla 6. Concentración de PM <sub>10</sub> en la estación de la Merced.....	51
Tabla 7. Concentraciones de metales en PM <sub>10</sub> en el Invima.....	53
Tabla 8. Concentraciones de metales en PM <sub>10</sub> en la Merced.....	54
Tabla 9. Límites de detección del EAA.....	54
Tabla 10. Porcentajes de recuperación de los metales en el filtro de fibra de vidrio.....	55
Tabla 11. Porcentajes de recuperación de los metales en el filtro de cuarzo.....	55
Tabla 12. Actividades de la industria metalúrgica y generación de metales pesados.....	57
Tabla 13. Actividades de la industria química y generación de metales pesados.....	58
Tabla 14. Actividades de la industria de productos minerales no metálicos y generación de metales pesados.....	59
Tabla 15. Tipos de combustibles y emisión de metales pesados.....	60
Tabla 16. Actividades industriales posibles generadoras de metales pesados cercanas a la estación de la Merced.....	61
Tabla 17. Actividades industriales posibles generadoras de metales pesados cercanas a la estación del Invima.....	62
Tabla 18. Concentraciones de Pb en el Invima.....	80
Tabla 19. Concentraciones de Pb en la Merced.....	81
Tabla 20. Concentraciones de Cu en el Invima.....	84

Tabla 21. Concentraciones de Cu en la Merced.....	85
Tabla 22. Concentraciones de Fe en el Invima.....	88
Tabla 23. Concentraciones de Fe en la Merced.....	89
Tabla 24. Concentraciones de Zn en el Invima.....	90
Tabla 25. Concentraciones de Zn en la Merced.....	91
Tabla 26. Concentraciones de Cr en el Invima.....	94
Tabla 27. Concentraciones de Cr en la Merced.....	95
Tabla 28. Correlación entre metales en la Merced.....	97
Tabla 29. Correlación entre metales en el Invima.....	97
Tabla 30. Factores de exposición humana comúnmente usadas.....	100
Tabla 31. Riesgos no cancerígenos para Cr en el Invima durante los días de muestreo.....	103
Tabla 32. Riesgos no cancerígenos para Cr en la Merced durante los días de muestreo .....	104
Tabla 33. Riesgos cancerígenos para Cr en el Invima durante el periodo de muestreo .....	105
Tabla 34. Riesgos cancerígenos para Cr en la Merced durante el periodo de muestreo .....	106

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento de monitoreo.....	33
Figura 2. Procedimiento de extracción del material filtrado.....	34
Figura 3. Procedimiento de manejo del EAA.....	36
Figura 4. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo.....	39
Figura 5. Concentraciones máximas de $PM_{10}$ de las estaciones del RMCAB para junio del 2004 y 2005.....	40
Figura 6. Rosas de vientos para los días de muestreo en el Invima.....	47
Figura 7. . Rosas de vientos para los días de muestreo en la estación de la Merced.....	48
Figura 8. Rosas de $PM_{10}$ en la estación de Merck .....	49
Figura 9. Diagrama de flujo refinación secundaria de cobre.....	64
Figura 10. Diagrama de flujo fundición secundaria de plomo .....	66
Figura 11. Proceso de fundición de hierro. ....	69
Figura 12. Diagrama de flujo del proceso secundario de cinc. ....	72
Figura 13. Diagrama de flujo para el procesamiento secundario de aluminio.....	76
Figura 14. Concentraciones de $PM_{10}$ en la estación del Invima.....	79
Figura 15. Concentraciones de $PM_{10}$ en la estación de la Merced. ....	80
Figura 16. Concentraciones de Pb en el Invima.....	81
Figura 17. Concentraciones de Pb en la Merced.....	82
Figura 18. Concentraciones de Cu en el Invima.....	84
Figura 19. Concentraciones de Cu en la Merced.....	85
Figura 20. Concentraciones de Fe en el Invima.....	88
Figura 21. Concentraciones de Fe en la Merced.....	89
Figura 22. Concentraciones de Zn en el Invima.....	91
Figura 23. Concentraciones de Zn en la Merced.....	92
Figura 24. Concentraciones de Cr en el Invima.....	94
Figura 25. Concentraciones de Cr en la Merced.....	95



## 1. RESUMEN

El presente estudio se enfoca en la determinación de metales pesados (Pb, Cu, Cr, Zn, Fe), en la fracción respirable del aire (PM<sub>10</sub>) de dos puntos de muestreo en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá. Cada muestreo se realizó durante 10 días consecutivos en los meses de junio y julio del 2005. El primer muestreo se realizó en las instalaciones del Invima del 23 junio al 4 de julio, en este se utilizaron filtros de fibra de vidrio, el segundo muestreo se realizó en las instalaciones del colegio la Merced del 9 de julio al 19 de julio y se utilizaron filtros de cuarzo, en ambas estaciones se utilizó un muestreador del alto volumen para la colección de las muestras.

Para la determinación de los metales se realizó un proceso de extracción de los filtros estandarizado por la EPA mediante el método IO – 3.1 (EPA, 1999) y para la lectura de las concentraciones de metales en las muestras extraídas se utilizó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA), con el método IO-3.2

Las concentraciones más altas registradas en las estaciones de muestreo fueron: Pb: 10.78 µg/m<sup>3</sup>, Cu: 0.34 µg/m<sup>3</sup>, Fe: 9.84 µg/m<sup>3</sup>, Zn: 9.91 µg/m<sup>3</sup> y, Cr: 1.58 µg/m<sup>3</sup>. Los metales con mayor concentración fueron el Fe y el Pb, el primero debido a que es un metal que se encuentra en la corteza terrestre y así mismo en distintas actividades industriales al igual que el Pb. Se identificó que la principal fuente de emisión para todos los metales es la fundición secundaria de metales no ferrosos y a la combustión de carbón en los distintos procesos industriales.

## 2. ABSTRACT

The present study focuses in the determination of heavy metals (Pb, Cu, Cr, Zn, Fe) in the breathable fraction of the air (PM<sub>10</sub>) in two points located in the Locality of Puente Aranda in Bogotá city. Each point was studied during 10 consecutive days in June and July of the present year. The first sampling was made in the Invima from 23 June to 4 July, in this were used fiber glass filters, the second sampling was made in the school La Merced from 9 July to 19 July and using quartz filters, in both stations was used a High Volume.

For the determination of metals a process of extraction to the filters was used an standardized method IO - 3.1 from the Environmental Protection Agency. For the reading of the metal concentrations in the extracted samples an EAA was used.

The higher concentrations registered in the sampling were: Pb: 10.78 µg/m<sup>3</sup>, Cu: 0.34 µg/m<sup>3</sup>, Fe: 9.84 µg/m<sup>3</sup>, Zn: 9.91 µg/m<sup>3</sup> y, Cr: 1.58 µg/m<sup>3</sup> The heavy metals with the higher concentration were Fe and Pb. The first because it is a metal that is in the terrestrial crust and in different industrial activities like the Pb. Was identified that the main source of emission for all metals is the secondary nonferrous metal smelting and to the coal combustion in the different industrial processes.

### 3. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un fenómeno creciente en nuestra sociedad cada día más industrializada y despreocupada con respecto a la problemática. Hoy en día existe un desconocimiento sobre las consecuencias en la salud y el medio ambiente que desencadena la contaminación del aire, así mismo se desconocen las características de las sustancias peligrosas que se encuentran en el aire, tales como los metales pesados.

La influencia de las diversas actividades industriales en zonas urbanas es un factor determinante en la contaminación atmosférica ya que en sus procesos se utilizan y por tanto se generan sustancias que representan un riesgo sobre la población y el ambiente.

El trabajo sobre calidad del aire en la Localidad de Puente Aranda que realiza el grupo de investigación de la facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria cuenta con el apoyo de la Universidad de La Salle, se lleva a cabo con el fin de determinar las características químicas del material particulado. La presente investigación permite identificar y cuantificar la concentración de metales pesados como sustancias peligrosas en filtros de  $PM_{10}$  lo cual constituye una herramienta útil para las autoridades ambientales, los sectores industriales, el sector salud y la comunidad con el fin de ejercer un debido control.

Los conocimientos científicos de la Ingeniería Ambiental son una herramienta clave en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades afectadas por la contaminación, ya que permiten identificar los contaminantes y los mecanismos de control y mitigación de los efectos de estos en el entorno.

Este trabajo de grado hace parte del proyecto “Estimación del riesgo en la salud humana a partir de la caracterización de aerosoles en la Localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá”, siendo la primera fase de tres que se realizarán en distintas épocas y en cual se realizan diferentes estudios sobre calidad de aire, tales como HAP’S en  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , epidemiología, microbiología, partículas y metales pesados en  $PM_{10}$ .

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la concentración de los metales pesados Fe, Cr, Cu, Zn y Pb en el material particulado ( $PM_{10}$ ) del aire durante un periodo de muestreo en el año 2005 en la localidad de Puente Aranda.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar análisis químicos a las muestras de  $PM_{10}$  obtenidas en las estaciones de muestreo mediante la metodología IO 3.1 y 3.2 de la EPA sobre selección, preparación y extracción de material filtrado y así determinar las concentraciones de metales pesados (Cr, Pb, Fe, Cu y Zn).
- Identificar las actividades industriales que generan mayor emisión de metales pesados en partículas respirables, como herramienta para las autoridades ambientales.
- Divulgar los resultados del estudio ante la comunidad académica.

## 5. ANTECEDENTES

Entre agosto de 1990 y diciembre de 1991, el gobierno de Japón dirigió un estudio para establecer un plan de control sobre contaminación del aire de la ciudad de Bogotá, encomendado a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), la cual instaló cinco estaciones de monitoreo en diferentes zonas de la ciudad entre las cuales se encuentra la estación de Puente Aranda. (Secretaría Distrital de Salud, 1998).

La Alcaldía de Puente Aranda, el hospital Trinidad Galán y la Secretaría Distrital de Salud con el apoyo de la Universidad del Bosque (centro de investigación y desarrollo tecnológico en ambiente, salud y comunidad) consideraron necesario realizar un estudio para determinar la asociación entre contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda. El estudio pretendía conocer la magnitud del problema y, con base en ello, suministrar información a los diferentes niveles técnicos y de gestión comprometidos en la solución del problema aplicando la normatividad para diseñar un programa de vigilancia epidemiológica ambiental en la ciudad, sustentado en el muestreo ambiental.

Del estudio mencionado se puede concluir que los niveles de óxido de azufre encontrados en la zona están por debajo de lo reportado en el estudio de JICA en 1991 y se encuentran dentro de los límites permitidos en la norma de calidad del aire. Los niveles de dióxido de nitrógeno están por encima de lo reportado en el estudio del JICA pero no superan la norma y los niveles de ozono están por debajo de lo reportado en el estudio y muy por debajo de la norma. Por su parte  $PM_{10}$  y TSP superan la norma de calidad. (Aristizábal, 1997)

En un estudio realizado en la ciudad de Bogotá sobre exposición de emisiones en una zona de alto tráfico vehicular ubicado en el cruce de la avenida Ciudad de Quito con calle 45, se determinaron concentraciones de Plomo, Cadmio, Cobre, Cromo y Manganeseo en donde se encontró la mayor concentración para Plomo ( $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Cobre ( $0.58\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y se concluyó que la fuente fundamental de la contaminación por material particulado y metales pesados asociados en la zona de observación la constituyen las fuentes móviles, las cuales emiten estos contaminantes como subproductos de la combustión de gasolina y A.C.P. en los motores. (Cárdenas, 2003)

En un trabajo de investigación sobre la concentración de sustancias peligrosas en partículas respirables en la zona metropolitana de Bogotá se analizaron los metales Cromo, Cobre, Cadmio, Níquel, Manganeseo, Plomo y Mercurio en donde se encontró que la estación de Soacha es donde se presentan las mayores concentraciones de metales pesados en partículas respirables, lo cual se explica por la intensa actividad industrial que tiene el municipio. Llama la atención en especial las altas concentraciones de plomo, que se asocian principalmente a las actividades de fundición de metales, fundición de acero y fabricación de vidrio, y de manganeseo asociado igualmente a la fundición de acero en altos hornos. (Pachón, 2004)

La Universidad de los Andes implementó la instalación de una estación de muestreo de la calidad de aire en la zona industrial de Puente Aranda de la ciudad de Bogotá, con el fin de determinar las concentraciones de los contaminantes presentes en la atmósfera (TSP y  $\text{PM}_{10}$ ), las variaciones respecto al tiempo y ubicación, entre otros parámetros que permitan controlar los efectos de la contaminación.

Como resultado de este estudio se encontró que para partículas totales no se superó la norma diaria del DAMA de PST de  $306\mu\text{g}/\text{m}^3$ , aunque el promedio

encontrado ( $\pm 126.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) supera la norma anual de  $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , por lo que se concluyó que las condiciones a los alrededores de la estación de muestreo en cuanto a las partículas totales no son las óptimas. Para  $\text{PM}_{10}$  el promedio encontrado ( $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) supera concentración promedio anual recomendada por la OMS de  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por lo que se concluyó que la calidad del aire respecto a  $\text{PM}_{10}$  no es buena y cataloga a la zona en un nivel de prevención. (Gómez, 1998)

En esta misma institución educativa se realizó un estudio sobre la determinación de metales pesados en las partículas del aire por medio del análisis químico de partículas suspendidas del aire y en  $\text{PM}_{10}$ , utilizando dos métodos estandarizados: ensayos de decolmatación y ensayos de digestión.

Los elementos que presentaron concentraciones menores al límite de detección fueron Níquel, Cromo y Manganeso. Los elementos no detectados debido a su alto contenido en el filtro blanco fueron Sodio, Aluminio, Zinc, Silicio y Potasio. Los elementos que pudieron ser analizados fueron Calcio, Cadmio, Cobre, Hierro, Magnesio y Plomo, de los cuales el Cadmio superó la máxima concentración anual recomendada por la OMS indicando un alto grado de afectación sobre la salud en especial por su alto contenido en  $\text{PM}_{10}$ . (Páez, 1998)

Como continuidad del estudio de Páez, se realizó una medición de elementos cuyas concentraciones en el estudio anterior estaban por debajo de los límites de detección y por lo tanto no se realizaron. Esto incluye al Cadmio, Cromo, Níquel, Manganeso y Plomo y adicionalmente mediciones de Mercurio y Arsénico por la peligrosidad que representa a la salud humana. Este estudio se realizó en la zona industrial de Puente Aranda por ser considerada una zona de gran contaminación atmosférica y se encontró que las concentraciones de los metales están por debajo de las recomendaciones expedidas por la OMS. (Roa, 1999).



Debido a los antecedentes encontrados se observa que la zona en estudio es un foco de contaminación atmosférica en la ciudad y requiere atención de personal técnicamente capacitado para estudiar más a fondo su situación. De igual manera se concluye que en todos los estudios realizados anteriormente no se han relacionado la presencia de metales pesados en el material particulado con las fuentes de emisión que los generan, lo cual podría ser una herramienta útil para las autoridades ambientales

## **6. MARCO TEORICO**

El presente capitulo describe los conceptos necesarios para tratar el tema de contaminación atmosférica por metales pesados en partículas respirables ( $PM_{10}$ ) que justifican la realización de esta investigación.

### **6.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

La contaminación del aire se define como la incorporación a la atmósfera de cualquier sustancia que altere sus propiedades físicas o químicas, en donde los contaminantes más comunes: el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre, los hidrocarburos, los oxidantes fotoquímicos y para efectos de este trabajo las de mayor interés son aquellas partículas en cuyos componentes se encuentran metales pesados.

Los contaminantes pueden ser originados por fenómenos naturales o por diversas actividades humanas. Entre los procesos naturales se encuentran la actividad volcánica y algunas reacciones biológicas. Por otra parte, los procesos de combustión, las actividades industriales y el transporte hacen parte de las fuentes antrópicas más importantes en cuanto al tipo de contaminantes que se pueden generar.

La presencia de los contaminantes emitidos a la atmósfera sufre procesos de transporte y transformación antes de llegar al receptor final, el cual dependiendo de la dosis y peligrosidad del contaminante podría presentar efectos adversos.

El tiempo de residencia y la dispersión de los contaminantes en la atmósfera depende de la naturaleza del contaminante, de los factores meteorológicos de la zona donde se emite (dirección y velocidad del viento, diferencial vertical de la

temperatura, humedad relativa, precipitación y radiación solar) y de sus características topográficas (altitud, tipo de suelo y relieve), presentando diferentes concentraciones como resultado de la interacción entre los contaminantes y los elementos constitutivos de la atmósfera.

Para caracterizar cualitativa y cuantitativamente los contaminantes se cuenta con diversas técnicas de muestreo y análisis cuyas variables se definen teniendo en cuenta los objetivos del estudio. También existen metodologías indirectas para esta cuantificación como es el caso de los factores de emisión.

## **6.2 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS**

En la atmósfera se encuentran una gran cantidad de contaminantes, entre los que se incluyen en la fracción inorgánica más de 20 elementos metálicos y en la orgánica hidrocarburos, ácidos y bases (Fergusson, 1990). Las partículas son una mezcla de partículas suspendidas y dispersas tanto sólidas como líquidas en la atmósfera. Sus propiedades varían de acuerdo a su composición química y morfología. Las partículas se encuentran en el aire en la forma de polvo, humo y aerosoles.

Las partículas de  $PM_{10}$  están constituidas principalmente por sulfatos, nitratos, iones de amonio, ácidos, cloruros, agua, metales y carbón elemental y orgánico, mientras que las partículas suspendidas totales PST están formadas en su mayoría por silicio, aluminio, titanio, magnesio, hierro, carbonato de calcio, cloruro de sodio, polen, esporas, hongos, fragmentos de plantas y animales (Amador et al., 2001).

Las partículas finas (en el rango de 2.5 a 10  $\mu m$ ) tienen una composición de origen terrestre (suelo), mientras que la composición química de las partículas ultra finas (menores de 2.5  $\mu m$ ) demuestran una abundancia mayor de derivados del azufre y

del nitrógeno. Dichas partículas se forman de la interacción química o física entre contaminantes presentes en el aire (Fergusson, 1990).

En 1984 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) modificó los estándares ambientales de calidad del aire luego de una revisión de los criterios de salud y bienestar con base en los estándares de partículas, se propuso cambios en los mismos, que se concretaron en las siguientes decisiones:

- Se estableció como indicador de los estándares de calidad del aire aquellas partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrones ( $PM_{10}$ ).
- Se promulgó un nuevo método para la medición de  $PM_{10}$  en el aire ambiente, basado en la selección de partículas  $PM_{10}$  por separación interna, seguida de filtración y determinación gravimétrica de la masa de  $PM_{10}$  en el sustrato de filtro.

### **6.2.1 Partículas atmosféricas**

El material particulado en el aire es una mezcla de partículas suspendidas y dispersas tanto sólidas como líquidas en la atmósfera. Las propiedades de estas partículas varían en términos de su composición química, su morfología (tamaño y forma), parámetros ópticos y características eléctricas como la carga y la resistencia. Estas partículas que por lo general no son esféricas se clasifican en términos de un diámetro equivalente, por ejemplo el diámetro aerodinámico. Este se define como el diámetro en una esfera con densidad de  $1 \text{ g/cm}^3$ , con la misma velocidad terminal debida a la fuerza gravitacional bajo condiciones estándar de temperatura, presión y humedad relativa.

La exposición del ser humano a la contaminación del aire genera efectos adversos sobre la salud que resultan por inhalación de material particulado, el cual contiene

elementos altamente tóxicos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos y los metales pesados. Los efectos de las partículas cuando pasan a través del tracto respiratorio pueden ser:

- Cambios en la función pulmonar.
- Cambios en la capacidad de inmunidad o resistencia del pulmón.
- Ocurrencia de trastornos respiratorios.
- Agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes.
- Mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias.
- Cambios morfológicos del tracto respiratorio.
- Cáncer
- Muerte

(Nasralla et al., 1985)

El tamaño de las partículas suele definirse por su diámetro, a menos que se conozca la forma geométrica, en cuyo caso pueden indicarse la longitud y la anchura. Para las partículas esféricas, el diámetro será un índice específico del tamaño, pero para las no esféricas es preciso adoptar algún índice convencional como puede ser: el volumen de la partícula en términos de esfera, la masa de la partícula en términos de esfera, la velocidad de sedimentación de la partícula en términos de la velocidad correspondiente a una esfera, el diámetro de la partícula como dimensión de la superficie proyectada tal como se ve al microscopio.

Los efectos que se puedan generar en la salud dependen de la composición química del material formado por partículas, de los materiales usados en el proceso de producción. La necesidad de realizar análisis químicos aparece según las presuntas sustancias tóxicas nocivas existentes. La composición del polvo determina los efectos en la salud. Un estudio sobre la composición química de las partículas muestra que algunos de sus componentes se asocian con daños

específicos a la salud, principalmente algunos compuestos orgánicos, metales pesados y una gran variedad de especies químicas (Castillejos, 1999).

### **6.2.2 Metales pesados**

Entre los metales pesados se encuentran una variedad de elementos (Cr, Cu, Fe, Pb, Zn, entre otros), se consideran pesados porque su densidad es mayor a  $6 \text{ g/cm}^3$ . Los riesgos ocasionados por metales pesados en la atmósfera se manifiestan cuando su absorción y acumulación en los tejidos de animales supera algunos límites; sin embargo existen metales que son tóxicos incluso a bajas concentraciones, tales como: Pb, Cd, As y Hg (consultar: Safety and Health Topics, Toxic Metals. [www.osha.gov](http://www.osha.gov)). En la fracción de  $\text{PM}_{10}$  se encuentran de un 75 a un 90% de metales como: Cu, Cd, Ni, Zn y Pb, lo cual implica que existe un alto porcentaje de riesgo y probabilidad de generar daños graves al organismo expuesto. (Báez, 2001)

Para la caracterización química de elementos trazas en partículas del aire existen esencialmente siete técnicas analíticas disponibles en la actualidad (Páez, 1998):

1. Fluorescencia con rayos X
2. Análisis de neutrón activado
3. Emisión de rayos X para inducir las partículas
4. Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)
5. Espectrofotometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente
6. Espectrofotometría de masas con plasma acoplado inductivamente
7. Cromatografía iónica

Las tres primeras técnicas son para análisis de varios elementos, no destructivas, basadas en la teoría de los núcleos y los átomos. La emisión de rayos X permite la determinación de metales trazas tales como el Pb, Zn, Ca y Si. Los métodos

cuatro a seis son destructivos y también sirven para realizar análisis de varios elementos a la vez; mientras que la utilización del Espectrofotómetro de Absorción atómica (EAA) usualmente sirve para determinaciones de elementos en forma individual.

En el EAA los análisis se realizan mediante la absorción de una luz visible y característica de cada metal. Existen dos opciones: EAA con llama y con horno de grafito. Dado que la técnica de EAA ofrece versatilidad, rapidez en los análisis, fácil calibración y alta sensibilidad, la determinación de los metales pesados se acostumbra a realizar con esta técnica. Para realizar las lecturas en el EAA es necesario someter los filtros a un proceso de digestión en el cual se utiliza una solución ácida ( $\text{HNO}_3$  y  $\text{HCl}$ ).

#### **6.2.2.1 Plomo**

Se puede estar expuesto a este metal por inhalación o por ingestión. Los efectos del plomo son similares para ambas rutas de exposición (inhalación e ingestión). Los riesgos no se miden por la ruta de exposición sino por el nivel de plomo en la sangre. Las principales fuentes de emisión de este metal en la atmósfera han sido atribuidas a la combustión de la gasolina, aunque en el país ha sido retirada la gasolina plomada del mercado, otras fuentes como la combustión de residuos sólidos, carbón y aceites, emisiones de producción de hierro y acero y fundiciones de plomo y manufactura de vidrio. La exposición de plomo puede ocurrir en el sitio de trabajo como en la fundición de plomo e industrias de refinería, fábricas de hierro y acero y fabricación de baterías a base de plomo. Es persistente en el medio ambiente, es bioacumulable y tóxico para los humanos y el medio ambiente. (ATSDR, 1998)

Según (Páez, 1998) las más altas concentraciones se encuentran en áreas urbanas. En algunas ciudades europeas la media anual oscila entre 0.5 y 3

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para calcular la cantidad de plomo que absorbe una persona, se asume que un adulto respira aproximadamente  $20 \text{ m}^3/\text{d}$  y tiene un promedio de absorción del 40%. De esta manera un adulto ante una concentración de  $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , absorbe  $2.4 \mu\text{g}/\text{día}$ , y ante  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , absorbe  $4 \mu\text{g}/\text{d}$ . Como las consecuencias del plomo se miden a partir de su concentración en la sangre, entonces se tiene la siguiente relación para lograr análisis:

$3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el aire  $\rightarrow$   $0,3 \mu\text{g}/\text{ml}$  en la sangre.

La reglamentación para Bogotá según la Resolución 1208 del 2003 expedida por el DAMA es de  $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio anual. Existen un valor límite de concentración en la sangre para este metal de  $0.2 \mu\text{g}/\text{ml}$ , lo cual equivale a una concentración en aire de  $0,5$  a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (WHO, 1987).

#### **6.2.2.1.1 Efectos en la salud**

Entre los efectos agudos que puede ocasionar la exposición al plomo se encuentra la muerte por envenenamiento. Se pueden presentar también daños en el cerebro y los riñones a ciertos niveles de plomo en la sangre. (ATSDR, 1998)

Estudios en hombres que trabajan con plomo han reportado severas bajas de la producción de esperma y un decrecimiento en la función de la próstata y vesículas seminales. Se asocia la exposición en el trabajo a altos niveles de plomo a abortos espontáneos en mujeres. La exposición prenatal produce efectos tóxicos en los fetos humanos, incluyendo el incremento del riesgo de partos prematuros, bajo peso al nacer y desarrollo mental débil. (ATSDR, 1998)

La EPA considera el plomo como un probable carcinogénico humano y lo clasifica en el grupo 82, basándose en estudios de animales expuestos al plomo.



#### **6.2.2.2 Cromo**

Los compuestos de cromo hexavalente presentan mayor toxicidad con respecto al cromo trivalente, el cual es un elemento esencial en los humanos y se recomienda una dosis diaria de 50 a 200  $\mu\text{g}$  para adultos. El cuerpo puede detoxificar algunas cantidades de cromo VI y de cromo III. (ATSDR, 1998).

Los compuestos de cromo son usados en procesos de cromado, manufacturas de tinturas y pigmentos, preservación de cuero y madera. El cromo hexavalente se presenta en los sistemas de refrigeración industriales como en refinerías de petróleo, plantas fabricadoras de químicos y procesadoras de metales primarios. (ATSDR, 1998).

El Departamento Administrativo de Medio Ambiente (DAMA, 2003) establece una concentración promedio a condiciones normales de 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para este metal. Según la organización Mundial de la Salud en Europa se reporta un promedio de cromo en el aire en áreas urbanas 4 - 70  $\text{ng}/\text{m}^3$ .

##### **6.2.2.2.1 Efectos en la salud**

Entre los efectos agudos por exposición al cromo se encuentran las reacciones corrosivas en las vías respiratorias, que producen ulceraciones, dermatitis aguda y alérgica y efectos en el tracto respiratorio. (WHO, 1987)

Los efectos crónicos se presentan por inhalación del cromo hexavalente lo cual produce efectos en el tracto respiratorio, ulceraciones y perforaciones, bronquitis, disminución de las funciones pulmonares, neumonía, asma, molestias nasales, complicaciones durante el embarazo y el nacimiento y cáncer pulmonar. Así como efectos en el hígado, riñón y sistemas gastrointestinales e inmunes, y

posiblemente en la sangre. En la piel se puede producir dermatitis por contacto, sensibilidad y ulceraciones en la piel. (ATSDR, 1998).

### **6.2.2.3 Cinc**

El cinc es un elemento esencial que el cuerpo necesita en pequeñas cantidades. Los alimentos pueden contener niveles de cinc entre aproximadamente 2 y 29 partes de cinc por millón de partes de alimento (2 a 29 ppm). Los niveles más bajos se encuentran en hortalizas tales como lechuga o espinaca y los más altos en carne, pescado y aves de corral. El cinc también se encuentra presente en el agua potable.

En general, los niveles de cinc en el aire son relativamente bajos y no fluctúan mucho. Los niveles promedio de cinc en el aire en los Estados Unidos son menores de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero varían entre 0.1 y  $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  cerca de áreas urbanas. El aire cerca de áreas industriales puede tener niveles de cinc más altos. La concentración promedio de cinc durante un período de un año en un área cerca de una fuente industrial fue de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (ATSDR, 2003)

Entre las ocupaciones en las que ocurre exposición al cinc están la minería, fundición de minerales, soldadura de metales, fundición de cinc; manufactura de metales galvanizados; y manufactura de partes de máquinas, caucho, pintura, linóleo, paños para remover aceite, baterías y ciertos tipos de vidrios, cerámicas y tinturas. Las personas que trabajan en la construcción, mecánicos de automóviles y pintores también están expuestos al cinc.

En relación con la normatividad vigente para el perímetro urbano de Bogotá se tiene un promedio anual de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Resolución 1208 del 2003) para este metal.

#### **6.2.2.3.1 Efectos en la salud**

Inhalar grandes cantidades de cinc puede producir una enfermedad de corta duración llamada “fiebre de vapor metálico”. Sin embargo, poco se sabe de los efectos a largo plazo de respirar polvos o vapores de cinc. Así mismo la inhalación de altas concentraciones de cinc en el aire puede causar irritación temporal de las vías respiratorias. No hay indicaciones de que este elemento sea carcinogénico.

#### **6.2.2.4 Cobre**

El cobre es un metal que se encuentra naturalmente en el ambiente en rocas, el suelo, el agua y el aire. El cobre es un elemento esencial para plantas, animales y seres humanos, lo que significa que es necesario para la vida.

El cobre es liberado principalmente por la industria minera, en la producción de químicos como pinturas, barnices y tintas y en la fundición de acero, cobre y cinc y por la utilización de algunos combustibles en los procesos como el carbón, crudo y gas natural. El cobre también es liberado desde fuentes naturales como por ejemplo volcanes, polvo que sopla el viento, vegetación en descomposición e incendios forestales.

Todo el mundo debe absorber pequeñas cantidades de cobre diariamente debido a que el cobre es esencial para la salud. Los niveles altos de cobre pueden ser dañinos. La inhalación de niveles altos de cobre puede producir irritación de la nariz y la garganta. La ingestión de niveles altos de cobre puede producir náusea, vómitos y diarrea. Cantidades muy altas de cobre pueden dañar el hígado y los riñones y pueden aún causar la muerte.

La norma del DAMA (Resolución 1208 del 2003) para el cobre es de 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  anual.

#### **6.2.2.4.1 Efectos en la salud**

La exposición al polvo y el vapor de cobre puede irritar las vías respiratorias causando incluso hemorragia nasal. La exposición al vapor del cobre puede causar “fiebre de vapor metálico”. De igual manera genera riesgos para la reproducción disminuyendo la fertilidad. Entre los efectos de larga duración encontramos irritación crónica de la nariz, alergias en la piel, color verdoso en la piel, dientes y pelo y afectación al hígado. La EPA ha determinado que el cobre no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.

#### **6.2.2.5 Hierro**

El Hierro puede ser encontrado en algunos alimentos carne, productos integrales, papas y vegetales. El Hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos. El hierro puede ser peligroso para el medio ambiente ya que es persistente

Es emitido a la atmósfera en los procesos de industrias de hierro y de acero, fundición de productos de hierro o acero y fundición de cinc. También se encuentra en las emisiones de las actividades donde se utiliza carbón como combustible. (EPA, 2002)

##### **6.2.2.5.1 Efectos en la salud**

La exposición al hierro puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, llamada siderosis. Ningún daño físico de la función pulmonar se ha asociado con la siderosis. La inhalación de

concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos.

### **6.3 MUESTREO ATMOSFÉRICO**

Para la realización de un muestreo atmosférico es necesario valerse de las metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado. Se requiere de una base de datos para: formular los estándares de calidad de aire, llevar a cabo estudios epidemiológicos que relacionen los efectos de las concentraciones de los contaminantes con los daños en la salud, especificar tipos y fuentes emisoras, llevar a cabo estrategias de control y políticas de desarrollo acordes con los ecosistemas locales, desarrollar programas racionales para el manejo de la calidad del aire. (Pachón, 2004)

Un estudio de calidad del aire requiere de los siguientes detalles (Centro Información sobre contaminación del aire para la frontera entre México y Estados Unidos, 1998):

1. Fijar los objetivos del monitoreo
2. Determinar los parámetros a ser medidos
3. Fijar las especificaciones de la red, incluyendo la localización de las estaciones de monitoreo, la duración del estudio, los períodos de muestreo y los métodos de muestreo a utilizarse.
4. Fijar las especificaciones para las estaciones individuales en la red, incluyendo el equipo necesario para llevar a cabo el estudio, el método y frecuencia de calibración del equipo y los métodos de registro de datos.
5. Determinar los tipos de análisis, así como los métodos de reporte de datos.

Las estaciones de muestreo, meteorológicas, los equipos de calibración y la recopilación de datos conforman una red de monitoreo de calidad del aire.

Los criterios que debe cumplir esta red son (Centro Información sobre contaminación del aire para la frontera entre México y Estados Unidos, 1998):

- Es deseable para la red que exista uniformidad en la altura sobre el nivel del piso.
- Se debe evitar forzar flujos de aire en cualquier dirección colocando la entrada de las tomas de muestreo a más de 3 metros de edificios y otras obstrucciones y sin la influencia de corrientes de convección.
- Los alrededores deben estar libres de chimeneas u otros puntos locales de emisión.
- Se sugiere una elevación de 3 a 6 metros. De esta manera, se evita que las partículas entren nuevamente al muestreador, así como la influencia directa de los automóviles.

### **6.3.1 Muestreador de alto volumen (Hi-Vol PM<sub>10</sub>)**

El principio de operación del equipo consiste en que el aire ambiente es succionado dentro de una caja cubierta y es obligado a pasar a través de un filtro adaptado a un soporte metálico (portafiltros) a una tasa de flujo entre 1.13 y 1.70 m<sup>3</sup>/min.

Las muestras del material particulado pueden ser colectadas por periodos de 24 horas. Para conocer el volumen de aire aspirado, se requiere de un controlador de tiempo, el cual permite fijar el periodo de muestreo y garantizar su funcionamiento automático (REDAIRE, 1996).

En el procedimiento se pueden presentar interferencias como partículas aceitosas como el smog fotoquímico o humo, lo cual debe tenerse en cuenta ya que puede bloquear el filtro.

### **6.3.2 Procedimiento de muestreo**

El filtro se debe preparar con anticipación, este debe ser examinado usando una fuente de luz para verificar si hay imperfecciones y en tal caso poder descartarlo. Paso seguido se procede a acondicionar el filtro colocándolo en un desecador mínimo por 24 horas antes del muestreo con el fin de retirar la humedad y finalmente se pesa.

Para la toma de muestras se debe efectuar limpieza del compartimiento de filtración y seguidamente colocar el filtro previamente marcado con la superficie rugosa hacia arriba. En este caso, debe tenerse especial atención en el ajuste del portafiltros y en la adecuada ubicación del filtro sobre la sección correspondiente.

El portafiltro se sella apretando los tornillos de sujeción con el fin de evitar escapes de aire. Luego se cierra la carcasa, se conecta el equipo, se toma la lectura de presión inicial, se registra la lectura inicial del registrador de tiempo si lo hay; en caso que no se tenga, en necesario ajustar el controlador de tiempo para un periodo de 24 horas.

Luego de las 24 horas de muestreo, se retira el filtro, se toma la presión final y se debe tener especial cuidado en no tocar áreas expuestas del filtro y en su movilización hasta el sitio de análisis en el laboratorio, en donde se debe acondicionar en un desecador previamente a su pesaje y proceso de extracción.

## **7 METODOLOGIA**

### **7.1 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO**

Las estaciones de muestreo se encuentran ubicadas en la localidad de Puente Aranda y se seleccionaron dos, se encuentran ubicadas en las instalaciones del Invima (Carrera 68D#17-11) y en el colegio La Merced (Calle 13#41-57). Estos puntos de monitoreo se seleccionaron porque se encuentran cerca a vías principales y a diversas industrias y además cumple con los requerimientos establecidos por la EPA en cuanto a la altura sobre el nivel del piso, distancia a otras edificaciones u obstrucciones, cercanía a chimeneas y fuentes móviles, etc.

### **7.2 EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA DE MUESTREO**

Para el muestreo se utilizó un muestreador de alto volumen (HI-Vol PM<sub>10</sub>), teniendo en cuenta las especificaciones recomendadas para su correcta utilización. En primera instancia se debe calibrar el equipo con el fin de determinar el caudal de muestreo.

El muestreo atmosférico en la estación del Invima se realizó del 23 al 30 de junio y del 3 al 4 de julio durante un periodo de 24 horas, utilizando filtros de fibra de vidrio.

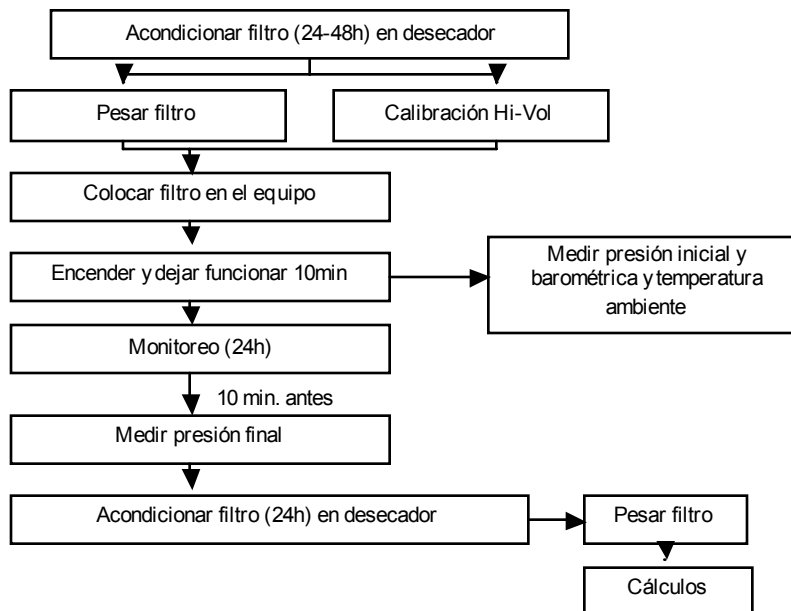
En la estación del colegio La Merced se realizó el muestreo del 9 al 19 de julio en periodos de 24 horas con filtros de cuarzo.



### 7.2.1 Procedimiento de muestreo

En la figura 1 se muestra el procedimiento de muestreo que se llevo a cabo durante la campaña de monitoreo. (Anexo A)

Figura 1. Procedimiento de muestreo



### 7.3 REALIZACIÓN DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Para el análisis de los filtros en el laboratorio y la determinación de metales pesados se realizó la validación de la técnica a utilizar para la extracción del material filtrado, según los procedimientos establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en el método EPA- IO 3.1. “Selección, preparación y extracción de material filtrado”, de junio de 1999, que proviene del Capítulo IO-3: “Análisis de especies químicas en partículas suspendidas colectadas en filtros”.

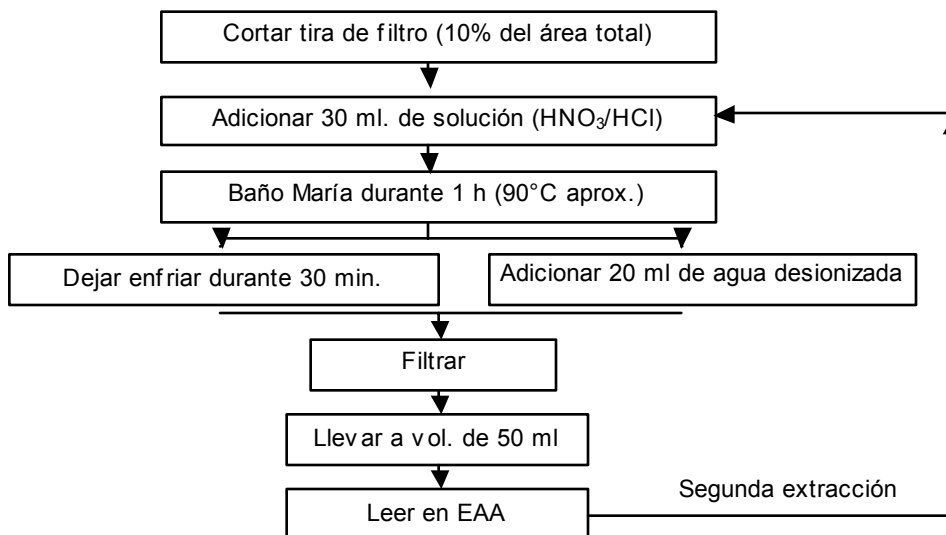
Así mismo se tuvo en cuenta la disponibilidad de reactivos en el laboratorio y de las lámparas para análisis de metales pesados (Pb, Cr, Cu, Fe y Zn) del EAA.

### 7.3.1 Procedimiento de extracción

Para el proceso de extracción es necesario cortar una tira del filtro que equivale al 10% del área total del mismo, la cual es sometida a un procedimiento de digestión para lo cual se utiliza una solución ácida de  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$  (5,55% : 16.75%) y a una temperatura de 90°C durante una hora. Una vez finalizada la digestión se debe dejar enfriar durante media hora y adicionar agua desionizada, lo cual constituye una etapa crítica en el proceso ya que no debe ser omitida, luego del enfriamiento se filtra y se lleva a volumen para su posterior lectura en el espectrofotómetro. Para los filtros blancos se realiza el mismo procedimiento, como se muestra en la figura 2. (Anexo B)

Es necesario realizar un procedimiento de extracción paralelo al de los filtros del muestreo a otros filtros previamente humedecidos con soluciones de concentraciones conocidas de todos los metales con el fin de determinar las pérdidas en las concentraciones de metales que se presentan a lo largo del proceso. Este procedimiento se llama Determinación del % de recuperación.

Figura 2. Procedimiento de extracción del material filtrado



Durante la fase de laboratorio se tuvieron en cuenta las recomendaciones que se encuentran en el método de extracción respecto a los instrumentos de laboratorio, los cuales deben ser lavados con dextrán y agua y purgados con agua desionizada y una solución ácida, esto se hace con el fin de garantizar un control de calidad en los procedimientos de laboratorio.

También es importante tener en cuenta la utilización de los elementos de protección personal como son: guantes, gafas, cofia, ropa de laboratorio y máscara con filtro para evitar la inhalación de los vapores ácidos que se generan durante todo el proceso de extracción.

### 7.3.2 Procedimiento de lectura de las muestras

La absorción de la luz por medio de átomos brinda una herramienta analítica poderosa para los análisis cuantitativos y cualitativos. La espectroscopía de absorción atómica (EAA) se basa en el principio que los átomos libres en estado fundamental pueden absorber la luz a una cierta longitud de onda. La absorción es específica, por lo que cada elemento absorbe a longitudes de onda únicas, es una técnica analítica aplicable al análisis de trazas de elementos metálicos. Para la lectura de los metales se utilizó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica modelo AAnalyst 300, con llama de aire acetileno, las condiciones de ésta varían de acuerdo al metal que se desea analizar (Tabla 1).

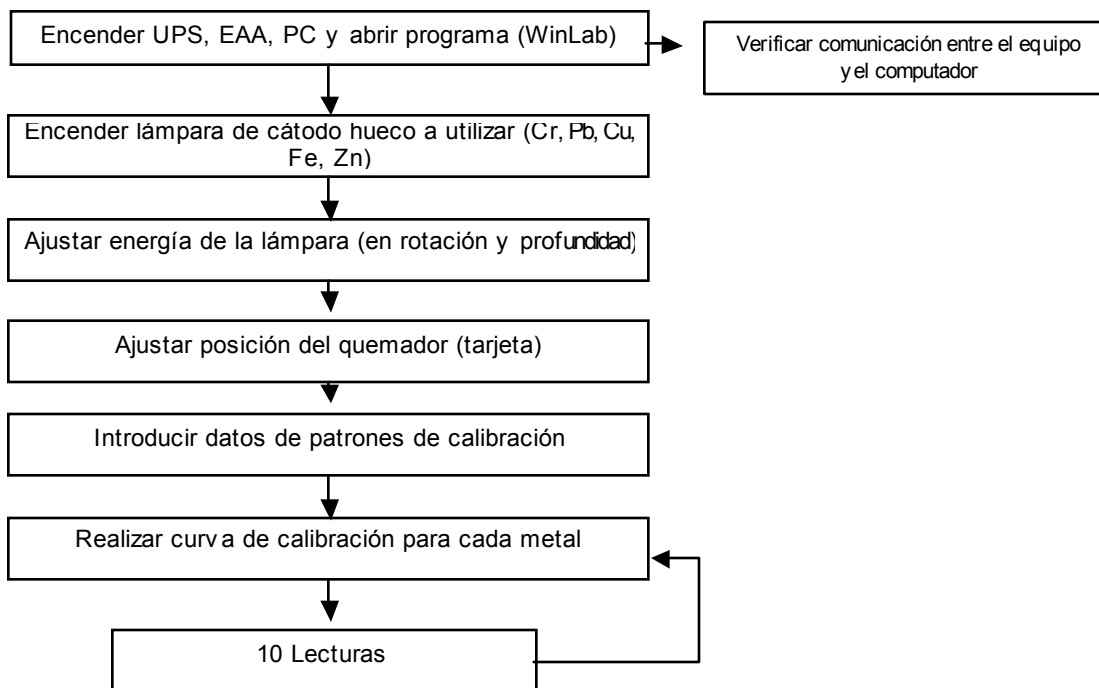
Tabla 1. Condiciones estándar del EAA para lectura de metales

Metal	Longitud de Onda (nm)	Ranura (nm)	Concentración característica (mg/L)	Característica de la llama	Interferencias	Eliminación de interferencias
<b>Cromo</b>	357.9	0.7	4	Amarilla	Presencia Hierro y Niquel	Adición 2% de NH <sub>4</sub> Cl
<b>Cobre</b>	324.8	0.7	4	Azul	Ninguna	
<b>Hierro</b>	248.3	0.2	6	Azul	Presencia de Cobalto, Cobre y Niquel	Adición de 0.2% CaCl
<b>Plomo</b>	283.3	0.7	20	Azul	Altas concentraciones de otros metales	
<b>Cinc</b>	213.9	0.7	1	Azul	Ninguna	

Fuente: Perkin Elmer, 2000

Para el laboratorio de absorción atómica se deben preparar soluciones patrón para cada uno de los metales con el fin de realizar la curva de calibración y seguir el procedimiento que se muestra en la figura 3. (Anexo C)

Figura 3. Procedimiento de manejo del EAA



Para el análisis de las lecturas se deben tener en cuenta los límites de detección del equipo que permiten determinar las concentraciones válidas para el estudio.

#### 7.4 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN

Con base en los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio y teniendo en cuenta referencias bibliográficas a nivel nacional e internacional se establecieron las fuentes de emisión de donde provienen las concentraciones halladas. Ubicando las industrias más cercanas a las estaciones de muestreo y teniendo como base el inventario de fuentes fijas de la localidad elaborado por el DAMAse

determinó a cuales industrias podrían ser atribuidas las concentraciones de metales pesados.

## **7.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

El análisis de los datos obtenidos se realizó con base en información de estudios a nivel mundial y haciendo uso del inventario de fuentes fijas de la localidad elaborado por el DAMA para identificar las fuentes generadoras de metales pesados en la zona de estudio.

Se realizaron correlaciones entre los metales estudiados con el fin de conocer las fuentes de emisión que son comunes para los metales

## **8 INFORMACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**

En este capítulo se presenta una descripción general de la zona de estudio en cuanto a su ubicación, su situación actual respecto a la calidad del aire, una descripción de los sectores industriales de la localidad de Puente Aranda y las características meteorológicas de la zona para el periodo de muestreo del presente estudio.

### **8.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

La localidad de Puente Aranda se encuentra ubicada en el centro de la ciudad de Bogotá y limita con las localidades de Teusaquillo al norte, Los Mártires al oriente, Antonio Nariño y Tunjuelito al sur y con Kennedy y Fontibón al occidente. Según el acuerdo 8 de 1977, la localidad se encuentra enmarcada al norte por la diagonal 22A, al oriente por la avenida Ciudad de Quito, al sur por la autopista Sur y al occidente por la avenida 68.

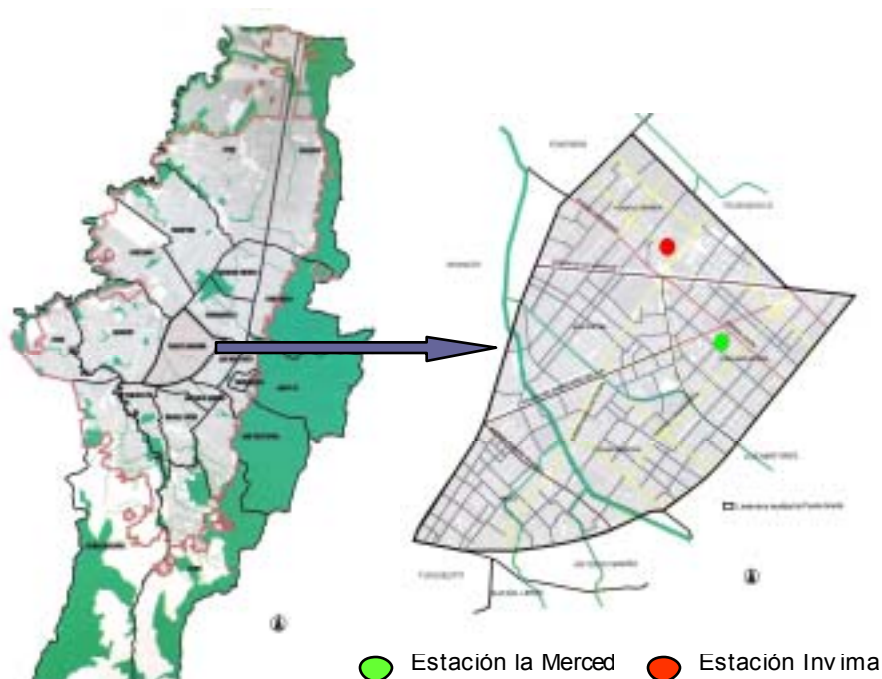
La localidad abarca una extensión de 1.724 hectáreas las cuales corresponden al 2% del área total de Bogotá, de estas 700Ha corresponden a uso industrial y 800Ha a uso residencial.

Puente Aranda posee una población total de 253.146 habitantes, los cuales representan el 6% del total de la población de Bogotá. (Secretaría Distrital de Salud, 1998)

Según el Departamento Administrativo de Planeación Distrital la Localidad de Puente Aranda cuenta con 40 barrios.

El presente estudio se realizó específicamente en las instalaciones del Invima (Carrera 68D#17-11) y en el colegio La Merced (Calle 13#41-57) como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo



## 8.2 SITUACIÓN ACTUAL

En la localidad se presenta una problemática ambiental crítica en dos sentidos, el primero respecto a la contaminación atmosférica derivados de las fuentes móviles y de las fuentes fijas y el segundo referido al uso del suelo originado por el crecimiento del sector industrial y comercial.

Esta problemática genera diversidad de efectos como lo son: Aumento de la morbilidad derivada de la calidad del aire, como son las enfermedades respiratorias, en general efectos psicosomáticos y psicológicos como taquicardia, estrés, agresividad y úlceras, mayor presencia de polvos y partículas en

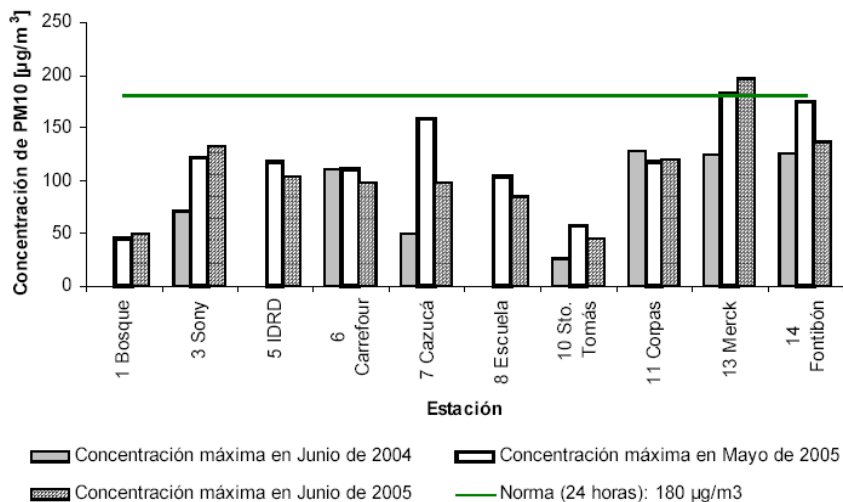
suspensión en la localidad; aumento de la contaminación por gases; aumento del caos vehicular en la localidad; incremento de la contaminación visual y auditiva. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000)

### 8.2.1 Calidad del aire

Durante el mes de junio del año 2005 se encontró el promedio máximo de concentración de  $PM_{10}$  ( $183 \mu g/m^3$ ) en Bogotá para un periodo de 24 horas en la estación numero 13 de Merck ubicada en la localidad de Puente Aranda. En el mes de julio se registró un promedio máximo de concentración de  $PM_{10}$  ( $193 \mu g/m^3$ ). Este hecho demuestra que la zona es un foco de contaminación ya que se sobrepasa la norma diaria de  $PM_{10}$  establecida por el DAMA ( $180 \mu g/m^3$ ).

En la figura 5 se muestran las concentraciones reportadas por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá para los años 2004 y 2005 y se observa que la concentración de  $PM_{10}$  ha aumentado.

Figura 5. Concentraciones máximas de  $PM_{10}$  de las estaciones del RMCAB para junio del 2004 y 2005



Fuente: DAMA, 2005



### **8.2.2 Presencia Industrial**

La localidad de Puente Aranda es una de las zonas con mayor presencia industrial en la ciudad de Bogotá lo cual se evidencia en el trabajo realizado por el Departamento Técnico Administrativo de Medio Ambiente donde se identifican las distintas actividades comerciales e industriales que se encuentran en la localidad.

#### **8.2.2.1 Fuentes fijas**

Según el inventario de fuentes fijas de la localidad de Puente Aranda (DAMA, 2001) se observa que la zona objeto del presente estudio posee diversas actividades industriales. Se identificaron 593 industrias de las cuales 135 generan contaminación por metales pesados en sus procesos.

Entre los procesos industriales encontrados en la zona, los más representativos para el presente estudio por la generación de los metales estudiados son:

- Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares.
- Fabricación de vidrio y de productos de vidrio
- Fabricación de otros productos minerales no metálicos ncp
- Industrias básicas de hierro y de acero
- Industrias básicas de otros metales no ferrosos
- Fundición de productos hierro o de acero por fundición
- Fundición de metales no ferrosos
- Fabricación de productos elaborados de metal
- Fabricación de maquinaria

Tabla 2. Número de empresas por actividad industrial en Puente Aranda

CODIGO CIIU	ACTIVIDAD ECONOMICA	# DE EMPRESAS
D1511	Producción, transformación y conservación de carne y de derivados cárnicos	12
D1518	Fabricación y distribución de alimentos	1
D1521	Elaboración de alimentos compuestos principalmente de frutas, legumbres y hortalizas	2
D1522	Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal	3
D1530	Elaboración de productos lácteos	5
D1541	Elaboración de productos de la molinería	13
D1543	Elaboración de alimentos preparados para animales	3
D1551	Elaboración de productos de panadería	35
D1552	Elaboración de macarrones, fideos, alucuzcuz y productos farináceos similares	7
D1561	Trilla de café	2
D1563	Tostión y molienda del café	2
D1564	Elaboración de otros derivados del café	1
D1571	Fabricación y refinación de azúcar	1
D1581	Elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería	5
D1589	Elaboración de otros productos alimenticios ncp	20
D1591	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas; producción de alcohol etílico	1
D1592	Elaboración de bebidas fermentadas no destiladas	4
D1594	Elaboración de bebidas no alcohólicas; producción de aguas minerales	2
D1710	Preparación e hilatura de fibras textiles	7
D1720	Tejedura de productos textiles	7
D1730	Acabado de productos textiles no producidos en la misma unidad de producción	3
D1741	Confección de artículos con materiales textiles	3
D1742	Fabricación de tapices y alfombras para pisos	1
D1749	Fabricación de otros artículos textiles ncp	5
D1750	Fabricación de tejidos y artículos de punto y ganchillo	2
D1810	Fabricación de prendas de vestir, excepto prendas de piel	14
D1921	Fabricación de calzado de cuero y piel; con cualquier tipo de suela	10
D1926	Fabricación de partes del calzado	4
D1931	Fabricación de artículos de viaje, bolsos y artículos similares elaborados en cuero	1
D2010	Aserrado, acepillado e impregnación de la madera	4
D2030	Fabricación de partes y piezas de carpintería para edificios y construcciones	1
D2090	Fabricación de otros productos de madera; fabricación de artículos de corcho	1
D2102	Fabricación de papel y cartón ondulado, fabricación de envases	1
D2220	impresiones y artes graficas	2
D2411	Fabricación de sustancias químicas básicas	1
D2412	Fabricación de abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados	2
D2413	Fabricación de plásticos en formas primarias	1

D2422	Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares, tintas	7
D2423	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales	25
D2424	Fabricación de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir	13
D2429	Fabricación de otros productos químicos ncp	14
D2511	Fabricación de llantas y neumáticos de caucho	2
D2513	Fabricación de formas básicas de caucho	3
D2519	Fabricación de otros productos de caucho ncp	14
D2521	Fabricación de formas básicas de plástico	14
D2529	Fabricación de artículos de plástico ncp	48
D2610	Fabricación de vidrio y de productos de vidrio	3
D2695	Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso	1
D2699	Fabricación de otros productos minerales no metálicos ncp	1
D2710	Industrias básicas de hierro y de acero	9
D2729	Industrias básicas de otros metales no ferrosos	4
D2731	Fundición de productos hierro o de acero por fundición	5
D2732	Fundición de metales no ferrosos	5
D2811	Fabricación de productos metálicos para uso estructural	18
D2812	Fabricación de tanques, depósitos y recipientes de metal	2
D2890	Metalmecánica	24
D2891	Forja, prensado, estampado y laminado de metal; pulvimetalurgia	5
D2892	Tratamiento y revestimiento de metales; trabajos de ingeniería mecánica en general	11
D2899	Fabricación de otros productos elaborados de metal ncp	16
D2911	Fabricación de motores y turbinas.	2
D2912	Fabricación de bombas, compresores, grifos y válvulas	2
D2914	Fabricación de hornos, hogares y quemadores industriales	3
D2915	Fabricación de equipo de elevación y manipulación	1
D2919	Fabricación de otros tipos de maquinaria de uso general ncp	2
D2921	Fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal	2
D2922	Fabricación de máquinas herramienta	1
D2924	Fabricación de maquinaria para la explotación de minas y para la construcción	1
D2925	Fabricación de maquinaria para la elaboración de alimentos, bebidas y tabaco	1
D2926	Fabricación de maquinaria para la elaboración de productos textiles	1
D2929	Fabricación de otros tipos de maquinaria de uso especial ncp	1
D2930	Fabricación de aparatos de uso doméstico ncp	2
D3140	Fabricación de acumuladores y de pilas eléctricas	1
D3190	Fabricación de otros tipos de equipo eléctrico ncp	3
D3311	Fabricación de equipo médico y quirúrgico y de aparatos ortésicos y protésicos	1
D3312	Fabricación de instrumentos y aparatos para medir, verificar, ensayar, navegar	1
D3120	Fabricación de aparatos de distribución y control de la energía eléctrica	4

D3150	Fabricación de lámparas eléctricas y equipo de iluminación	1
D3220	Fabricación de transmisores de radio y televisión y de aparatos para telefonía	1
D3320	Fabricación de instrumentos ópticos y de equipo fotográfico	1
D3410	Fabricación de vehículos automotores y sus motores	3
D3420	Fabricación de carrocerías para vehículos automotores; fabricación de remolques	5
D3430	Fabricación de partes, piezas y accesorios (auto partes)	17
D3592	Fabricación de bicicletas y de sillones de ruedas para discapacitados	3
D3611	Fabricación de muebles para el hogar	26
D3612	Fabricación de muebles para oficina	3
D3613	Fabricación de muebles para comercio y servicios	2
D3614	Fabricación de colchones y somieres	1
D3693	Fabricación de artículos deportivos	1
D3694	Fabricación de juegos y juguetes	1
D3699	Otras industrias manufactureras ncp	6
E4100	Captación, depuración y distribución de agua	1
F4552	Trabajos de pintura y terminados de muros y pisos	1
G5020	Mantenimiento y reparación de vehículos automotores	14
G5051	Comercio al por menor de combustible para automotores	5
G5151	Comercio al por mayor de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos	1
G5153	Comercio al por mayor de productos químicos básicos, plásticos y cauchos	1
G5242	Productos químicos de uso agropecuario	1
G5244	Comercio al por menor de libros, periódicos, materiales y artículos de papelería	1
O9000	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares	2
O9199	Actividades de otras organizaciones ncp	1
O9301	Lavado y limpieza de prendas de tela y de piel, incluso la limpieza en seco	60

Fuente. DAMA, 2001

De las industrias encontradas en la zona, 379 utilizan combustibles en sus procesos como se muestra a continuación:

Tabla 3. Porcentaje de industrias y consumo de combustibles

Combustible	% de industrias	Consumo	Unidades
Fuel oil	44	37569,78	gal/d
Crudo	2,7	17654	gal/d
Gas natural	28	90957,46	m <sup>3</sup> /d
Gas propano	10	492,93	m <sup>3</sup> /d
Carbón	15	501,017	ton/d
Coque	0,3	5,28	ton/d

Fuente. DAMA, 2001

### 8.2.2.2 Fuentes Móviles

Respecto a la densidad del tráfico automotor de la Localidad de Puente Aranda, se observa que el flujo total varía entre 215.184 y 229.248 vehículos/día en las vías especificadas en la tabla 4. La mayor proporción del volumen la aportan los vehículos livianos, con porcentajes superiores al 80% en todos los sitios de aforo, como se muestra a continuación (Aristizábal, 1997).

Tabla 4. Distribución porcentual de vehículos en sitios de aforo de la localidad de Puente Aranda

Distribución Porcentual			
Sitio de Aforo - Sentido de Flujo	Vehículos Livianos	Transporte Publico	Vehículos Pesados
Calle 13 - Oriente	82.6	8.4	9
Av. Américas - Occidente	81.2	13.2	5.6
Av. Américas - Oriente	81.5	12.7	5.8
Av. 68 - Sur	80	14.2	5.8
Av. 68 - Norte	79	14.8	6.2
Cra. 50 - Norte	89.5	2	8.4
Calle 13 - Occidente	81.2	7.6	11.1
Av. La Esperanza	92.5	6.1	1.3

Fuente: Aristizábal, 1997

A partir de la implementación de la restricción del Pico y Placa, la ocupación del transporte público ha aumentado de un 35 % antes de la restricción a un 54% para la ciudad de Bogotá. (Cárdenas, 2003).

Actualmente en la calle 13 existe el Sistema Transmilenio, según aforos realizados el flujo de articulados varía de 634 a 2032 presentándose el menor flujo los días domingo y el mayor de lunes a viernes.

El combustible utilizado en los distintos vehículos que circulan son gasolina y diesel, siendo el diesel el más contaminante. Los expertos en salud han expresado sus conceptos acerca del elevado riesgo que implican las emisiones de los motores Diesel (Cárdenas, 2003).

### 8.3 METEOROLOGÍA

Para el análisis meteorológico de la zona en estudio se tuvieron en cuenta los informes de la Red de Monitoreo de la Calidad de Aire de Bogotá RMCAB para los meses de junio y julio, en los cuales se realizó la campaña de muestreo.

En la estación número 13 de Merck durante el mes de junio del presente año se registró una precipitación de 15.6 mm, con un índice de precipitación del 30%, el cual muestra que se presentaron lluvias muy por debajo de lo normal y se consideró un periodo extremadamente seco, en el cual se presentaron 16 días de lluvias leves. En el mes de julio se registró una precipitación de 35.2 mm, con un índice de precipitación del 76%, que muestra que se presentaron lluvias ligeramente por debajo de lo normal y se consideró un mes seco, en el cual se presentaron 21 días de lluvias moderadas.

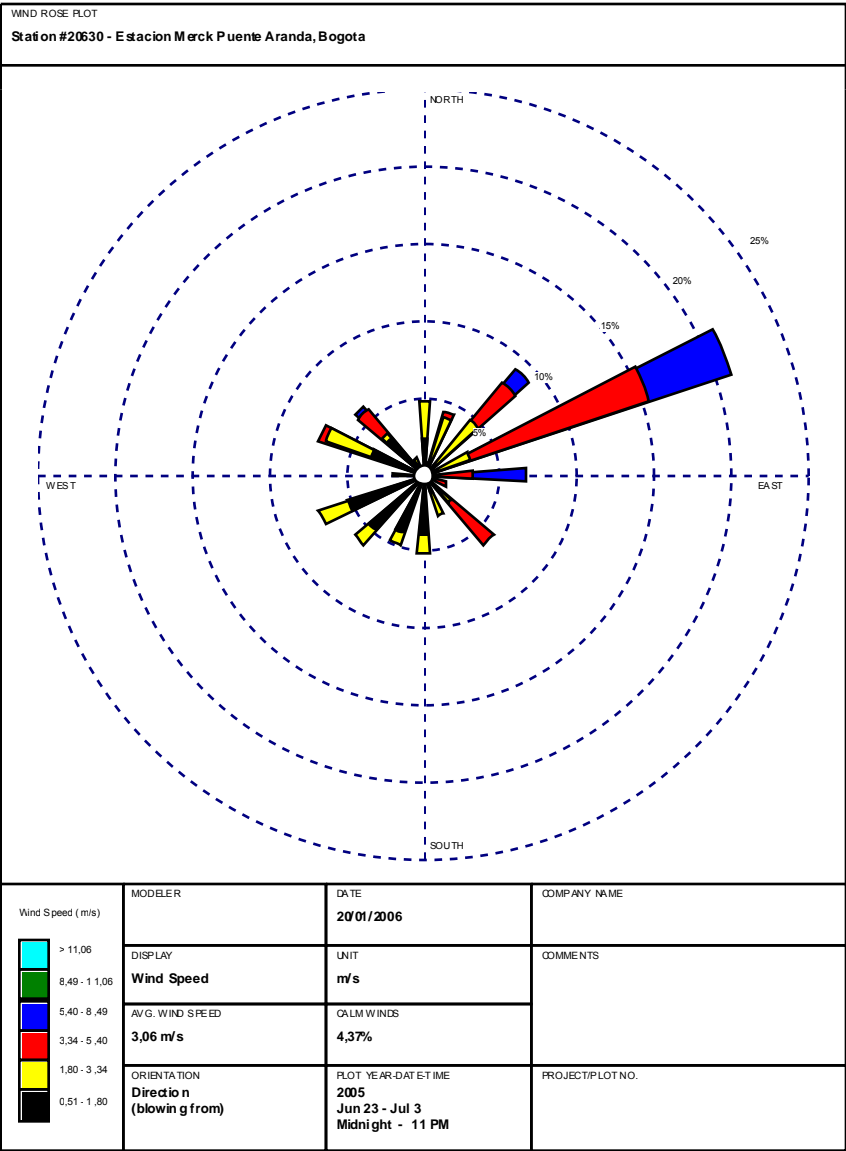
En cuanto al comportamiento de los vientos, la RMCAB reporta para el mes de junio en la estación número 13 de Merck una velocidad media de 1.6 m/s con una dirección predominante de 64 grados y una velocidad máxima de 7.4 m/s con una dirección de 63 grados. En el mes de julio en la estación de Merck se presentó una velocidad media de 1 m/s, con una dirección predominante de 134 grados y una velocidad máxima de 8.8 m/s con una dirección de 165 grados.

El comportamiento horario de los vientos muestra que por lo general a las 9:00 se incrementa la velocidad del viento pasando de calmas a vientos moderados y fuertes, siendo el periodo comprendido entre las 12:00 y las 20:00 donde se registran las velocidades medias máximas.

Para los días en los cuales se realizó el muestreo, se observa que para la estación del Invima la dirección predominante del viento fue del oriente con un promedio de velocidad de 3.06 m/s como se muestra en la figura 6. En la estación de la merced

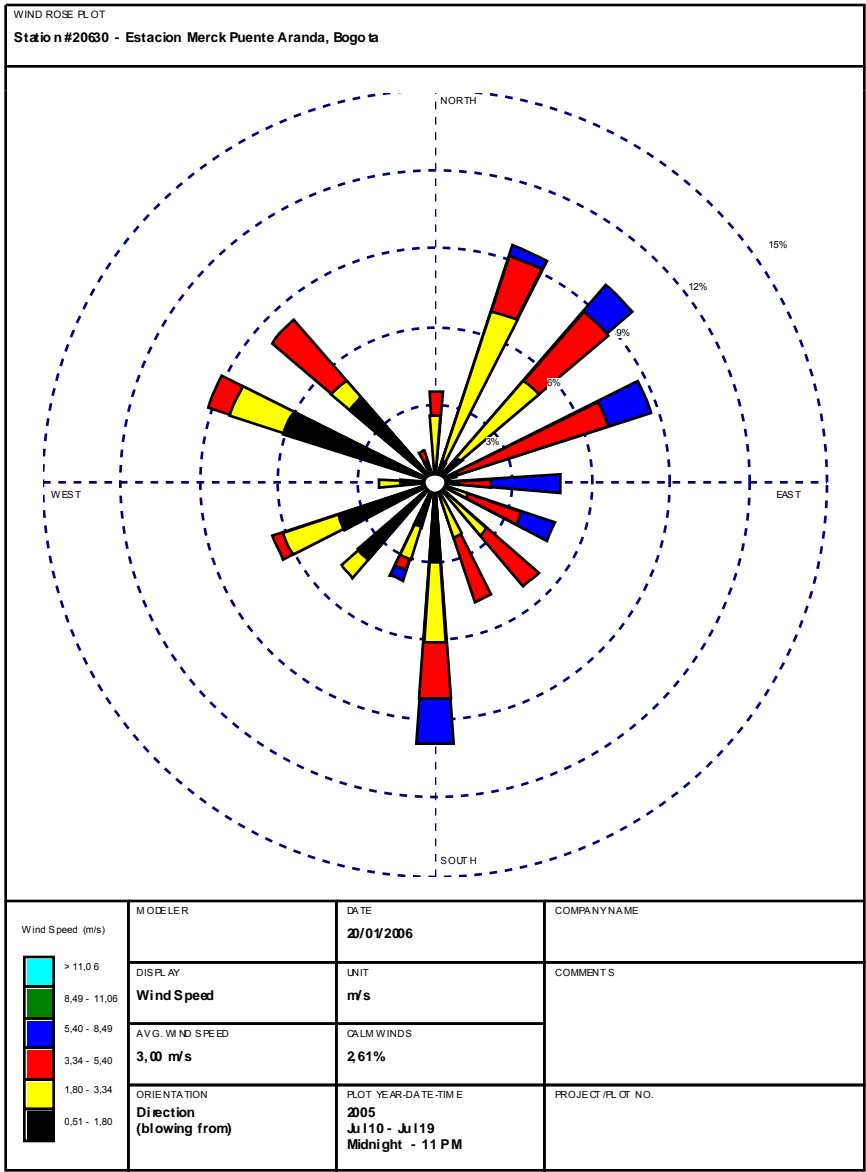
se presentó una dirección predominante del nororiente con un promedio de velocidad de viento de 3 m/s.

Figura 6. Rosa de los vientos para los días de muestreo en la estación del Iníma



Fuente: Las Autoras

Figura 7. Rosa de los vientos para los días de muestreo en la estación de la Merced



Fuente: Las Autoras

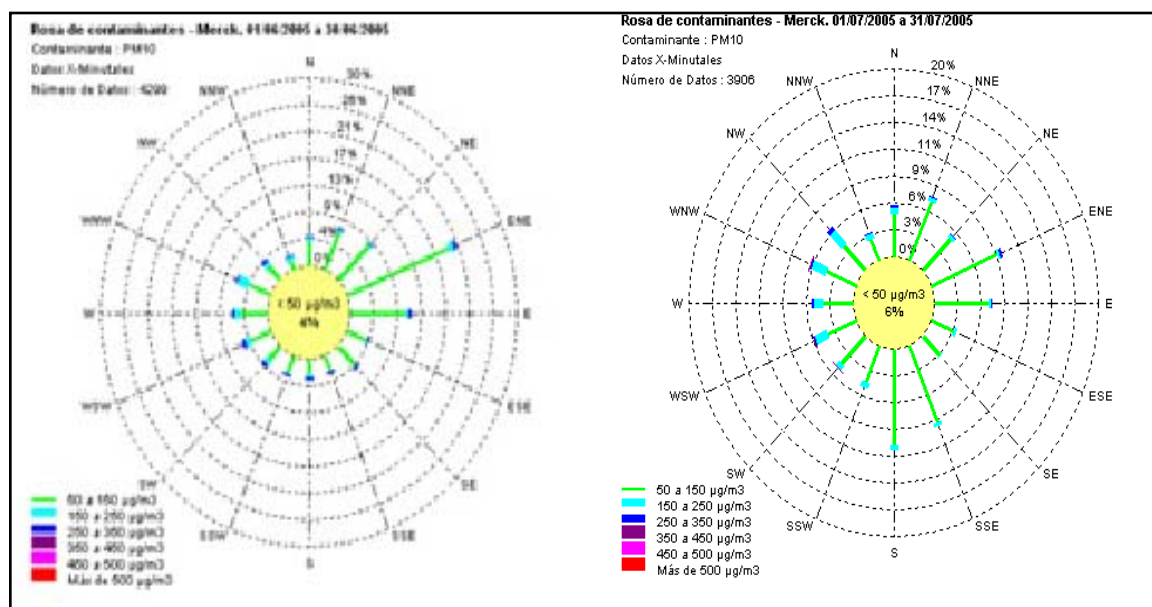


En el mes de junio la RMCAB registró una temperatura máxima de 19.7°C y una mínima de 10.4°C. En el mes de julio se encontró una temperatura máxima de 20.6°C y una mínima de 9.7°C en la estación numero 13 de Merck.

### 8.3.1 Rosas de contaminación de PM<sub>10</sub>

Las rosas de contaminación para PM<sub>10</sub> ilustran la manera como se detecta el flujo de partículas menores a 10 micras según los vientos en cada estación.

Figura 8. Rosas de PM<sub>10</sub> en la estación de Merck para los meses de junio y julio de 2005



Fuente: DAMA - RMCAB, 2005

En la rosa de contaminantes del mes de junio se observa que los contaminantes se acumulan en mayor concentración hacia el oeste y se observa una dispersión mayor hacia el noreste de la estación.

En el mes de julio se presenta una acumulación de contaminantes hacia el noreste principalmente y una mayor dispersión de contaminantes hacia el sur y el sureste

## 9. RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados de concentración de metales obtenidos en el estudio mediante la metodología de extracción establecida por la EPA IO – 3.1 y su análisis.

### 9.1 CONCENTRACIÓN DE $PM_{10}$

La concentración de  $PM_{10}$  se calculó partiendo de los datos obtenidos durante los muestreos.

#### 9.1.1 Muestra de cálculos de $PM_{10}$

Filtro analizado: 1- Invima

Fecha: 23 de junio de 2005

- Datos generales

Presión barométrica ( $P_b$ ): 570 mmHg

Presión inicial ( $P_i$ ): 34,16 mmHg

Presión final ( $P_f$ ): 34,90 mmHg

Promedio  $(P_i + P_f)/2$ : 34,53 mmHg

Temperatura: 15°C

- Cálculo del volumen total de aire muestreado

Peso sin muestra ( $w_i$ ): 4,5348 g

Peso con muestra ( $w_f$ ): 4,6257 g

Masa de partículas en filtro ( $\Delta M = w_f - w_i$ ): 0,0909 g

Tiempo (T): 1414 min

Caudal estándar ( $Q_{std}$ ): 0,8710 m<sup>3</sup>/min

Volumen estándar ( $V_{std} = Q_{std} \cdot T$ ): 1231,59 m<sup>3</sup>

- Cálculo de la concentración de MP10

Concentración de PM<sub>10</sub> ( $C = \Delta W / V_{std}$ ): 73.807 µg/m<sup>3</sup>

### 9.1.2 Resultados PM<sub>10</sub>

A continuación se muestran los resultados de concentraciones de PM<sub>10</sub> en µg/m<sup>3</sup> para cada una de las estaciones de muestreo.

Tabla 5. Concentración de PM<sub>10</sub> en la estación del Invima

INVIMA		
Fecha	Día	Concentración PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
23/06/2005	1	73,81
24/06/2005	2	61,95
25/06/2005	3	72,06
26/06/2005	4	53,35
27/06/2005	5	78,21
28/06/2005	6	73,22
29/06/2005	7	71,59
30/06/2005	8	75,65
03/07/2005	9	69,32

Fuente: Sandoval y Olaya, 2006

Tabla 6. Concentración de PM<sub>10</sub> en la estación de la Merced

MERCED		
Fecha	Día	Concentración PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
23/06/2005	1	59,23
24/06/2005	2	44,79
25/06/2005	3	76,14
26/06/2005	4	84,12
27/06/2005	5	137,39
28/06/2005	6	98,55
29/06/2005	7	54,89
30/06/2005	8	31,06
03/07/2005	9	55,67

Fuente: Sandoval y Olaya, 2006

## 9.2 CONCENTRACIÓN DE METALES

Los cálculos para la concentración de metales se obtuvieron teniendo en cuenta las concentraciones de  $PM_{10}$  y los datos arrojados por el EAA.

### 9.2.1 Muestra de cálculos metales

Los cálculos realizados para la determinación de la concentración de metales en el aire se muestran a continuación:

Filtro analizado: 1- Invima

Fecha: 23 de junio de 2005

Concentración  $PM_{10}$  (C):  $73.807 \mu g/m^3$

- Datos del filtro

Largo: 20,5 cm

Ancho: 25,5 cm

Área ( $A_f$ ):  $522.75 \text{ cm}^2$

Peso sin muestra ( $w_i$ ): 4,5348 g

Peso con muestra ( $w_f$ ): 4,6257 g

Masa de partículas en filtro ( $w_f - w_i$ ): 0,0909 g

- Datos de la tira del filtro

Largo: 20,5 cm

Ancho: 2.55 cm

Área ( $A_t$ ):  $52,275 \text{ cm}^2$

Peso tira sin partículas =  $w_i \times A_t/A_f = 0,45348 \text{ g}$

Peso tira con partículas acondicionado: 0,4625 g

Masa de partículas en tira del filtro ( $M_f$ ): 0,009g

Relación entre área del filtro y área de la tira: ( $R = A_f/A_t$ ): 10

- Metal analizado: Pb

Concentración en la tira del filtro blanco (Cb): 0,001 mg/l

Volumen de la alícuota (Va): 50 ml

Masa del metal en tira del filtro blanco: 0,05 µg

Concentración de metal en la tira del filtro (Ct): 0,49 mg/l

Volumen de la alícuota: 50 ml

Masa del metal en tira del filtro: 20,5 µg

Concentración de metal descontando blanco ( $C = Ct - Cb$ ): 0.489 mg/l

Masa de metal en tira de filtro por masa de partículas en tira de filtro ( $M = mr/mf$ ):  
2710.64 (µg met/g part).

Concentración de metal por volumen de aire ( $((C \cdot Va) \cdot R) / V_{std}$ ): 0.19 µg/m<sup>3</sup>

## 9.2.2 Resultados de metales

A continuación se presentan los resultados de las concentraciones de metales pesados analizados (Cu, Cr, Pb, Zn y Fe) en las estaciones de muestreo del presente estudio ubicadas en la localidad de Puente Aranda (Colegio la Merced e instalaciones del Invima)

Tabla 7. Concentraciones de metales en PM<sub>10</sub> en el Invima

INVIMA						
Fecha	Día	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )				
		Pb	Cu	Fe	Zn	Cr
23/06/2005	1	0,20	0,17	1,86	0,09	0,57
24/06/2005	2	2,09	0,08	2,16	9,91	0,05
25/06/2005	3	1,14	0,15	2,30	3,91	0,07
26/06/2005	4	1,35	0,07	1,50	4,23	0,29
27/06/2005	5	0,88	0,17	1,85	2,06	0,20
28/06/2005	6	0,92	0,11	1,84	3,15	0,23
29/06/2005	7	5,40	0,12	2,31	5,62	0,10
30/06/2005	8	1,08	0,20	1,93	2,60	0,27
03/07/2005	9	0,87	0,23	2,26	5,46	0,31
04/07/2005	10	1,15	0,33	3,25	6,15	0,39

Tabla 8. Concentraciones de metales en PM<sub>10</sub> en la Merced

MERCED						
Fecha	Día	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )				
		Pb	Cu	Fe	Zn	Cr
09/07/2005	1	0,23	0,29	9,84	0,06	1,58
10/07/2005	2	9,61	0,34	1,35	0,09	0,51
11/07/2005	3	5,55	0,33	7,20	0,13	1,00
12/07/2005	4	0,30	0,28	2,17	5,07	0,40
14/07/2005	5	0,37	0,25	4,10	0,67	0,56
15/07/2005	6	3,00	0,22	2,54	0,36	0,54
16/07/2005	7	8,97	0,22	2,58	0,27	0,47
17/07/2005	8	0,22	0,22	2,70	0,18	0,48
18/07/2005	9	10,78	0,14	3,81	0,22	0,89
19/07/2005	10	0,22	0,18	3,31	0,25	0,69

A continuación se muestran los límites de detección encontrados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Salle

Tabla 9. Límites de detección del EAA

Metal	EPA (mg/l)	LUS (mg/l)
Zn	0,001	0,009
Cr	0,003	0,005
Cu	0,002	0,007
Pb	0,01	0,14
Fe	0,005	0,009

LUS: Laboratorio Ingeniería Ambiental Universidad de La Salle  
EPA, Método IO - 3.2

Se encontró que ninguna de las concentraciones está por debajo de los límites de detección del equipo, lo cual indica que las concentraciones encontradas son válidas.

### 9.3 PORCENTAJES DE RECUPERACIÓN

Durante las etapas de extracción y análisis de las muestras se pierde masa de cada elemento para lo cual se procedió a determinar los porcentajes de

recuperación de cada metal en muestras preparadas con concentraciones conocidas.

Para tal propósito se analizó una tira de un filtro blanco de cuarzo y una de un filtro de fibra de vidrio, las cuales fueron enriquecidas por separado con soluciones conocidas de cada metal y posteriormente se realizó el proceso de extracción con ácido. A continuación se muestran los porcentajes de recuperación.

Tabla 10. Porcentajes de recuperación de los metales en el filtro de fibra de vidrio

<b>Fibra de Vidrio</b>			
<b>Metal</b>	<b>Ci</b>	<b>Cf</b>	<b>%R</b>
Zn	1	0,998	99,8
Cr	4	3,608	90,2
Cu	4	3,66	91,5
Pb	20	19,46	97,3
Fe	6	5,382	89,7

Ci: Concentración adicionada al filtro (patrones del manual del equipo). Cf: Concentración leída.

%R: porcentaje de recuperación

Se puede observar que los porcentajes de recuperación encontrados son altos. El Zn posee el porcentaje mayor (99.8%) lo cual se debe principalmente al alto contenido del metal en el filtro de fibra de vidrio.

Tabla 11. Porcentajes de recuperación de los metales en el filtro de cuarzo

<b>Cuarzo</b>			
<b>Metal</b>	<b>Ci</b>	<b>Cf</b>	<b>%R</b>
Zn	1	0,939	93,9
Cr	4	3,664	91,6
Cu	4	3,668	91,7
Pb	20	19,68	98,4
Fe	6	5,412	90,2

El mayor porcentaje de recuperación se logró con el Pb. Así mismo los demás metales presentan buenos porcentajes de recuperación.

## **10. FUENTES DE EMISIÓN**

En este capítulo se analizan las fuentes de emisión de metales pesados que se encuentran en la zona de estudio, con base en el documento del Agencia de Protección Ambiental EPA AP – 42 del año 2002 y teniendo en cuenta el inventario de fuentes fijas de la localidad suministrado por el Departamento Técnico Administrativo del medio Ambiente (DAMA, 2001). También se describen los procesos industriales de mayor interés.

### **10.1 AGRUPACIÓN INDUSTRIAL DE LA EPA**

Con el fin de analizar y justificar la presencia de metales pesados es necesario tener en cuenta las fuentes que los generan. A continuación se muestran las relaciones establecidas por la EPA.

La EPA divide los sectores industriales en nueve grupos para según la generación de contaminantes atmosféricos peligrosos que son (EPA, 1991):

#### **1. Operaciones con uso de solventes**

Hacen parte de este grupo los siguientes procesos: operaciones de recubrimiento, limpieza en seco, desengrase con solvente, recuperación de solventes usados y artes gráficas. Dentro de este grupo de procesos, los generadores de metales pesados (Cd, Cr, Pb, Zn) son las operaciones de recubrimiento de máquinas, herramientas, muebles y autos. Así como los recubrimientos de vehículos de transporte.



## 2. Industrias metalúrgicas

En este grupo se encuentran todas las actividades de producción y fundición primaria y secundaria de metales y misceláneos. En la Tabla 12 se presentan las actividades contempladas en este grupo y la generación de los metales pesados que son de interés para el estudio.

Tabla 12. Actividades de la industria metalúrgica y generación de metales pesados

SECTOR	CONTAMINANTE GENERADO			
	Cu	Cr	Pb	Zn
Producción primaria de cadmio				
Coquización				
Fundición primaria de cobre				
Producción de ferroaleaciones				
Producción de acero				
Fundición primaria de plomo				
Fundición primaria de cinc				
Producción de manganeso				
Producción de níquel				
Fundición secundaria de aluminio				
Fundición secundaria de cobre				
Fundición secundaria de plomo				
Fundición de acero				
Fundición secundaria de cinc				
Producción de baterías de plomo				
Producción de baterías de Cd-Ni				
Misceláneos de plomo				

Fuente: EPA, 1991

## 3. Industrias de manufactura de compuestos orgánicos

En este grupo las actividades principales son la producción de compuestos químicos orgánicos, las emisiones que se dan son orgánicas en fase vapor, y se

generan en las siguientes actividades: emisiones por almacenamiento y manipulación, emisiones en el reactor, emisiones en los procesos de separación, absorción, lavado y destilación, emisiones fugitivas (tuberías, válvulas, líneas de muestreo, compresores) y emisiones secundarias.

#### 4. Industrias de manufactura de compuestos inorgánicos

Las emisiones generadas en este grupo son de tipo inorgánico, como la producción de ácidos, sales y óxidos minerales. Se dan emisiones de plomo en procesos de fabricación de sales y óxidos de plomo, mercurio en la producción de cloro y de sales de mercurio y níquel en la producción de sales de níquel.

#### 5. Productos de la industria química

Dentro de este grupo se incluyen procesos como la conversión de carbón, producción de fibras sintéticas, de caucho y de plásticos, de productos farmacéuticos, de jabones y detergentes, de pinturas, de pesticidas, de fertilizantes y de explosivos. En la Tabla 13 se registran las emisiones de las sustancias peligrosas de interés para el presente estudio en este tipo de actividades:

Tabla 13. Actividades de la industria química y generación de metales pesados

SECTOR	CONTAMINANTE GENERADO			
	Cu	Cr	Pb	Zn
Conversión del carbón				
Pinturas y barnices				
Productos farmacéuticos				
Tintas				
Pesticidas				
Jabones y detergentes				
Caucho				

Fuente: EPA, 1991

## 6. Industrias de productos minerales no metálicos

En este grupo se encuentran las actividades de producción de cemento, vidrio, procesamiento de la roca fosfórica entre otros. En la Tabla 14 se muestra la generación de los metales de interés para el presente estudio en dichas actividades.

Tabla 14. Actividades de la industria de productos minerales no metálicos y generación de metales pesados

SECTOR	CONTAMINANTE GENERADO			
	Cu	Cr	Pb	Zn
Producción de asbesto				
Producción de asfalto				
Cerámica y ladrillos				
Material refractario				
Cemento				
Conversión del carbón				
Manufactura de vidrio				
Procesamiento de mercurio				

Fuente: EPA, 1991

## 7. Industrias de productos de la madera

Dentro de este grupo se encuentran las operaciones de extracción de la celulosa de la madera. En esta actividad se emiten HAP en fase particulada. Los metales que se producen son el cromo y el mercurio.

## 8. Industrias relacionadas con el petróleo

En este grupo se incluyen las actividades de extracción de gas y petróleo, la industria de refinación y la industria petroquímica básica. En la mayoría de los procesos se generan HAP y en algunos procesos auxiliares se emite plomo

## 9. Fuentes de combustión

Entre los combustibles utilizados en la zona industrial de Puente Aranda es de interés para el presente estudio el carbón, fuel oil, gas natural y crudo ya que en su combustión se emiten los metales analizados. En la Tabla 15 se muestra la relación de las emisiones de los combustibles con los metales de interés.

Tabla 15. Tipos de combustibles y emisión de metales pesados.

<b>Combustible</b>	<b>Metal</b>
Gas natural	Cr, Cu, Zn
Carbón	Pb, Cr, Fe, Cu, Zn
Fuel oil	Pb, Cr, Cu, Zn
Crudo	Pb, Cr, Cu

Fuente. EPA, AP- 42, 2002

## 10.2 PRESENCIA INDUSTRIAL CERCANA A LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Teniendo en cuenta el inventario de fuentes fijas de la Localidad de Puente Aranda (ver tabla 2), en el cual se especifica la ubicación de las industrias, se relacionó la cercanía de los procesos industriales generadores de metales pesados objeto de estudio con las estaciones de muestreo.

A continuación se muestra la ubicación de las industrias que pueden generar metales pesados y que se encuentran cerca de las instalaciones del Invima y del colegio La Merced.

Tabla 16. Actividades industriales posibles generadoras de metales pesados cercanas a la Merced (CII 13 # 41-57)

<b>ACTIVIDADES INDUSTRIALES POSIBLES GENERADORAS DE METALES PESADOS CERCANAS A LA ESTACIÓN DE LA MERCED</b>		
<b>NOMBRE COMERCIAL</b>	<b>CODIGO CIIU</b>	<b>UBICACIÓN</b>
COMPañÍA COLOMBIANA AUTOMOTRIZ S.A CCA	D341000	CL 13 # 38 - 54
KARMA MA	D289000	Cr 41 # 8 - 16
PRODUCTOS COLOMBIANOS PARA AUTOMOTORES LTDA	D343000	Cr 41 # 10 A - 04
METALURGICOS GALBER	D273000	Cr 41 # 9 - 31
INDUSTRIAS ADRIA LTDA	D281100	CR 42 # 13 - 80
TERMO TRATAMIENTO LTDA	D289000	CR 43 # A 20 - 71
METALURGICAS INDUSTRIALES	D273100	CR 43 # 10 A - 32
INMESCOS LTDA	D343000	CR 44 # 18 - 90
ICER LTDA	D343000	Cr 40 # 8 - 39
COHA LTDA	D282900	CR 39 B # 17 - 70
FREMCO LTDA	D289000	CR 36 # 14 - 56
METALICAS ARTE COLONIAL	D281103	CR 35 # 2 - 88
INMECOLSA S.A	D289000	Cr 35 # 12 B - 10
A.G.P. DE COLOMBIA S.A	D261010	CL 14 # 35 - 59
INTERMEC LTDA	D289000	CL 16 # 33 - 68

FUNDEQ LTDA.	D273200	CI 18 A # 50 - 95
SIFAP TECNOLOGIA LTDA	D291400	CI 12 A # 44 - 98
COLMUELLES S.A	D289907	CL 12 # 37 - 61
RENOSA S.A	D343000	CI 12 A # 43 - 41
CENTAURI LTDA	D343000	CI 12 A # 44 - 95
INDUSTRIAS MILFORTT LTDA	D343000	CL 11 # 31 - 46
ZINTEPEC LTDA	D289200	CL 10 # 31 - 14
NIPON LTDA	D343000	CI 8 # 34 - 24

Tabla 17. Actividades industriales posibles generadoras de metales pesados cercanas al Invima (Cra 68D # 17-11)

<b>ACTIVIDADES INDUSTRIALES POSIBLES GENERADORAS DE METALES PESADOS CERCANAS A LA ESTACIÓN DEL INVIMA</b>		
<b>NOMBRE COMERCIAL</b>	<b>CODIGO CIIU</b>	<b>UBICACIÓN</b>
FABRITORNILLOS GUTEMBERTO S.A.	D289903	Cr 68 # 12 A - 13
CORPORACION DE ACERO CORPACERO	D289201	Cr 68 # 23 - 52
MURATEX LTDA	D242200	CR 67 A # 12- 59
FUNDICIONES INDUSTRIALES SANTANA LTDA	D273000	CR 66 A # 5 - 10
DIMEQUIP LTDA	D292400	CR 66 A # 5 - 28
METALURGICAS TECNICAS LTDA - METALTEC	D289000	CR 66 # 6 - 35

DIDEMAS LTDA	D289900	Cr 66 # 12 A - 62
INDUSTRIAL DE RESORTES	D289900	CR 65 # 6 - 85
TEDMO INDUSTRIAL LTDA	D289000	CR 64 A # 7 - 76
MACASTI Y/O JAVIER CASTIBLANCO	D289000	CR 63 # 5 A - 37
CABEYCO LTDA	D289100	CR 63 # 6 - 13

### **10.3 PROCESOS INDUSTRIALES RELEVANTES**

Entre los procesos industriales de mayor interés para el presente estudio se encuentra la fundición secundaria de metales no ferrosos, fundición de productos de hierro y acero, fabricación de artículos de vidrio, fabricación de pinturas y barnices e industria metalmecánica.

#### **10.3.1 Fabricación de pinturas y barnices (D 2422)**

En el proceso de la fabricación de pintura se realiza en primera medida la dispersión de un aceite de color o pigmento en un vehículo que usualmente es una resina, seguidamente se adiciona un solvente que se encarga de ajustar la viscosidad. Después se llevan a cabo los procesos físicos que incluyen el pesaje, mezcla, molienda, teñido y empaado, estos procesos se realizan en tanques a temperatura ambiente.

Dentro de los factores determinantes en la generación de emisiones al aire se encuentran la manipulación de pigmentos secos el cual influye considerablemente en la emisión de partículas, los tipos de solventes que se utilizan y la mezcla a temperatura ambiente.

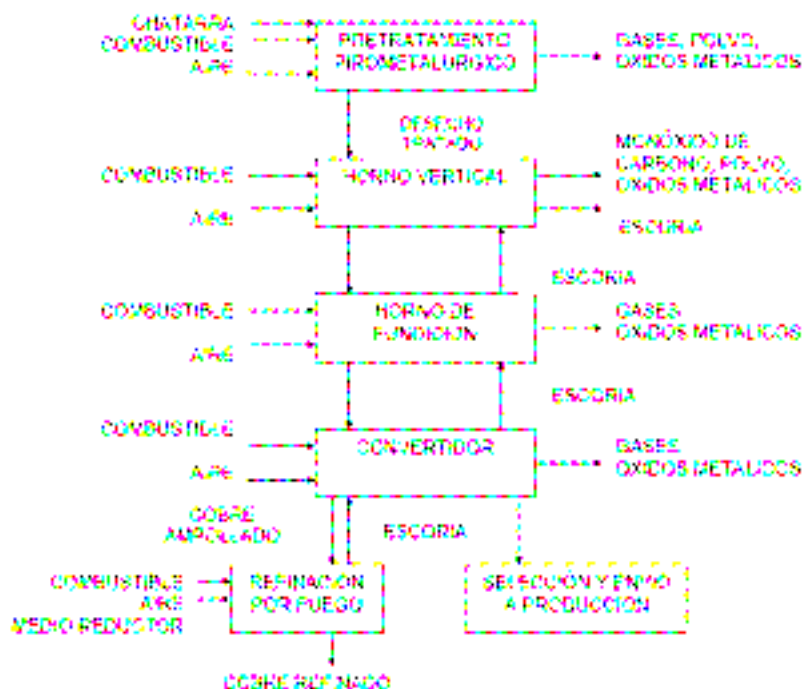
Las emisiones de barnices dependen de las temperaturas y los tiempos que cocción, el solvente usado, el grado de hermeticidad del tanque y el tipo de controles de la contaminación usados.

### 10.3.2 Fundición secundaria de cobre (D 2732)

En este proceso se utiliza como materia prima principalmente la escoria de procesos metalúrgicos (chatarra) los cuales se pueden refinar en cobre metálico, alear con cinc o estaño para formar latón o bronce o incorporar en productos químicos.

La recuperación de cobre se realiza en cuatro operaciones principales: pretratamiento, fundición, aleación, y selección las cuales se muestran en la figura 9.

Figura 9. Diagrama de flujo refinación secundaria de cobre (Fuente: EPA, 2002)





El pretratamiento incluye la limpieza y consolidación del material a fundir. La fundición consiste en el calentamiento y tratamiento del desecho para la separación y la purificación de metales específicos. En este proceso el desecho de cobre de baja calidad es fundido en un horno rotatorio, dando por resultado la escoria y el cobre impuro. El cobre es cargado a un convertidor, donde la pureza aumenta considerablemente y de ahí se lleva a un reverberatorio, donde se alcanza una pureza de cobre de 99%. En estos hornos, se adiciona aire de manera ascendente a través de la mezcla para oxidar impurezas. En esta etapa el óxido cuproso ( $\text{CuO}$ ) es convertido en cobre. El cobre caliente refinado se transfiere a los ánodos, que se utilizan durante la electrólisis. Los ánodos se sumergen en una solución ácida sulfúrica que contiene el sulfato de cobre. El cobre que queda en el cátodo, que es 99.99% puro, se extrae y se modifica. El alto horno y el convertidor se pueden omitir del proceso si el contenido de cobre medio del desecho es mayor del 90%.

En el proceso de aleación se realiza la adición de uno o más metales para revestir con cobre y obtener las calidades deseables de combinación de metales. El contenido de cobre se carga a un horno que derrite el metal junto a otros como aluminio, cinc, plomo o níquel. Se adiciona un flujo que se encarga de quitar impurezas y proteger el derretimiento contra la oxidación por el aire. El aire o el oxígeno puro se pueden soplar a través del horno de fundición para ajustar la composición oxidando exceso de cinc.

El último paso consiste en verter en moldes similares a tolvas el metal fundido. En esta etapa se producen ánodos, cátodos, lingotes y otras formas del molde.

Las principales emisiones que se generan en la fundición secundaria de cobre es el material particulado, óxidos de metal, compuestos orgánicos volátiles y los productos de la combustión incompleta. En el proceso de fundición el cinc bajo

punto de ebullición se volatiliza y se oxida produciendo óxido del cinc como partículas submicrónicas.

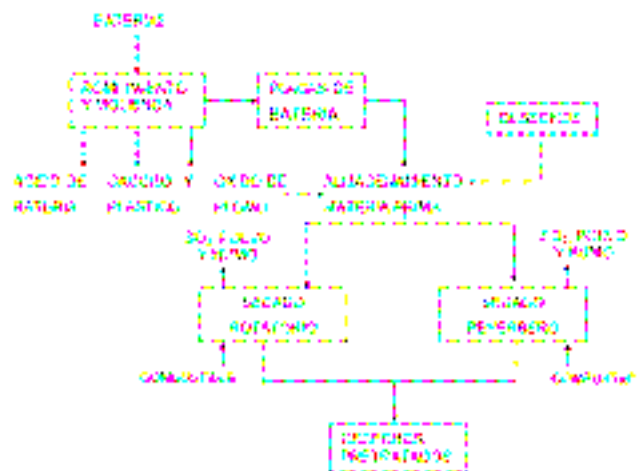
Las emisiones fugitivas ocurren durante todos los procesos de fundición secundaria y representan una importante fuente de generación de contaminantes. La introducción del material adicional sobre la superficie líquida del metal produce cantidades significativas de materiales y de humos volátiles y combustibles.

### 10.3.3 Fundición secundaria de plomo (D 2732)

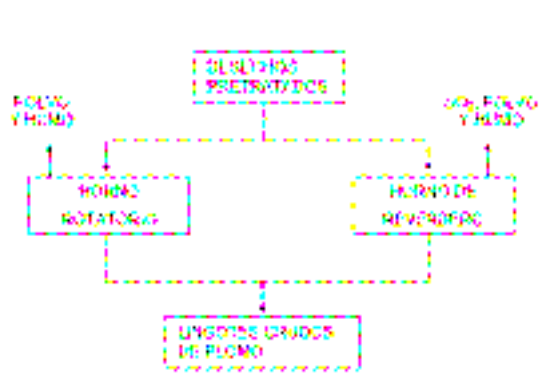
La fundición secundaria del plomo posee tres procesos principales: ~~pretratamiento~~, fundición y refinación, estas etapas se encuentran en la figura 10

Figura 10. Diagrama de flujo fundición secundaria de plomo (Fuente: EPA, 2002)

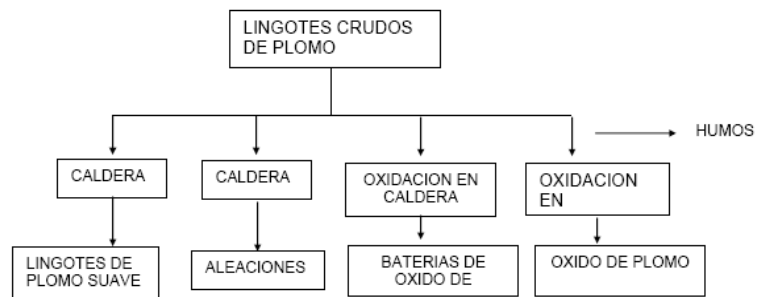
## Etapa 1



## Etapa 2



## Etapa 3



El tratamiento previo del desecho consiste en el retiro parcial de los contaminantes del metal. En esta etapa se utilizan como tratamientos el rompimiento de la batería, el machacado.

En la etapa de fundición se derrite y separa el plomo del metal y de los contaminantes no metálicos, reduciendo los óxidos a plomo elemental. Este proceso se realiza en hornos de ráfaga, reverberatorios, y rotatorios. Los altos hornos producen el plomo duro o antimonial que contiene cerca de 10% de antimonio.

La etapa de refinación y selección del plomo crudo de los hornos de fundición consiste en el ablandamiento, aleación, y oxidación, teniendo en cuenta el grado de pureza y el tipo de aleación deseado. Estas operaciones se pueden realizar en hornos reverberatorios.

En los hornos de la caldera utilizados para alear, refinar, y oxidar se utiliza generalmente fuel-oil, y poseen una capacidad de 25 a 150 toneladas por día. Las temperaturas de refinación y de aleación varían de 320 a 700°C. Los hornos de aleación funden y mezclan simplemente los lingotes de plomo y de materiales de la aleación como el antimonio, el aluminio, el arsénico, el cobre, y el níquel.

Los hornos de refinación se utilizan para retirar el cobre y el antimonio para la producción suave del plomo, o retirar el arsénico, el cobre, y el níquel para la producción del plomo duro. El sulfuro se puede agregar al baño de plomo fundido para quitar el cobre. El flujo del cloruro de aluminio se puede utilizar para retirar el cobre, el antimonio, y el níquel.

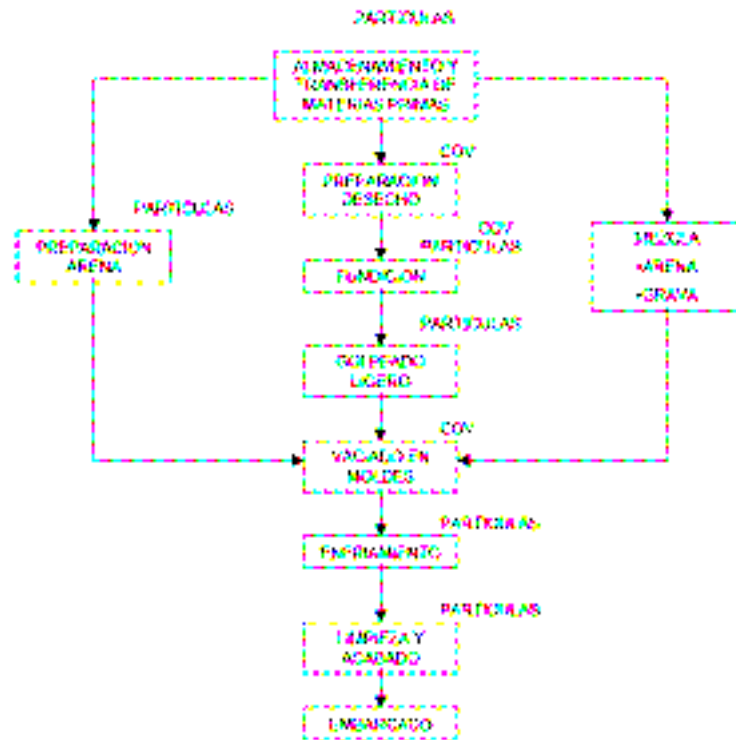
El análisis químico de las partículas emitidas en hornos de fundición (EPA) reporta un 38 a 42% de plomo, 20 a 30% de estaño, y 1% de zinc. En cuanto a partículas provenientes del alto horno estas contienen de 80 a 85% de sulfato del plomo y cloruro del plomo, 4% de estaño, 1 % de cadmio, 1% de zinc, 0.5% de antimonio, 0.5% de arsénico, y materia orgánica en menos de 1%.

En los hornos de reverbero se producen las emisiones totales plomo. La mayoría de los procesos restantes son fuentes pequeñas de la emisión con características indefinidas. Su control se realiza generalmente con torres de lavado o filtros de mangas, alcanzando eficiencias hasta del 99%, y las emisiones oxidantes de los hornos se recuperan con los filtros de mangas.

#### **10.3.4 Fundición de hierro (D 2731)**

Las principales actividades realizadas en la fundición de hierro son la preparación de la materia prima, la fundición del metal, la producción del molde y de la base, la selección y la finalización (Figura 11).

Figura 11. Proceso de fundición de hierro. Fuente EPA, 2002



Durante la etapa de preparación de las materias primas se encuentra la recepción, descarga, almacenamiento y transporte de todas las materias primas para la fundición. Algunas de las materias primas mas comunes son desechos de hierro y acero, desechos de la misma fundición, giros de metal, aleaciones, añadidos del carbón, flujos (piedra caliza, ceniza de la soda, flúor, carburo de calcio), arena, añadidos de la arena y carpetas.

La fundición del metal esta conformada por las siguientes operaciones:

- Preparación del desecho
- Carga del horno, en el cual el metal, el desecho, las aleaciones, el carbón, y el flujo se agregan al horno
- Fundición durante la cual el horno sigue cerrado.
- Adición de más metal y posiblemente aleaciones

- Refinación de la escoria
- Inyección de oxígeno en el acero fundido para ajustar la química del metal y para acelerar el derretimiento
- Colocación del metal fundido en moldes.

Una vez terminada la etapa de preparación, el desecho, el metal, la aleación, y el flujo se pesan y se cargan al horno.

Cuando el proceso de fundición ha finalizado, el metal fundido es golpeado ligeramente y dispuesto en un molde. Allí se puede alear con otras sustancias químicas. Después de este proceso se realiza el enfriamiento bajo condiciones controladas. Por último se realiza su limpieza.

Las emisiones que se generan en la preparación de las materias primas son principalmente partículas fugitivas. Estas emisiones son controladas con filtros de mangas.

Las emisiones mas comunes durante todos los procesos están compuestas por COV's, monóxido de carbono, óxidos de fósforo, silicio y manganeso. Así mismo se ha detectado la presencia de elementos trazas como níquel, cromo hexavalente, plomo, cadmio, y arsénico.

### **10.3.5 Fundición secundaria del cinc (D2732)**

La industria secundaria del cinc procesa los metales de desecho para la recuperación del cinc en la forma de losas del cinc, de óxido del cinc, o de polvo de cinc.

La recuperación del cinc implica 3 operaciones generales realizadas al desecho, el tratamiento previo, fundición y refinación

En el tratamiento de desechos el metal de desecho se entrega al procesador secundario del cinc como lingotes, los bastidores rechazados, y demás desechos que contengan cinc. El tratamiento previo del desecho incluye: clasificación, limpieza, trituración y recolección de lixiviado. En la operación que clasifica, el desecho del cinc se separa manualmente según contenido del cinc. La limpieza retira materiales ajenos para mejorar la calidad del producto y eficacia de la recuperación. La trituración o machacamiento facilita la capacidad de separar el cinc de los contaminantes.

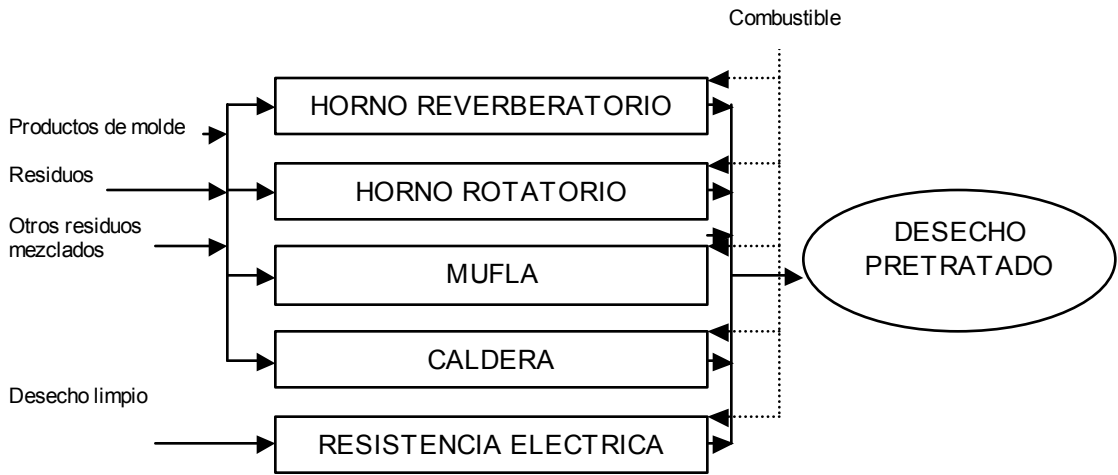
En un horno rotatorio y en un horno de mufla se calienta lentamente el desecho que contiene el cinc y otros metales a aproximadamente  $364^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura es suficiente para derretir el cinc pero todavía está debajo del punto de fusión de los metales restantes. El cinc y se retira el metal de desecho restante para ser vendido a otros procesadores secundarios.

Se retiran contaminantes mediante un lavado. La corriente acuosa contaminada se trata con carbonato de sodio para convertir el cloruro del cinc en el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ). El  $\text{NaCl}$  es separado de los residuos insolubles mediante filtración. El hidróxido del cinc del precipitado se seca y se calcina (deshidratado en un polvo a temperatura alta) para convertirla en el óxido de cinc ( $\text{ZnO}$ ). El producto de  $\text{ZnO}$  se refina generalmente para cubrir con cinc en los fundidores primarios del cinc. La porción lavada del metal cinc que contiene se convierte en la materia prima para el proceso de fundición.

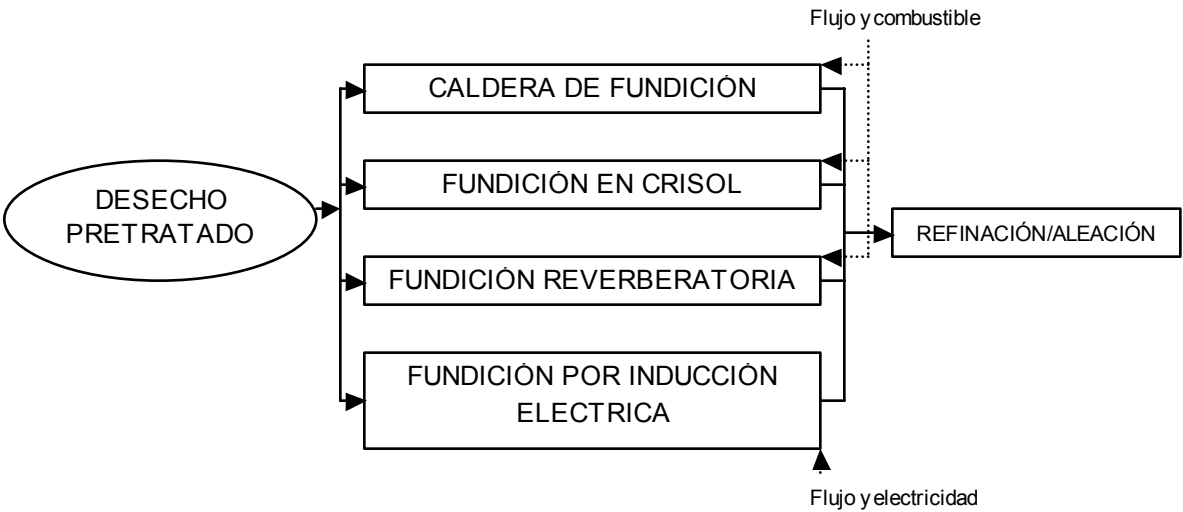
En el proceso de fundición el desecho del cinc se derrite en los hornos de la caldera, del crisol y eléctricos de inducción. El flujo se utiliza en estos hornos para atrapar impurezas del cinc fundido. Facilitado por la agitación, el flujo y las impurezas flotan a la superficie como escoria. El cinc fundido se puede verter en moldes o transferir a la operación de la refinación en un estado fundido.

Figura 12. Diagrama de flujo del proceso secundario de cinc. Fuente EPA, 2002

Fase de pretratamiento

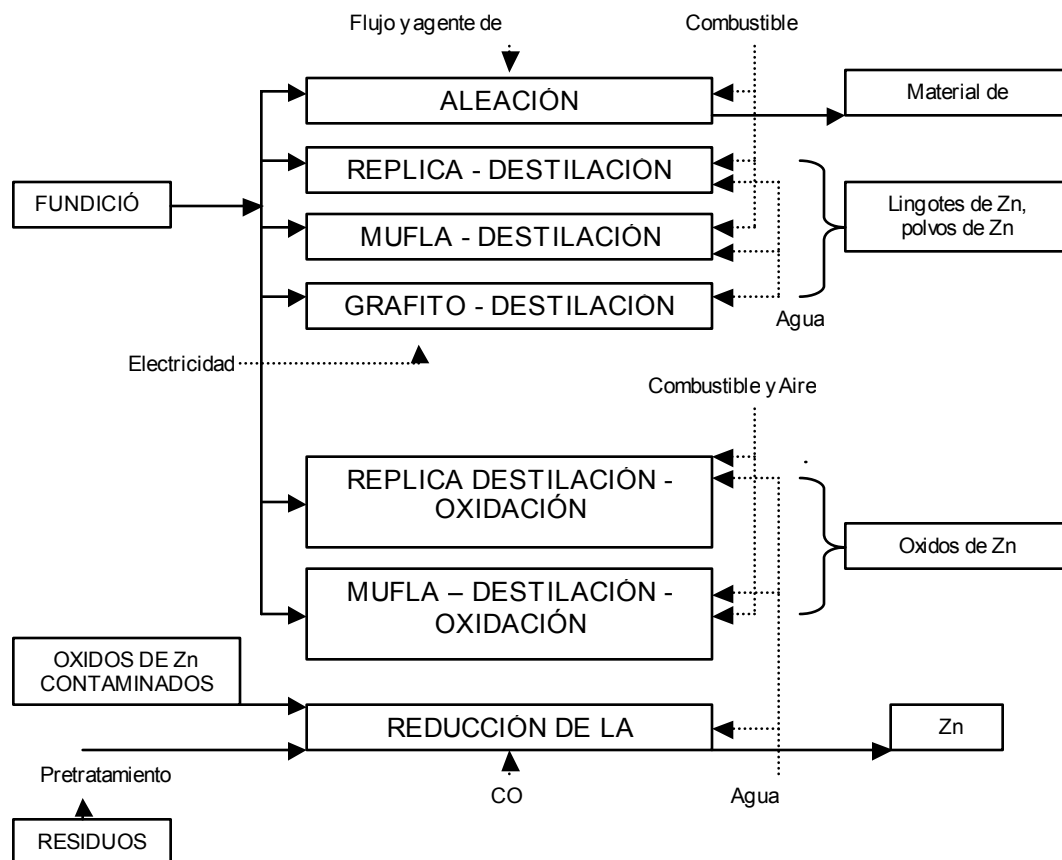


Fase de fundición





## Fase refinación/aleación



Las aleaciones del cinc se producen del desecho pretratado durante procesos de fundición. Las aleaciones pueden contener cantidades pequeñas de cobre, aluminio, magnesio, hierro, plomo y de cadmio. Las aleaciones que contienen 0,65 a 1,25 por ciento de cobre son perceptiblemente más fuertes que el cinc.

En los procesos de refinación se quitan otras impurezas en desecho limpio de la aleación del cinc y en el cinc vaporizado durante la fase de fundición en hornos. Se calienta el cinc fundido hasta que se vaporiza. El vapor del cinc se condensa y se recupera en varias formas, dependiendo de la temperatura, tiempo de la recuperación, ausencia o presencia del oxígeno, y equipo usado durante la condensación del vapor del cinc. Los productos finales de procesos de refinación

incluyen lingotes del cinc, el polvo de cinc, el óxido del cinc, y las aleaciones del cinc.

Las emisiones de operaciones de fundición consisten en material particulado, vapores de cinc, otros metales volátiles, y el humo generado por la combustión incompleta de la grasa, del caucho, y de los plásticos en desecho del cinc. Los vapores del cinc son insignificantes en las temperaturas bajas del horno. En la producción que requiere flujos especiales que generan vapores, los filtros de la tela se pueden utilizar para recoger las emisiones. Las emisiones pueden presentarse en la combustión incompleta del material carbonoso en el desecho del cinc. Estos contaminantes son controlados generalmente por los dispositivos de postcombustión.

En la trituración se generan emisiones de polvo. Estas emisiones se componen de cinc, aluminio, cobre, hierro, plomo, cadmio, y cromo. Pueden ser recuperadas por los extractores usados como dispositivos de la captura y pueden ser controladas con los filtros de la tela.

Las emisiones de operaciones en la refinación son principalmente humos metálicos. Las operaciones de destilación/oxidación emiten óxido del cinc en el gas de escape. El óxido del cinc se recupera generalmente en filtros de tela con eficiencias de colección de 98 a 99 por ciento.

#### **10.3.6 Fundición secundaria de aluminio (D2732)**

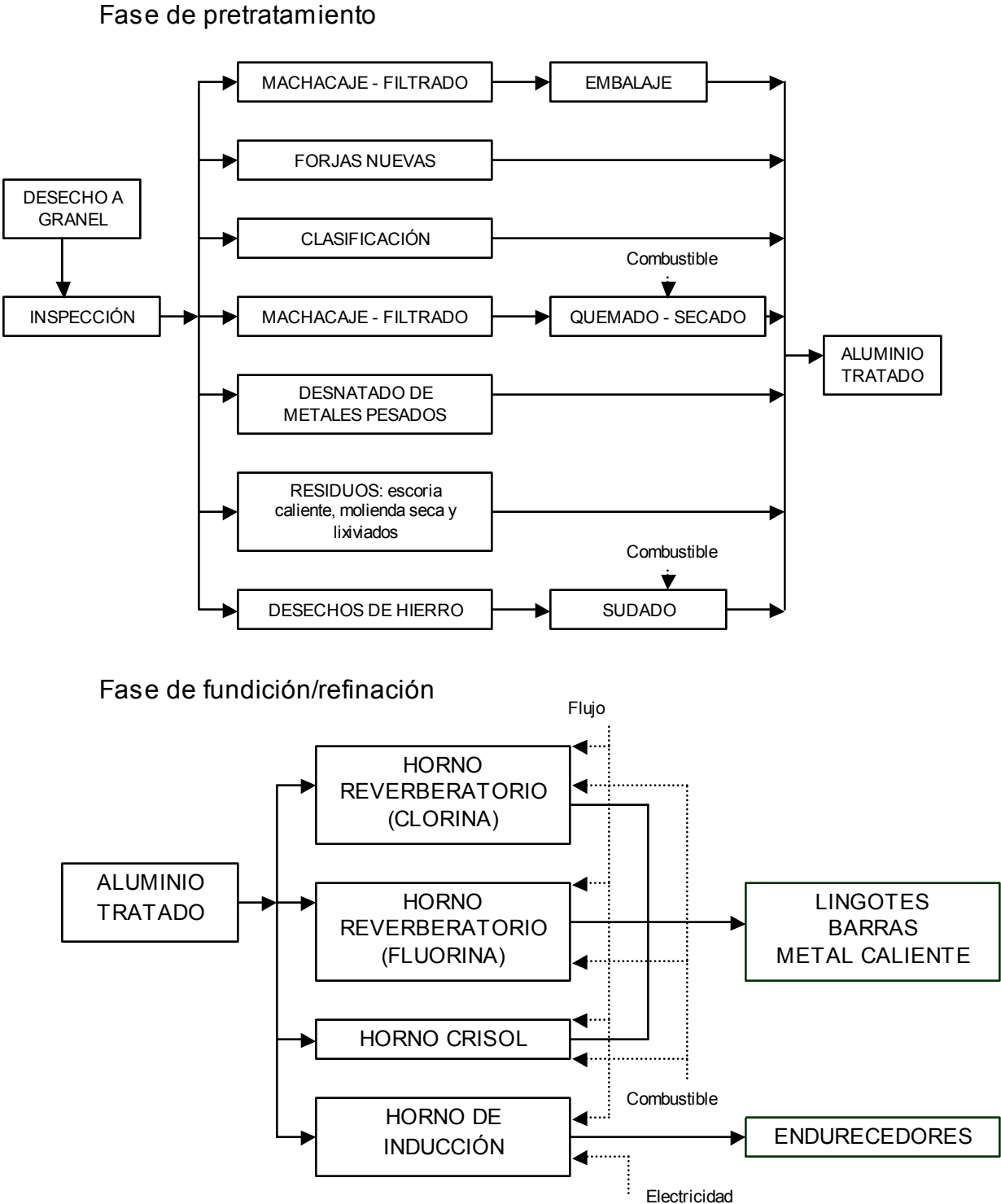
En la producción secundaria de aluminio se recicla el aluminio de desecho, mientras que la producción primaria convierte el mineral de la bauxita en el aluminio.

La producción secundaria de aluminio implica 2 operaciones generales; un tratamiento previo del desecho y la fundición/refinación. Las operaciones de tratamiento previo incluyen clasificación, tratamiento y limpieza. Las operaciones de fundición/refinación incluyen la limpieza, fundición, refinación, aleación, y moldeado.

Los desechos de aluminio vienen de una variedad de fuentes. El pretratamiento del desecho implica clasificarlos y procesarlos para retirar contaminantes y para preparar el material para la fundición. Clasificando y procesando se separa el aluminio de los demás metales, suciedad, aceite, plásticos, y pintura. Los procesos de limpieza del pretratamiento se basan en técnicas mecánicas e hidrometalúrgicas.

Las operaciones de la fundición y de refinación pueden implicar los pasos siguientes: carga, fundición, desgasificación, aleación, desnatado, y moldeado. La carga consiste en colocar el desecho de aluminio pretratado en una piscina de aluminio derretida para que se mantenga en hornos de fundición. El desecho, mezclado con el material del flujo, se coloca normalmente en el horno, donde el calor del aluminio fundido que rodea el desecho lo hace derretir por la conducción. Los materiales contaminantes flotan a la superficie del aluminio, atrapando impurezas y proporcionando una barrera (hasta 6 pulgadas de grueso) que reduce a oxidación del aluminio derretido.

Figura 13. Diagrama de flujo para el procesamiento secundario de aluminio.  
Fuente EPA, 2002



Las principales fuentes de emisión de procesos de pretratamiento del desecho son partículas por el proceso de machacar. Aunque cada paso en el tratamiento del desecho y en la fundición/refinación es una fuente potencial de emisiones. Las fuentes de la emisión de la fundición y de la refinación se originan de la carga y fundición.

Las técnicas mecánicas de la limpieza producen partículas metálicas. Las operaciones que manejan altas temperaturas y de sequía emiten partículas y vapores orgánicos. Los dispositivos de postcombustión se utilizan con frecuencia para convertir VOC's incombustos a dióxido de carbono y a vapor de agua. Otros gases que pueden estar presentes, dependiendo de la composición de los contaminantes, incluyen los cloruros, los fluoruros, y los óxidos del sulfuro. El polvo mecánicamente generado de los hornos de la escoria del barril constituyen las emisiones principales al aire en el proceso caliente de la escoria. Algunos humos se producen de las reacciones de fundición.

Las emisiones fugitivas son controladas canalizando las emisiones a un filtro de tela. Las emisiones de los hornos varían con la composición del desecho de la alimentación. El humo puede resultar de la combustión incompleta de los contaminantes orgánicos (caucho, aceite y grasa, plásticos, pintura, cartulina, papel) que pueden estar presentes. Así mismo de la oxidación de los contaminantes del magnesio y del cinc y de flujos de escoria recuperada. En la molienda en seco, las cantidades grandes de polvo se generan del machacamiento, molienda y clasificación. La lixiviación de las operaciones hidrometalúrgicas puede producir emisiones de partículas.

Las emisiones de los hornos reverberatorios representan una fracción significativa del efluente de partículas y gases totales generados en la fundición secundaria de aluminio. Las emisiones del pozo de carga consisten en partículas orgánicas e inorgánicas, los vapores orgánicos incombustos, y el dióxido de carbono. Las

emisiones del horno contienen monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxido sulfúrico, y óxido de nitrógeno. Las emisiones del horno se separan generalmente de emisiones de proceso. Las emisiones que resultan de operaciones de fundición dependen del tipo de agentes que se utilicen y la cantidad requerida, lo cual es una función de la calidad del desecho. Las emisiones pueden incluir las sales de fundición como cloruro de sodio, cloruro del potasio, y criolita. El cloruro del aluminio y del magnesio también se puede generar de los materiales que funden, que son agregados al derretimiento. Los estudios han sugerido que en la fundición la emisión de partículas es típicamente de menos de 1 micrómetro de diámetro.

Los contaminantes peligrosos del aire (HAPs) se han encontrado en emisiones de los hornos reverberatorios: clorina, y compuestos de manganeso, níquel, plomo, y cromo. Además del HAPs. Se ha encontrado antimonio, cobalto, selenio, cadmio, y arsénico.

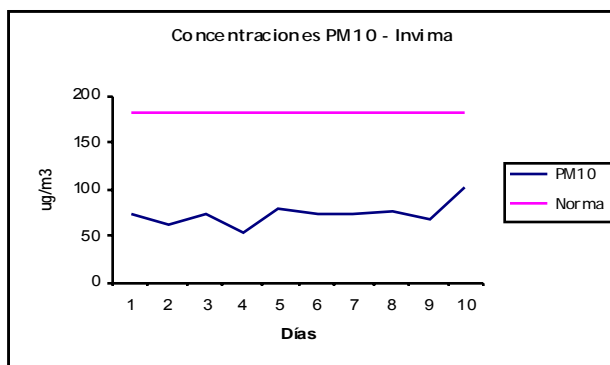
En resumen, los gases efluentes del horno típico contienen productos de la combustión, la clorina, del cloruro de hidrógeno y de metales como cinc, magnesio y aluminio, de óxido de aluminio y compuestos metálicos, dependiendo de la calidad del desecho.

## 11. ANALISIS DE RESULTADOS

### 11.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PM<sub>10</sub>

Las concentraciones de PM<sub>10</sub> obtenidas durante el periodo de muestreo en la estación del Invima varían de 53.35 a 101.65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se observa (figura 14) que no sobrepasan la norma diaria establecida por el DAMA de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para promedios de 24 horas.

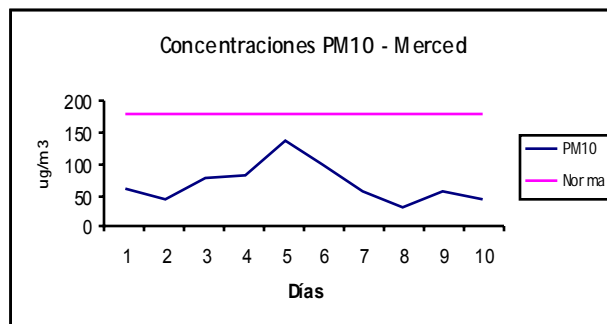
Figura 14. Concentraciones de PM<sub>10</sub> en la estación del Invima



Fuente: Sandoval y Olaya, 2005

En la estación de la Merced las variaciones de concentración de PM<sub>10</sub> son mayores con respecto al Invima y están entre 31.05 y 137.39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (figura 15) sin embargo ninguna de las concentraciones sobrepasa la norma diaria para Bogotá. De las variaciones se infiere que se pudieron presentar cambios en los procesos industriales de la zona.

Figura 15. Concentraciones de PM<sub>10</sub> en la estación de la Merced.



Fuente: Sandoval y Olaya, 2005

## 11.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE METALES PESADOS

Los análisis se muestran de manera independiente para cada metal, tomando como base las concentraciones obtenidas en cada estación de muestreo, las fuentes de emisión identificadas y los estudios realizados a nivel nacional e internacional.

### 11.2.1 Plomo

A continuación se muestran los resultados de las concentraciones de plomo encontradas en las dos estaciones de muestreo.

Tabla 18. Concentraciones de Pb en el Invima

Pb				
Fecha	Día	Ct (mg/l)	M (µg Pb/g part)	CT (µg Pb/m <sup>3</sup> aire)
23/06/2005	1	0,49	2710,64	0,20
24/06/2005	2	5,27	36610,88	2,09
25/06/2005	3	2,2	88414,63	1,14
26/06/2005	4	2,1	39220,18	1,35
27/06/2005	5	2,22	11247,44	0,88
28/06/2005	6	2,3	39721,25	0,92
29/06/2005	7	13,6	252416,36	<b>5,40</b>
30/06/2005	8	2,7	14270,50	1,08
03/07/2005	9	2,02	18425,32	0,87
04/07/2005	10	2,9	23188,41	1,15

Ct: Concentración en la Tira (mg/l), M: Masa de metal por masa de partícula (µg metal/g part)

CT: Concentración de metal en el aire (µg de metal/m<sup>3</sup> de aire)



Figura 16. Concentraciones de Pb en el Invima

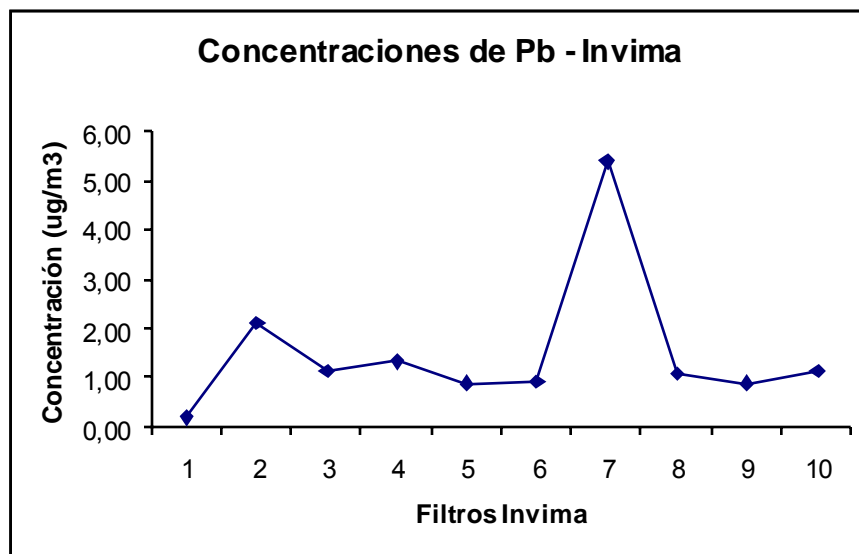
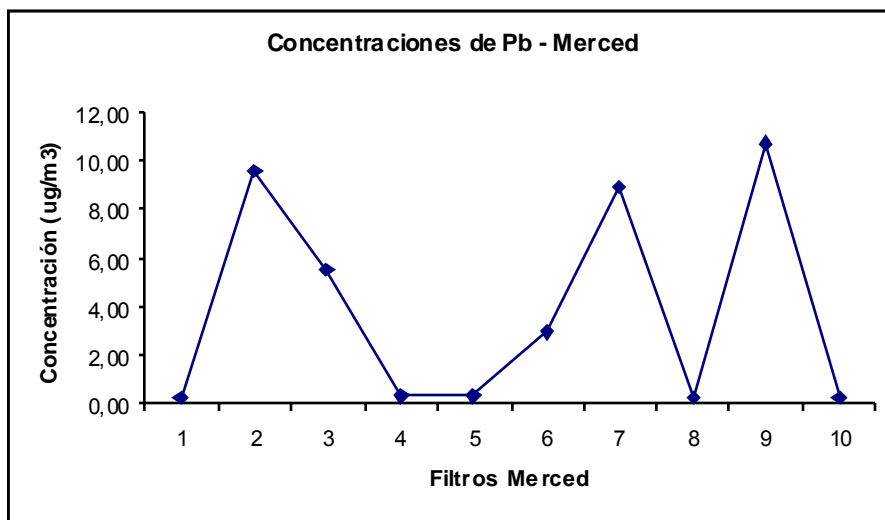


Tabla 19. Concentraciones de Pb en la Merced

Pb				
Fecha	Día	Ct (mg/l)	M (µg Pb/g part)	CT (µg Pb/m <sup>3</sup> aire)
09/07/2005	1	0,55	302,58	0,23
10/07/2005	2	13,92	120438,07	9,61
11/07/2005	3	13,46	46410,34	5,55
12/07/2005	4	0,75	3423,22	0,30
14/07/2005	5	0,93	4402,84	0,37
15/07/2005	6	7,05	37454,84	3,00
16/07/2005	7	21,68	139146,34	8,97
17/07/2005	8	0,55	3664,89	0,22
18/07/2005	9	26	158144,77	<b>10,78</b>
19/07/2005	10	0,54	2786,97	0,22

Ct: Concentración en la Tira (mg/l), M: Masa de metal por masa de partícula (µg metal/g part)  
CT: Concentración de metal en el aire (µg de metal/m<sup>3</sup> de aire)

Figura 17. Concentraciones de Pb en la Merced



Las altas concentraciones de plomo ( $5.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $10.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se explican por la presencia de este metal en las emisiones de actividades de fundición secundaria de cobre, acero, plomo, aluminio y cinc (D2732), fabricación de artículos de vidrio (D2610) las cuales se encuentran referenciadas en el inventario de fuentes fijas de la localidad de Puente Aranda (Tabla 2). Así mismo en las distintas actividades industriales que se llevan a cabo se utilizan combustibles que generan emisiones de plomo como el carbón, crudo y fuel oil (Tabla 3)

En el Invimu las fluctuaciones en las concentraciones no son tan significativas en comparación con la Merced. Durante el séptimo día del muestreo se observa una alta concentración ( $10.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que puede ser atribuida a una emisión espontánea en alguno de los procesos industriales.

En cuanto a normatividad, el Departamento Técnico Administrativo de Medio Ambiente reglamenta una concentración promedio anual de  $3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la Resolución 1208 del 2003 (DAMA, 2003) mientras que la EPA ha establecido un límite permitido de  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio en tres meses, es decir,  $1500 \text{ ng}/\text{m}^3$ . El presente estudio no permite determinar un promedio trimestral ni anual, sin

embargo a manera de comparación se encontró que la norma se sobrepasa en varias ocasiones.

(Cárdenas, 2003) en un estudio realizado en la ciudad de Bogotá sobre exposición de emisiones en una zona de alto tráfico vehicular (avenida ciudad de Quito con calle 45) reportó concentraciones máximas de 1 y  $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  las cuales atribuye a la venta clandestina de gasolina con alto contenido de plomo (de contrabando) y concluye que este evento es aislado del comportamiento normal del contenido de metales en el aire.

(Pachón, 2004) en el estudio exploratorio de la concentración de sustancias peligrosas en partículas respirables en Cundinamarca, reporta para los municipios de Sibaté y de Soacha valores de  $0.709 \pm 0.972$  y  $0.556 \pm 0.675 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, los cuales son similares a algunos de los datos encontrados en el presente estudio.

(Mohanraj, 2002) en un estudio realizado en una zona industrial de la India encontró concentraciones entre  $0.0067$  y  $2.147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Warner, 1981) determinó que la concentración promedio de plomo en áreas rurales en España es de  $0.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que muestras tomadas en áreas aisladas producen valores de  $1\text{E}-4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Fergusson, 1990) en un estudio realizado sobre elementos metálicos en Nueva Zelandia reporta valores de plomo en  $\text{PM}_{10}$  de  $0.50$  a  $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Fang et al., 2002) en un estudio en zona urbana en Taiwán encontró concentraciones de  $90.6 \pm 54.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para este metal.

Evidentemente la zona de estudio presenta gran variedad de industrias lo cual justifica las concentraciones encontradas.

### 11.2.2 Cobre

A continuación se muestran los resultados de las concentraciones de cobre encontradas en las dos estaciones de muestreo.

Tabla 20. Concentraciones de Cu en el Invima

Cu				
Fecha	Día	Ct (mg/l)	M ( $\mu\text{g Cu/g part}$ )	CT ( $\mu\text{g Cu/m}^3 \text{ aire}$ )
23/06/2005	1	0,41	2272,73	0,17
24/06/2005	2	0,32	1450,49	0,08
25/06/2005	3	0,49	11524,39	0,15
26/06/2005	4	0,3	2155,96	0,07
27/06/2005	5	0,55	2239,26	0,17
28/06/2005	6	0,39	4843,21	0,11
29/06/2005	7	0,41	5539,03	0,12
30/06/2005	8	0,618	2694,36	0,20
03/07/2005	9	0,52	4853,90	0,23
04/07/2005	10	0,93	6586,15	<b>0,33</b>

Ct: Concentración en la Tira (mg/l), M: Masa de metal por masa de partícula ( $\mu\text{g metal/g part}$ )

CT: Concentración de metal en el aire ( $\mu\text{g de metal/m}^3 \text{ de aire}$ )

Figura 18. Concentraciones de Cu en el Invima

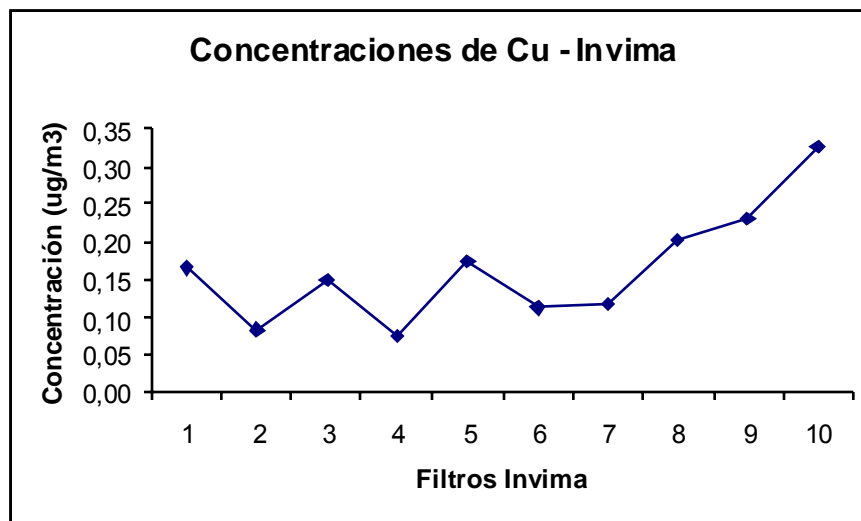
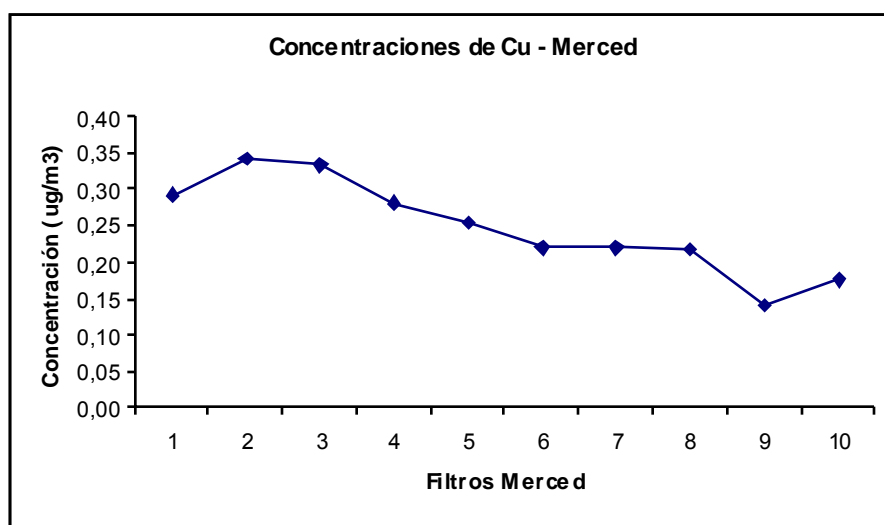


Tabla 21. Concentraciones de Cu en la Merced

Cu				
Fecha	Día	Ct (mg/l)	M ( $\mu\text{g Cu/g part}$ )	CT ( $\mu\text{g Cu/m}^3$ aire)
09/07/2005	1	0,7	385,80	0,29
10/07/2005	2	0,68	4279,96	<b>0,34</b>
11/07/2005	3	0,81	2793,10	0,33
12/07/2005	4	0,7	3199,27	0,28
14/07/2005	5	0,64	3033,18	0,25
15/07/2005	6	0,52	2763,02	0,22
16/07/2005	7	0,53	3401,80	0,22
17/07/2005	8	0,42	3604,81	0,22
18/07/2005	9	0,34	2068,13	0,14
19/07/2005	10	0,52	2171,66	0,18

Ct: Concentración en la Tira (mg/l), M: Masa de metal por masa de partícula ( $\mu\text{g metal/g part}$ )  
 CT: Concentración de metal en el aire ( $\mu\text{g de metal/m}^3$  de aire)

Figura 19. Concentraciones de Cu en la Merced



Las concentraciones de cobre encontradas ( $0,07 - 0,34 \mu\text{g/m}^3$ ) se explican por la presencia de este metal en las emisiones de actividades de fundición secundaria de cobre, cinc, plomo y acero (D2732), Industrias básicas de hierro y de acero (D2710), actividades que se muestran en el inventario de fuentes fijas de la localidad (Tabla 2). Así como en las distintas actividades industriales que se llevan

a cabo se utilizan combustibles que generan emisiones de cobre como el carbón, crudo y gas natural (Tabla 3).

En comparación con los demás metales analizados, el cobre presenta unas concentraciones relativamente bajas, presentando picos en los últimos días de muestreo en la estación del Invima ( $0.23$  y  $0.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sin embargo el comportamiento de las concentraciones en ambos muestreos no presenta mayor variación, lo que indica que procede de un mismo tipo de fuente de emisión o que no hay fuentes puntuales de emisión.

El Departamento Técnico Administrativo de Medio Ambiente ha establecido una concentración anual de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de Cu en la Res. 1208 (DAMA, 2003) que a manera de comparación con el presente estudio muestra que los datos obtenidos se encuentran por debajo de la normatividad.

(Páez, 1998) en el estudio sobre metales pesados en el aire en la ciudad de Bogotá reporta valores entre  $0.0069$  y  $0.063 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de cobre en  $\text{PM}_{10}$ , los cuales se encuentran por debajo de las concentraciones encontradas en el presente estudio. (Pachón, 2004) en el estudio exploratorio de la concentración de sustancias peligrosas en partículas respirables en Cundinamarca, encontró para el municipio de Soacha valores de concentración entre  $0.110 \pm 0.037 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo cual se debe principalmente a la presencia de actividades de fundición de cobre (D 2730) y de plomo (D 2730), estos valores se asemejan a algunos datos encontrados en este estudio.

(Cárdenas, 2003) en un estudio realizado en la ciudad de Bogotá sobre exposición de emisiones vehiculares (avenida ciudad de Quito con calle 45) reportó una concentración máxima de  $0.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$

(Fang et al., 2002) en un estudio en zona urbana en Taiwán reporta concentraciones de cobre de  $0.012 \pm 0.011 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo de los menores valores encontrados en el estudio para la fracción  $\text{PM}_{10}$ , (Allen et al., 2001) encontró valores de concentración en el rango de  $0.0051\text{--}0.011 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para una zona rural en Inglaterra. (Mohanraj et al., 2002) reporta un rango de concentraciones de  $0.043\text{--}0.973 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para una ciudad industrial de la India, e indica que el tráfico vehicular es una importante fuente de cobre.

### **11.2.3 Hierro**

A continuación se muestran los resultados de las concentraciones de hierro encontradas en las dos estaciones de muestreo.

Para la determinación de hierro fue necesario tener en cuenta las interferencias que podrían variar las concentraciones como la presencia de Cobalto, Cobre y Níquel en la muestra. Las interferencias dependen de las condiciones de la llama. Con el fin de eliminarlas se utilizó una llama muy caliente (llama azul) durante las lecturas.

Muchas de las interferencias pueden ser reducidas o eliminadas por completo utilizando una llama de óxido nítrico – acetileno, sin embargo la sensibilidad del equipo puede ser reducida por lo cual no se utilizó este oxidante.

La presencia de Silicio reduce la señal de hierro, para lo cual se adicionó 0.2% de cloruro de calcio. En las Tablas 22 y 23 se muestran las concentraciones obtenidas luego de eliminar las interferencias.

Tabla 22. Concentraciones de Fe en el Invima

Fe				
Fecha	Día	Ct (mg/l)	M ( $\mu\text{g Fe/g part}$ )	CT ( $\mu\text{g Fe/m}^3 \text{ aire}$ )
23/06/2005	1	4,59	25415,74	1,86
24/06/2005	2	5,63	37866,11	2,16
25/06/2005	3	6,05	178353,66	2,30
26/06/2005	4	3,5	43577,98	1,50
27/06/2005	5	4,83	23670,76	1,85
28/06/2005	6	4,76	79442,51	1,84
29/06/2005	7	6,01	107992,57	2,31
30/06/2005	8	5	25559,11	1,93
03/07/2005	9	3,6	47727,27	2,26
04/07/2005	10	8,34	65539,45	<b>3,25</b>

Ct: Concentración en la Tira (mg/l), M: Masa de metal por masa de partícula ( $\mu\text{g metal/g part}$ )

CT: Concentración de metal en el aire ( $\mu\text{g de metal/m}^3 \text{ de aire}$ )

Figura 20. Concentraciones de Fe en el Invima

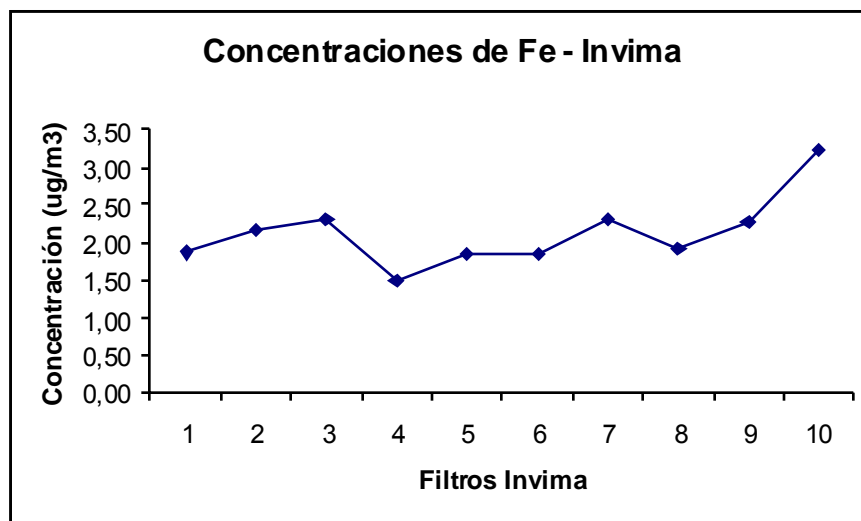


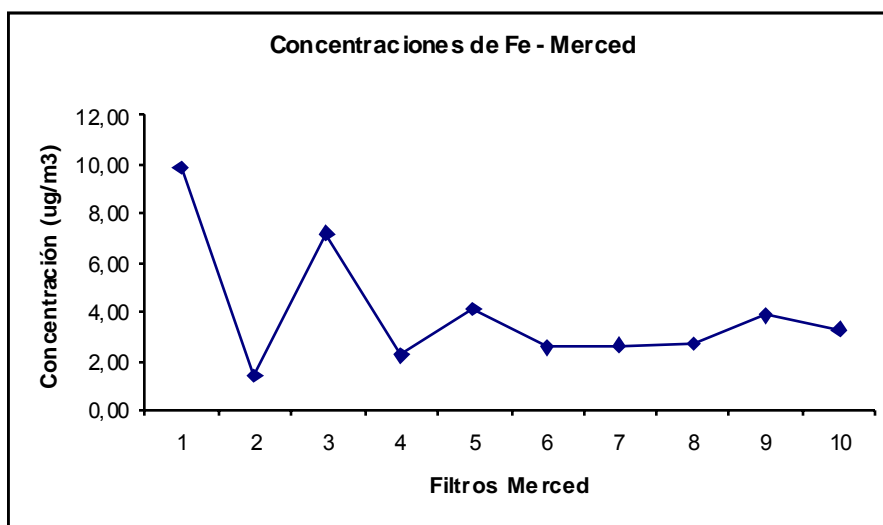


Tabla 23. Concentraciones de Fe en la Merced

Fe				
Fecha	Día	Ct (mg/l)	M ( $\mu\text{g Fe/g part}$ )	CT ( $\mu\text{g Fe/m}^3$ aire)
09/07/2005	1	23,49	12943,67	9,84
10/07/2005	2	3,36	16893,25	1,35
11/07/2005	3	17,46	60189,66	7,20
12/07/2005	4	5,38	24565,81	2,17
14/07/2005	5	10,36	49075,83	4,10
15/07/2005	6	5,99	31801,28	2,54
16/07/2005	7	6,25	40083,44	2,58
17/07/2005	8	4,69	44626,17	2,70
18/07/2005	9	9,2	55930,66	3,81
19/07/2005	10	7,93	40977,25	3,31

Ct: Concentración en la Tira (mg/l), M: Masa de metal por masa de partícula ( $\mu\text{g metal/g part}$ )  
 CT: Concentración de metal en el aire ( $\mu\text{g de metal/m}^3$  de aire)

Figura 21. Concentraciones de Fe en la Merced



Las altas concentraciones de hierro ( $7.20 - 9.84 \mu\text{g/m}^3$ ) se explican por la presencia de este metal en las emisiones de Industrias básicas de hierro y de acero (D2710), fundición de productos de hierro o acero (D2731) y fundición secundaria de cinc (D2732) (Tabla 2). También se encuentra en las emisiones de las actividades donde se utiliza carbón como combustible (Tabla 3) y en el suelo resuspendido por ser este un metal muy asociado a la corteza terrestre.

(Fang et al. 2002) en un estudio realizado en la ciudad de Taichung en Taiwán reporta valores de  $360.6 \pm 115.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y atribuye la presencia de hierro en el aire al suelo, lo cual contribuye a las altas concentraciones encontradas. Encontró que este metal está asociado principalmente al polvo que se encuentra en la corteza terrestre y también a procesos de combustión con carbón, en menor medida se relacionó con las emisiones vehiculares. (Usero et. al., 1988) menciona que el hierro es uno de los metales que se encuentra naturalmente en el suelo lo cual genera altas concentraciones del mismo en el aire.

#### 11.2.4 Cinc

A continuación se muestran los resultados de las concentraciones de cinc encontradas en las dos estaciones de muestreo.

Tabla 24. Concentraciones de Zn en el Invima

Zn				
Fecha	Día	Ct (mg/l)	M ( $\mu\text{g Zn/g part}$ )	CT ( $\mu\text{g Zn}/\text{m}^3$ aire)
23/06/2005	1	0,83	1274,94	0,09
24/06/2005	2	36,45	173291,49	<b>9,91</b>
25/06/2005	3	21,54	303048,78	3,91
26/06/2005	4	20,26	123165,14	4,23
27/06/2005	5	16,77	26431,49	2,06
28/06/2005	6	19,38	135540,07	3,15
29/06/2005	7	25,74	262825,28	5,62
30/06/2005	8	18,06	34398,30	2,60
03/07/2005	9	25,82	115422,08	5,46
04/07/2005	10	27,03	124235,10	6,15

Ct: Concentración en la Tira (mg/l), M: Masa de metal por masa de partícula ( $\mu\text{g metal/g part}$ )

CT: Concentración de metal en el aire ( $\mu\text{g de metal}/\text{m}^3$  de aire)

Figura 22. Concentraciones de Zn en el Invima

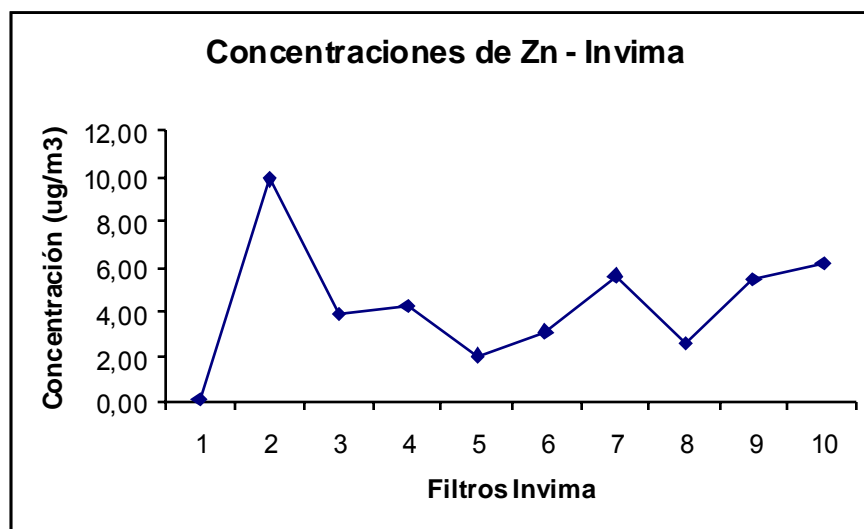


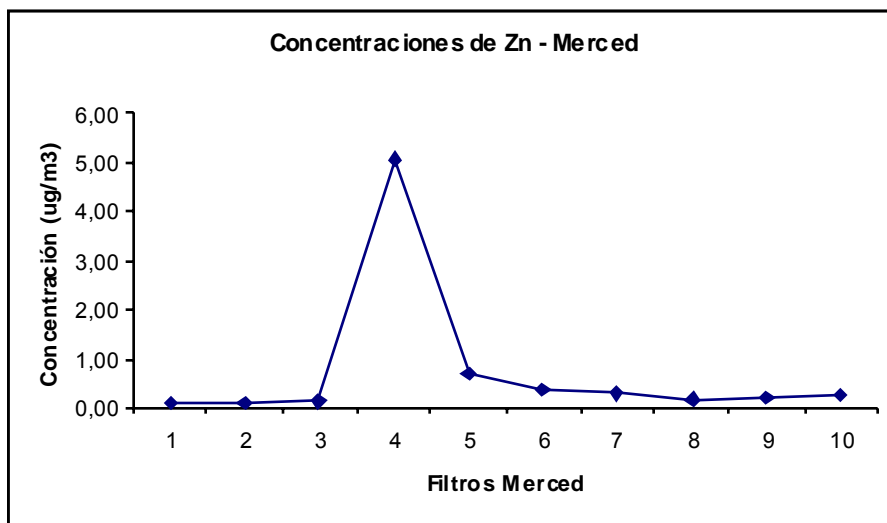
Tabla 25. Concentraciones de Zn en la Merced

Zn				
Fecha	Día	Ct (mg/l)	M ( $\mu\text{g Zn/g part}$ )	CT ( $\mu\text{g Zn/m}^3$ aire)
09/07/2005	1	0,75	82,6720	0,06
10/07/2005	2	0,7	1158,1067	0,09
11/07/2005	3	0,91	1068,9655	0,13
12/07/2005	4	13,18	57495,4296	<b>5,07</b>
14/07/2005	5	2,3	8056,8720	0,67
15/07/2005	6	1,44	4463,3369	0,36
16/07/2005	7	1,26	4236,2003	0,27
17/07/2005	8	1,05	3004,0053	0,18
18/07/2005	9	1,12	3163,0170	0,22
19/07/2005	10	1,19	3050,6722	0,25

Ct: Concentración en la Tira (mg/l), M: Masa de metal por masa de partícula ( $\mu\text{g metal/g part}$ )

CT: Concentración de metal en el aire ( $\mu\text{g de metal/m}^3$  de aire)

Figura 23. Concentraciones de Zn en la Merced



En el Invima se presentan fluctuaciones significativas en las concentraciones encontradas ( $0.09 - 9.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), el menor valor se encuentra en el primer día de muestreo en el cual se utilizó un filtro de cuarzo, los demás días se utilizaron filtros de fibra de vidrio, en donde las concentraciones fueron altas debido al contenido del metal en el filtro blanco ( $11.6 \text{ mg}/\text{l}$ ) este hecho indica que los datos obtenidos para este metal al utilizar filtros de fibra de vidrio no son representativos, por lo cual no se tendrán en cuenta para el análisis de este metal.

En la Merced se utilizaron filtros de cuarzo y los valores de concentración obtenidos ( $0.06 - 5.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) son menores en comparación con el Invima. Las concentraciones no varían de manera significativa lo que indica que proceden de una misma fuente de emisión o que no hay fuentes puntuales, sin embargo se presenta un pico en el cuarto día ( $5.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que se puede atribuir a una emisión espontánea de industrias de fabricación de pinturas y barnices que se encuentran cercanas a la estación.

La presencia de cinc en la zona se atribuye a la fundición secundaria de cobre, acero y cinc (D2732), y en la fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares, tintas para impresión y masillas (D2422), (Tabla 2) y a la utilización de gas natural, carbón y fuel oil en los procesos industriales. (Tabla 3)

En relación con la normatividad existente para este metal el Departamento Técnico Administrativo de Medio Ambiente ha establecido una concentración anual de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de cinc (Res. 1208/2003) a manera de comparación se podría decir que la norma no es superada según las concentraciones obtenidas en esta estación.

(Fang et. al, 2002) en el estudio sobre caracterización de elementos metálicos en  $\text{PM}_{10}$  en la ciudad de Taichung en Taiwán, relaciona la presencia de cinc en el aire principalmente con actividades industriales y reporta valores de  $0.040 \pm 0.033 \mu\text{g}/\text{m}^3$  menores a los encontrados en este estudio. (Mohanraj et al, 2002) en el estudio realizado en Coimbatore India encontró concentraciones de cinc entre  $0.122 - 1.131 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , similares a las concentraciones encontradas en la estación de la Merced, exceptuando el cuarto día.

#### **11.2.5 Cromo**

A continuación se muestran los resultados de las concentraciones de cromo encontradas en las dos estaciones de muestreo.

En la determinación de cromo se requiere una llama de aire-acetileno rica en combustible (llama amarilla), aunque la absorción de este metal puede ser reducida por la presencia de hierro y níquel en la muestra al utilizar este tipo de llama. Para controlar la interferencia ocasionada por el hierro se adicionó 2% de cloruro de amonio a las muestras.

Tabla 26. Concentraciones de Cr en el Invima

Cr				
Fecha	Día	Ct (mg/l)	M ( $\mu\text{g Cr/g part}$ )	CT ( $\mu\text{g Cr/m}^3 \text{ aire}$ )
23/06/2005	1	1,41	7815,96	<b>0,57</b>
24/06/2005	2	0,12	834,03	0,05
25/06/2005	3	0,19	5780,49	0,07
26/06/2005	4	0,65	8596,33	0,29
27/06/2005	5	0,49	2503,07	0,20
28/06/2005	6	0,58	10097,56	0,23
29/06/2005	7	0,25	4639,41	0,10
30/06/2005	8	0,68	3618,74	0,27
03/07/2005	9	0,43	6571,43	0,31
04/07/2005	10	0,99	7967,79	0,39

Ct: Concentración en la Tira (mg/l), M: Masa de metal por masa de partícula ( $\mu\text{g metal/g part}$ )  
 CT: Concentración de metal en el aire ( $\mu\text{g de metal/m}^3 \text{ de aire}$ )

Figura 24. Concentraciones de Cr en el Invima

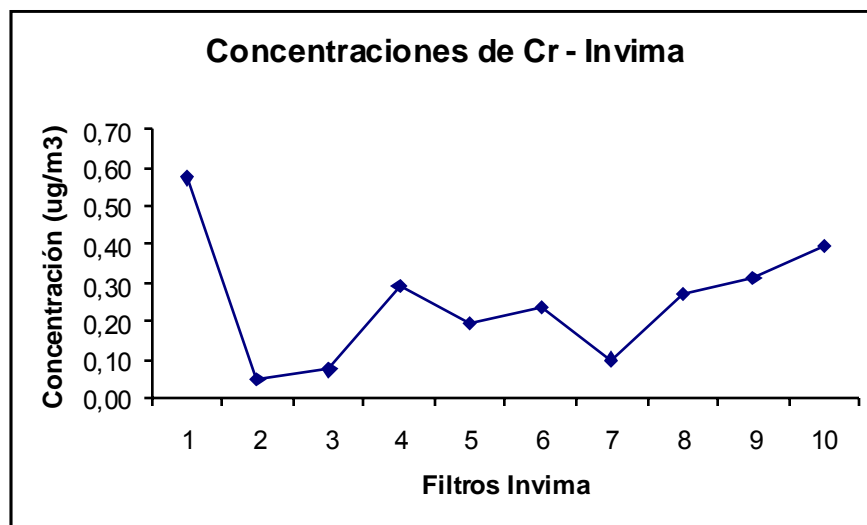
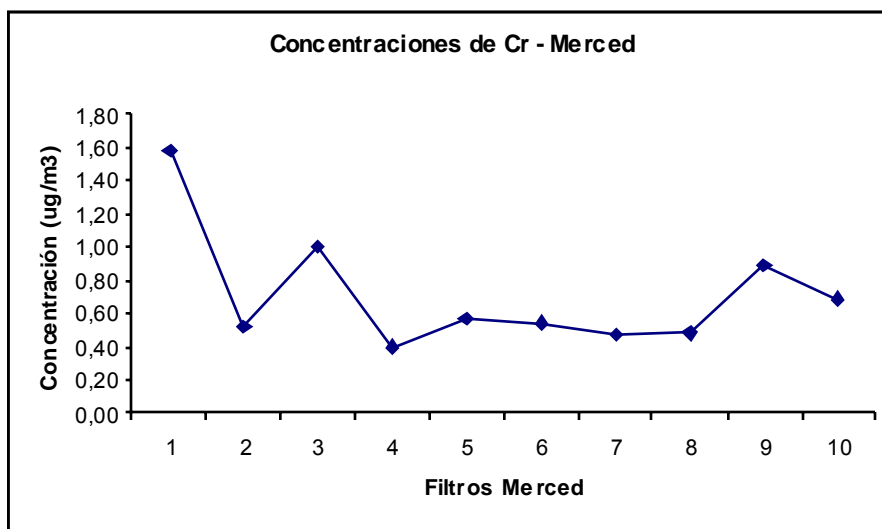


Tabla 27. Concentraciones de Cr en la Merced

Cr				
Fecha	Día	Ct (mg/l)	M ( $\mu\text{g Cr/g part}$ )	CT ( $\mu\text{g Cr/m}^3$ aire)
09/07/2005	1	3,77	2077,82	1,58
10/07/2005	2	1,28	6445,12	0,51
11/07/2005	3	2,43	8379,31	1,00
12/07/2005	4	0,99	4524,68	0,40
14/07/2005	5	1,42	6729,86	0,56
15/07/2005	6	1,28	6801,28	0,54
16/07/2005	7	1,13	7252,89	0,47
17/07/2005	8	1,2	8010,68	0,48
18/07/2005	9	2,15	13077,86	0,89
19/07/2005	10	1,65	8531,54	0,69

Ct: Concentración en la Tira (mg/l), M: Masa de metal por masa de partícula ( $\mu\text{g metal/g part}$ )  
 CT: Concentración de metal en el aire ( $\mu\text{g de metal/m}^3$  de aire)

Figura 25. Concentraciones de Cr en la Merced.



Las concentraciones de cromo ( $0,05 - 1,58 \mu\text{g/m}^3$ ) no varían significativamente entre las dos estaciones y se explican por la presencia de este metal en las emisiones de actividades de fundición secundaria de acero, cinc y aluminio (D2732) las cuales se encuentran referenciadas en el inventario de fuentes fijas de la localidad de Puente Aranda (Tabla 2). También es posible encontrar emisiones de este metal en las distintas actividades industriales que utilizan combustibles como el carbón, crudo, gas natural y fuel oil (Tabla 3).

(Cárdenas, 2003) en un estudio realizado en la ciudad de Bogotá sobre exposición de emisiones vehiculares reportó una concentración máxima de  $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para este metal.

(Pachón, 2004) encontró en el municipio de Soacha un promedio de  $0.005 \pm 0.003 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de cromo, estas concentraciones se encuentran por debajo de las encontradas en este estudio.

(Mohanraj et al., 2002) reporta rangos para el cromo entre 0 y  $0.087 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{10}$  con un valor promedio de  $0.014 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose la mayor concentración en la zona industrial, asociado principalmente a las industrias de plateado en cromo.

(Fang et. al, 2002) en un estudio sobre elementos metálicos en  $\text{PM}_{10}$  realizado en la ciudad de Taichung en Taiwán encontró concentraciones de  $9 \pm 13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para este metal.

La regulación anual establecida por el Departamento Técnico Administrativo de Medio Ambiente para este metal es de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Res. 1208/2003). Si bien con los datos obtenidos no es posible determinar un promedio anual, se puede observar a manera de comparación que la norma no se sobrepasa.

### **11.3. CORRELACIONES**

A continuación se muestra la correlación de Pearson y la significancia entre los distintos metales estudiados y en cada una de las estaciones de muestreo, la cual se determinó mediante el programa estadístico SPSS 12.0. (Anexo D)



Tabla 28. Correlación entre metales en la Merced

	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>
<b>Pb</b>					
Pearson	1,00	-0,294	0,172	0.442	-0.540
Significancia	.	0,410	0.635	0.201	0.107
<b>Cu</b>					
Pearson		1,00	<b>0.746*</b>	0,091	0,477
Significancia		.	<b>0.013</b>	0.802	0.163
<b>Fe</b>					
Pearson			1,00	0.442	0.008
Significancia			.	0.201	0.983
<b>Zn</b>					
Pearson				1,00	-0.567
Significancia				.	0.088
<b>Cr</b>					
Pearson					1,00
Significancia					.

\*La correlación es significativa con un nivel de 0.05

Se encontró una correlación significativa entre el hierro y el cobre ( $P=0.76$ ) lo cual se atribuye a la presencia de industrias básicas de hierro y acero, de fundición secundaria de cinc y a la utilización de carbón como combustible, actividades en las cuales se generan ambos metales (Tabla 2 y 3)

Tabla 29. Correlación entre metales en el Invima

	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>
<b>Pb</b>					
Pearson	1,00	-0.048	-0,241	-0.317	-0.078
Significancia	.	0.895	0.503	0.372	0.831
<b>Cu</b>					
Pearson		1,00	0.261	0.146	0.152
Significancia		.	0.467	0.687	0.674
<b>Fe</b>					
Pearson			1,00	-0.271	<b>0.941*</b>
Significancia			.	0.449	<b>0.000</b>
<b>Zn</b>					
Pearson				1.00	-0.351
Significancia				.	0.320
<b>Cr</b>					
Pearson					1,00
Significancia					.

\*La correlación es significativa con un nivel de 0.01

En la estación del Invima se encontró que la mas alta correlación es entre el Cr y el Fe ( $P=0.941$ ), lo cual se debe a las actividades de fundición secundaria de acero y fundición secundaria de cinc y a la utilización de carbón como combustible, que son fuentes generadoras de ambos metales. (Tabla 2 y 3)

## 12 ESTIMACIÓN DE RIESGOS SOBRE LA SALUD

A pesar de no estar dentro de los objetivos del estudio y debido a la relevancia del tema, se presenta a continuación una breve estimación del riesgo en la salud humana al que podría estar expuesta la población de la Localidad de Puente Aranda en función de las concentraciones de metales pesados señaladas anteriormente.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha establecido una metodología para determinar los riesgos tanto cancerígenos como no cancerígenos en la salud humana por exposición a elementos tóxicos.

### 12.1 RIESGOS NO CANCERÍGENOS

Para la determinación de los riesgos no cancerígenos que se pueden presentar por la exposición a metales pesados es indispensable calcular la dosis de inhalación de contaminantes en aerosoles, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula (Vallero, 2004):

$$\text{Dosis} = (C \cdot PC \cdot TI \cdot FR \cdot LE \cdot DE \cdot TA \cdot 10^{-6}) / PC \cdot TL$$

Donde:

Dosis (mg/kg día)

C: concentración del contaminante en el material particulado (mg/kg)

PC: concentración de partículas en el aire (mg/m<sup>3</sup>)

TI: tasa de inhalación (m<sup>3</sup>/h)

FR: fracción respirable del total de partículas (si se trata de PM10, FR=1.0)

LE: longitud de la exposición (h/d)

DE: duración de la exposición (días)

TA: tasa de absorción (si se desconoce se debe asumir 1.0)

PC: peso corporal (kg)

TL: típica vida media de la persona (días)

La dosis varía según el tipo de población expuesta como se muestra en la tabla 30

Tabla 30. Factores de exposición humana comúnmente usadas.

<b>Factor de exposición</b>	<b>Adultos hombres</b>	<b>Adultos mujeres</b>	<b>Niños (3- 12)</b>
Peso corporal (kg)	70	60	15-40
Tasa de ventilación (L/min)	7.5	6.0	5.0
Volumen de aire inhalado (m <sup>3</sup> /día)	23	21	15
Vida media típica (años)	70	70	NA

Fuente: Vallero, 2004

Existen concentraciones de referencias establecidas por la EPA para los contaminantes peligrosos estos se deben convertir a dosis de referencia para la determinación del índice de peligro:

$$DR_f = (CR_f \cdot TI \cdot TA) / PC$$

TI = tasa de ingreso en el organismo, ventilación (m<sup>3</sup>/d) típicamente se usa 20 m<sup>3</sup>/d

TA = tasa de absorción (si se desconoce se debe asumir 1.0)

PC = peso corporal (kg), típicamente se usa 70kg

CR<sub>f</sub> = Concentración de contaminante de referencia en el aire. (mg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>

Para la determinación del riesgo en sustancias no cancerígenas, se usa el índice de peligro (IP), en el que se compara la dosis localmente medida y el valor de la DRf que tiene la sustancia para la vía respiratoria.

$$IP = \text{dosis (mg/kg día)} / \text{DRf (mg/kg día)}$$

Cuando el IP es mayor que 1 significa que la exposición en la zona se incrementa a niveles peligrosos que aumentan la posibilidad de aparición de efectos adversos en la salud humana.

## **12.2 RIESGOS CANCERÍGENOS**

Para determinar los riesgos cancerígenos que se pueden generar en un individuo se utiliza la unidad de riesgo (UR) que hace referencia a cada  $\mu\text{g}$  del contaminante por  $\text{m}^3$  de aire  $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ , y la concentración medida del contaminante  $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ .

$$\text{Riesgo individual} = \text{UR} * \text{concentración } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

Para conocer el riesgo poblacional se tiene en cuenta la población expuesta

$$\text{Riesgo poblacional} = \text{riesgo individual} * \text{población expuesta}$$

El riesgo poblacional debe interpretarse como el riesgo durante toda la vida de desarrollar cáncer, que se presenta en una población en la cual todos los individuos están continuamente expuestos, desde el nacimiento y a lo largo de toda su vida, a una concentración de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del agente en el aire que respiran.

El riesgo poblacional es una proyección probabilística de la incidencia del efecto en la población expuesta de por vida. Este dato da una idea objetiva acerca de la

magnitud actual del riesgo y que podría ser real si las condiciones se mantuvieran muy estables por mucho tiempo en el futuro (CEPIS, 2000)

### 12.3 RESULTADOS DE RIESGOS

Dado que sólo fue posible conseguir datos toxicológicos para el cromo, únicamente se presentará el análisis de riesgo sobre este metal.

Para la estimación de los riesgos generados por la inhalación de Cr la EPA ha establecido una concentración de referencia (CRf) de  $1,0E-4 \text{ (mg/m}^3\text{)}^{-1}$  (EPA, 2006) con base en este dato se calculó la dosis de referencia en mg/kg.d para hombres y mujeres ( $DRf_{\text{Hombre}} = 2.86E-5$ ,  $DRf_{\text{Mujer}} = 3.33E-5$ ). Los resultados se presentan en las tablas 31 y 32.

A continuación se presenta una muestra de cálculo para el primer día en la estación del Invima para mujeres:

- Dosis

$$\text{Dosis} = (C \cdot PC \cdot TI \cdot FR \cdot LE \cdot DE \cdot TA \cdot 10^{-6}) / PC \cdot TL$$

$$\text{Dosis} = (7815.96 \text{ mg/kg} \cdot 0.00057 \text{ mg/m}^3 \cdot 1.14 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1 \cdot 8 \text{ h/d} \cdot 0.9 \cdot 25550 \text{ d} \cdot 10^{-6}) / (60 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ d})$$

$$\text{Dosis} = 7,89E-05 \text{ mg/kg.d}$$

- Dosis de referencia

$$DRf = (CRf \cdot TI \cdot TA) / PC$$

$$DRf = (1E-04 \cdot (\text{mg/m}^3)^{-1} \cdot 20 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 1) / 60 \text{ Kg}$$

$$DRf = 3.33E-05 \text{ mg/kg.d}$$

- Índice de Peligro

$IP = \text{dosis (mg/kg d)} / DRf \text{ (mg/kg d)}$

$IP = (7,89E-05 \text{ mg/kg.d}) / (3.33E-05 \text{ mg/kg.d})$

$IP = 2.37$

Tabla 31. Riesgo no cancerígeno para Cr en el Invima durante los días de muestreo.

Riesgo no cancerigeno de Cr en el Invima				
Fecha	Dosis (mg/kg día)		Indice de Peligro	
	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre
23/06/2005	7,89E-05	7,12E-05	2,37	2,49
24/06/2005	7,07E-06	6,38E-06	0,21	0,22
25/06/2005	5,70E-05	5,14E-05	1,71	1,80
26/06/2005	6,27E-05	5,66E-05	1,88	1,98
27/06/2005	2,68E-05	2,42E-05	0,80	0,85
28/06/2005	1,01E-04	9,13E-05	3,03	3,19
29/06/2005	4,54E-05	4,10E-05	1,36	1,43
30/06/2005	3,75E-05	3,38E-05	1,12	1,18
03/07/2005	6,23E-05	5,62E-05	1,87	1,97
04/07/2005	1,11E-04	1,00E-04	3,32	3,50

Aunque las dosis encontradas en la estación del Invima son relativamente bajas, se presenta un índice de peligro mayor que 1 en la mayoría de los casos para hombres y mujeres, lo cual implica que el riesgo puede estar incrementándose a niveles peligrosos ocasionando efectos adversos en la salud humana como efectos en el tracto respiratorio, ulceraciones y perforaciones, bronquitis, disminución de las funciones pulmonares, neumonía, asma, molestias nasales, complicaciones durante el embarazo y el nacimiento y cáncer pulmonar. Así como efectos en el hígado, riñón y sistemas gastrointestinales e inmunes, y posiblemente en la sangre. En la piel se puede producir dermatitis por contacto, sensibilidad y ulceraciones en la piel

Tabla 32. Riesgo no cancerígeno para Cr en la Merced durante los días de muestreo

Riesgo no cancerígeno de Cr en la Merced				
Fecha	Dosis (mg/kg día)		Índice de Peligro	
	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre
09/07/2005	4,49E-07	4,05E-07	0,013	0,014
10/07/2005	4,53E-07	4,09E-07	0,014	0,014
11/07/2005	1,15E-06	1,04E-06	0,034	0,036
12/07/2005	2,47E-07	2,23E-07	0,007	0,008
14/07/2005	5,18E-07	4,68E-07	0,016	0,016
15/07/2005	5,06E-07	4,57E-07	0,015	0,016
16/07/2005	4,64E-07	4,19E-07	0,014	0,015
17/07/2005	5,31E-07	4,79E-07	0,016	0,017
18/07/2005	1,60E-06	1,44E-06	0,048	0,050
19/07/2005	8,03E-07	7,25E-07	0,024	0,025

En la estación de la Merced según las concentraciones encontradas no se presenta un índice de peligro significativo ya que todos se encuentran por debajo de 1.

Para la estimación de riesgo cancerígeno por inhalación de Cr la EPA establece una unidad de riesgo (UR) de  $12 \text{ (mg/m}^3\text{)}^{-1}$ , teniendo en cuenta que la población de la Localidad de Puente Aranda es de 253.146 habitantes se calculó el riesgo poblacional. Los resultados se presentan en las tablas 33 y 34.

A continuación se presenta una muestra de cálculo para el primer día en la estación del Invima:

- Riesgo individual

$$RI = UR \cdot \text{concentración } (\mu\text{g/m}^3)$$

$$RI = 12 \text{ (mg/m}^3\text{)}^{-1} \cdot 0.00057 \text{ mg/m}^3$$

$$RI = 6.87\text{E-}03$$



- Riesgo poblacional

$RP = RI * \text{población expuesta}$

$RP = 6.87E-03 * 253.146$

$RP = 1739.097$

Tabla 33. Riesgo cancerígeno para Cr en el Invima durante el periodo de muestreo.

Riesgo cancerígeno para Cr en el Invima		
Fecha	Individual	Poblacional
23/06/2005	6.87E-03	1739.097
24/06/2005	5.72E-04	144.851
25/06/2005	8.94E-04	226.330
26/06/2005	3.54E-03	896.042
27/06/2005	2.34E-03	592.970
28/06/2005	2.81E-03	712.361
29/06/2005	1.19E-03	301.253
30/06/2005	3.29E-03	831.749
03/07/2005	3.73E-03	945.092
04/07/2005	4.73E-03	1198.536

Los valores de riesgo poblacional indican el número de casos de cáncer pulmonar, atribuibles a la exposición al cromo, que se pueden presentar sobre la población expuesta a ciertos niveles de contaminación de por vida.

En la estación del Invima el máximo número de casos que se pueden presentar es de 1740 en el total de la población de Puente Aranda, debido a la concentración del metal en el aire ( $0,57\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Tabla 34. Riesgo cancerígeno para Cr en la Merced durante el periodo de muestreo.

<b>Riesgo cancerígeno para Cr en la Merced</b>		
<b>Fecha</b>	<b>Individual</b>	<b>Poblacional</b>
09/07/2005	1.89E-02	4796.962
10/07/2005	6.17E-03	1562.200
11/07/2005	1.20E-02	3046.567
12/07/2005	4.79E-03	1211.561
14/07/2005	6.75E-03	1709.803
15/07/2005	6.53E-03	1652.111
16/07/2005	5.61E-03	1420.687
17/07/2005	5.81E-03	1470.565
18/07/2005	1.07E-02	2708.772
19/07/2005	8.26E-03	2090.570

Debido a las altas concentraciones de metal encontradas en la estación de la Merced el riesgo poblacional es más alto y se podrían presentar hasta 4797 casos de cáncer pulmonar (para una concentración de  $1,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en el total de la población de la localidad de Puente Aranda.

Al comparar los riesgos en las dos estaciones se encontró que para la estación de la Merced el riesgo cancerígeno es mayor que en el Invima, pero el índice de peligro (riesgo no cancerígeno) es menor, esto se debe a que al determinar el riesgo no cancerígeno es necesario calcular la dosis de inhalación de contaminantes en aerosoles y para esto se necesita la relación (mg de metal/kg de partículas), la cual es menor en la estación de La Merced. El riesgo cancerígeno

es mayor en la Merced ya que este se calcula en base a las concentraciones de metales encontradas y estas son mayores en esta estación.<sup>1</sup>

La Secretaria Distrital de Salud no reporta datos en los cuales se relacione las tasas de morbilidad y mortalidad en la Localidad de Puente Aranda con la presencia de metales pesados en el aire.

---

<sup>1</sup> En la relación (mg de metal/Kg de partículas) los Kg de partícula no representan el 10% del peso total del filtro (como debería ser) ya que las tiras (10% del área del filtro) para el análisis fueron pesadas, esta relación no se tuvo en cuenta para el cálculo de la concentración de metales sino la metodología establecida por la EPA en la cual se asume el peso de la tira como el 10% del peso total del filtro (razón por la cual las concentraciones son mayores en la Merced)

## 13 CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se identificaron las actividades industriales que son fuentes de emisión generadoras de los metales pesados hierro, cromo, cobre, cinc y plomo en partículas respirables en la Localidad de Puente Aranda y de esta manera se proporciona una herramienta práctica a las autoridades ambientales, a los sectores industriales involucrados, al sector salud y a la comunidad para ejercer un debido control sobre las fuentes potencialmente contaminantes y para identificar los riesgos sobre la salud humana.

Entre las principales actividades industriales de la zona asociadas a la presencia de metales pesados se encuentra la fundición secundaria de metales no ferrosos como el aluminio, cobre y plomo, así como la combustión de carbón en las actividades de la zona. Las emisiones vehiculares representan un aporte importante a las emisiones de algunos metales estudiados como el cobre y el cromo.

Según el inventario de fuentes fijas de la Localidad de Puente Aranda se encontró que la mayoría de las industrias generadoras de metales pesados se encuentran ubicadas cerca de la estación de La Merced lo cual podría explicar las concentraciones de metales pesados encontradas, que para la mayoría de los metales son más altas que para la estación del Invima.

Las concentraciones de metales pesados más altas encontradas en el presente estudio corresponden a hierro y plomo. Con respecto al hierro las concentraciones se deben principalmente a que este es un metal que se encuentra en la corteza terrestre y adicionalmente en algunos procesos industriales de la zona de estudio, como la fundición secundaria de hierro y acero. La presencia de plomo se asocia a

diversas actividades industriales principalmente a los hornos de fundición y a la fabricación de artículos de vidrio.

El número de determinaciones efectuadas de metales pesados en el presente estudio no permite hacer una comparación con la norma local de calidad del aire para metales pesados ya que se requieren datos anuales. Sin embargo al comparar las concentraciones encontradas con algunos estudios en zonas industriales a nivel nacional e internacional se observa que algunos metales como el plomo, el hierro y el cinc poseen concentraciones más altas, lo cual sugiere que debe ejercerse un mayor control sobre las distintas fuentes de emisión de la zona industrial de Puente Aranda, ya que los metales pesados se consideran peligrosos.

Las correlaciones entre metales mas altas se presentaron entre el hierro y el cromo en la estación de la Merced y entre el cobre y el hierro, lo que indica que estos metales podrían proceder de la misma fuente de emisión o que las fuentes que emiten estos contaminantes operan de manera relativamente constante.

La determinación de metales pesados en partículas respirables y el conocimiento sobre las características químicas del material particulado son una herramienta importante para estudios posteriores sobre la relación existente entre algunas enfermedades en la población más vulnerable y la presencia de metales en la zona.

El riesgo poblacional es una proyección probabilística de la incidencia del efecto en la población expuesta de por vida. Lo práctico del resultado es que el dato da una idea objetiva acerca de la magnitud actual del riesgo y que podría ser real si las condiciones se mantuvieran muy estables por mucho tiempo en el futuro; además, es una modalidad para evaluar comparativamente las variaciones del riesgo a lo largo del tiempo según como evolucionen las condiciones locales tanto

en cuanto a nivel de contaminación como a tamaño de la población expuesta. Esta proyección es un hecho real en ciudades que están en permanente crecimiento y que incrementan sus fuentes emisoras de carcinógenos.

## 14 RECOMENDACIONES

Se recomienda tomar como punto de partida este tipo de estudios en investigaciones posteriores sobre la relación de metales pesados en aerosoles y las enfermedades que presenta la población más vulnerable, debido a los efectos nocivos que generan los metales pesados sobre la salud.

Debido a que el limitado número de datos de concentración de metales pesados obtenidos en el presente estudio no permite hacer una comparación con la norma local de calidad del aire para metales pesados, se recomienda realizar periodos de muestreo más prolongados y en distintas situaciones meteorológicas (periodos secos y de precipitación).

Con el fin de comparar el comportamiento de las concentraciones de metales pesados entre las estaciones de muestreo, es recomendable realizar este tipo de estudios simultáneamente en cada una de las estaciones.

Con el fin de generar estimaciones de riesgo cancerígeno y no cancerígeno en la salud por la exposición a metales pesados es importante que las autoridades de salud generen concentraciones de referencia de los metales pesados con el objeto de establecer recomendaciones precisas sobre efectos en salud pública.

Es recomendable realizar estimaciones de riesgo continuas que permitan obtener información veraz sobre la incidencia de las sustancias peligrosas a las que se encuentran expuestos los habitantes de un lugar.

En este tipo de estudios es importante tener en cuenta la población flotante de la zona con el fin de estimar riesgos en la salud con mayor precisión, acordes a la realidad del sector.

Dado a que la utilización de filtros de fibra de vidrio en el procedimiento de extracción y determinación de metales no es confiable para algunos metales como el cinc debido a su alto contenido en el filtro blanco, es recomendable utilizar filtros de cuarzo con el fin de obtener datos representativos.

Es recomendable realizar un mantenimiento periódico a los equipos de muestreo con el fin de evitar inconvenientes técnicos durante el periodo de muestreo.



## BIBLIOGRAFIA

Alcaldía Mayor de Bogotá 2000. *Agendas Ambientales Locales, Localidad 16, Puente Aranda*. 18-24, Bogotá, Colombia.

Allen A., Nemitz E., Shia J., Harrison M., Greenwood J. 2001. *Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom*. School of Earth Sciences and Geography, Kingston University, Kingston upon Thames. United Kingdom.

Amador Muñoz Omar; Delgado Rodríguez Alfredo; Villalobos Pietrini Rafael; Munive Colin Zenaida; Ortiz Marttelo Raquel; Díaz González Gilberto; Bravo Cabrera José Luís y Gómez Arroyo Sandra. *Partículas suspendidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y mutagenicidad en el Suroeste de la Ciudad de México*, 2001.

Aristizábal, Gustavo 1997. *Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda*. Universidad del Bosque, Secretaría de Salud del Distrito, Bogotá, Colombia.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) 1998. *U.S. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services*, Atlanta, EEUU.

ATSDR 2005. *Tox Faqs for heavy metals*. <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts13.html>

Baéz, A., García R. y Belmont R. 2001. *Trace heavy elements in rain water collected in México city*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Bravo A., Sosa E. y Torres J. 1992. *Criterios y metodologías para medir la calidad del aire*. Comisión Nacional de Derechos Humanos, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, México.

Cárdenas C. 2003, *Estudio exploratorio de la exposición de trabajadores ambulantes a las emisiones vehiculares en inmediaciones de la Universidad Nacional de Colombia*, Bogotá, Colombia.

Castillejos M. 1999. *Caracterización de las circunstancias clínicas y epidemiológicas que rodean las muertes en días de alta y baja concentración de partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) y otros contaminantes atmosféricos en la zona suroeste del área metropolitana de la ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana de México. México.

Centro de Información Sobre Contaminación del Aire para la Frontera entre México y Estados Unidos. 1998, *Plan de Red de Monitores del Aire Ambiente Para la Ciudad de Acuña y Piedras Negras*. México.

CEPIS. 2000. *Curso de autoinstrucción Evaluación del Riesgo asociado a contaminación del aire* [www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/riesgo/index.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/riesgo/index.html)

DANE 1998. *Clasificación Industrial Internacional Unificado para Colombia*, CIIU REV3 A.C. Colombia.

DAMA. 2005. *Informe mensual de la Red de Calidad del Aire de Bogotá de junio y julio*. Bogotá, Colombia.

REDAIRE 1996. *Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de los Valles de Aburrá y San Nicolás*. Boletín 5. Ed especial, Medellín, Colombia.

DAMA. 2001. Inventario de fuentes fijas de las localidades de la ciudad de Bogotá. Puente Aranda, Bogotá, Colombia.

DAMA. 2003. Resolución 1208. Bogotá, Colombia.

EPA. 1991. *Control Technologies for Hazardous Air Pollutants. Handbook*. EEUU.

EPA. 1999. *Method IO-3.1, Selection, preparation and extraction of filter material*. EEUU.

EPA. 2002. *Compilation of Air Pollutants Emission Factors, AP-42, 5th ed., Volume I: Stationary Point and Area Sources*. EEUU.

EPA, 2006. *Integrated Risk Information System*. <http://www.epa.gov/iris/>

Fang G., Cheng N., Yuh-Shen W., Vicky W., Peter P., Ding-Guor Y., Shun-Chin C. y Chia-Chium C. 2000. *The study of one and coarse particles, and metallic elements for the daytime and night-time in a suburban area of central Taiwan, Taichung*. Department of Environmental Engineering and Health, Hungkuang Institute of Technology, Sha-Lu, Taichung. Taiwan.

Fang G., Cheng N., Yuh-Shen W., Vicky W., Peter P., Ding-Guor Y., Shun-Chin C. y Chia-Chium C. 2002. *Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> aerosols at a farm sampling site in Taiwan, Taichung*. Institute of Technology, Sha-Lu, Taichung, Taiwan.

Fergusson J. 1990. *The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects*. Pergamon Press, New Zealand.

Gómez, Juan P. 1998. *Instalación de una estación de monitoreo de calidad de aire en el Cítec*. Trabajo de grado, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Mohanraj R. 2002. *Heavy metals in Airborne Particulate Matter of Urban Coimbatore*. Coimbatore, India.

Nasralla, M y Ali E 1985. *Investigation of heavy metals in urban soil and Cairo street dust*. Proceeding of international conference on heavy metals in the environment, Athens.

Pachón J. 2004. *Estudio exploratorio de la concentración de sustancias peligrosas en partículas respirables de cuatro municipios de Cundinamarca*, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Páez García 1998. *Determinación de metales pesados en las partículas del aire*. Trabajo de grado (MSc Ingeniería Civil), Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia.

Perkin Elmer, Instrument. 2000. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry*. Singapore

Roa Ovalle M. 1999. *Medición de metales en las partículas del aire*. Trabajo de grado (MSc Ingeniería Civil), Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.

Sandoval Y., Olaya L 2005. *Determinación del factor de correlación existente entre los diferentes tamaños de material particulado en dos zonas de estudio de la localidad de Puente Aranda de Bogotá*. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Secretaría de Salud 1998. *Diagnóstico local con participación social de la localidad de Puente Aranda*, Bogotá, Colombia.

Usero J., Rosa F., Ternero M. y Gracia I. 1998. *A determination of the sources in the Seville urban aerosol*. International Journal of Environmental Analytical Chemistry 33,233-244.

Vallero, Daniel. 2004. *Environmental contaminants: assessment and control*. Elsevier Academic Press. USA

Warner P. 1981. *Análisis de los contaminantes del aire*. Ed. Paraninfo, Madrid, España.

WHO 1987. *Air Quality Guidelines for Europe*. WHO Regional Publications, European Series No. 23, World Health Organization, ROE; Copenhagen. ISBN 92-890-1114-9

## **ANEXO A**

### **PROCEDIMIENTO DE MUESTREO**

#### **1. Traslado de equipos**

El traslado de los equipos al punto seleccionado para el muestreo se realizó en un vehículo con platón donde se garantizaba la correcta posición de estos, asegurando así que los equipos no se estropearan en el trayecto.

Deben permanecer bien asegurados para sostenerse y evitar así movimientos bruscos de los equipos, se recomienda amarrarlos con manilas resistentes.

En el primer punto de muestreo que se ubicó en las instalaciones del INVIMA, el acceso al lugar en donde se seleccionó llevar a cabo el muestreo era reducido por lo que dificultó el paso de los equipos por este acceso, por esta razón fue necesario subirlos con la ayuda de manilas.

El traslado se realizó para ambos puntos en el mismo vehículo para guardar así las mismas precauciones a la hora del transporte.

#### **2. Manipulación de filtros**

Es importante realizar una revisión visual de los filtros a contra luz para verificar que no tengan ninguna imperfección evitando así alguna posible fuga en el muestreo. Posteriormente se realiza una identificación del filtro con una pequeña codificación en cada uno de estos en dos orillas opuestas de la cara que no va a ser expuesta a la muestra.

### 3. Acondicionamiento

El acondicionamiento de los filtros se realizó en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Salle, en donde se ubicaban el desecador y la balanza analítica. Las condiciones ambiente del laboratorio garantizaban que el desecador mantuviera una humedad por debajo del 50% y una temperatura de 25 °C, ideal para retirar la humedad presente en los filtros antes del pre y post-pesaje.

Según los estándares de la EPA, los filtros para cada determinación de la concentración de material particulado tienen diferentes condiciones por lo que obliga a que los tiempos en el desecador sean distintos como lo explica la siguiente tabla

Tabla. Especificaciones de muestreo

Contaminante	Método de análisis	Principio de Operación	Material del Filtro	Tiempo desecador
PST	Gravimétrico	Muestreador de alto volumen	Fibra de vidrio	24 horas
PM <sub>10</sub>	Gravimétrico	Muestreador de alto volumen con cabezal de separación	Cuarzo	48 horas
PM <sub>2.5</sub>	Gravimétrico	Muestreador de bajo volumen	Teflón	48 horas

Fuente: EPA, 2005

### 4. Pesaje de filtros

El pesaje de los filtros se realizó cada día con el filtro sin muestra, luego de haber cumplido el tiempo inicial en el desecador como lo muestra la tabla anterior, para

conocer el peso del filtro sin muestra, luego de haberse cumplido el periodo de muestreo, se lleva otras 24 horas en el desecador y se realiza el pesaje final del filtro con muestra y libre de humedad.

Se presentó un inconveniente con la balanza analítica ya que ésta no se encontraba en una cámara de aislamiento ideal para realizar estos pesajes que necesitan tener el mayor grado de exactitud posible. Por otro lado la balanza analítica del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Salle no tenía la dimensiones apropiadas para realizar el normal pesaje del filtro, obligando así a doblar el filtro sin muestra lo que no es recomendable.

Para eliminar posibles inexactitudes en el proceso de pesaje de los filtros con o sin muestra se realizó un cálculo del porcentaje de error el cual consistía en pesar mas de una vez el filtro hasta que la diferencia de los pesos estuviera por debajo el 1.5 por mil de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{P1 - P2}{P1} * 1000 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

E= Error relativo de una serie de valores obtenidos por una misma persona, no debe ser mayor de 1.5. .

P1= El mayor valor obtenido entre las dos pesadas sucesivas

P2= El menor valor obtenido entre las dos pesadas sucesivas

Con lo que se selecciona el menor de los dos pesos del filtro.

## **5. Traslado de filtros**

Para garantizar un buen manejo de los filtros del laboratorio al lugar del muestreo se optó por realizarlo en sobres de manila rotulados con anterioridad, esto con el fin de no perjudicar posteriores análisis químicos que se le realizaran a la muestra.



## CALIBRACIÓN

### 1 Requerimientos Generales

Se requiere la calibración del medidor de flujo para establecer la trazabilidad del flujo subsecuente a un estándar primario. Un estándar de tasa de flujo calibrado contra un estándar de flujo o de volumen primario debe ser usado para calibrar y verificar la exactitud del sistema de medición de flujo.

La discriminación del tamaño de partícula por separación inercial requiere que sean mantenidas algunas velocidades específicas en el sistema interno del aire del muestreador. Así el flujo de aire debe ser mantenido durante el periodo de muestreo de acuerdo a las especificaciones de flujo del fabricante. Las tasas de flujo de diseño son asumidas como las tasas de flujo reales medidas bajo condiciones de temperatura y presión reales ( $Q_a$ ). Por el contrario las concentraciones de masa de  $PM_{10}$  son computadas usando las tasas de flujo corregidas a las condiciones de referencia de la EPA ( $Q_{std}$ )

### 2. Procedimiento

Los procedimientos para la calibración de los muestreadores de alto volumen para  $PM_{10}$  es el siguiente

Conectar:

- ✱ El patrón de transferencia de velocidad de flujo a la entrada del medidor de alto volumen, en este caso fue un patrón de discos.
- ✱ El manómetro para medir la presión a la entrada del medidor del volumen patrón. Lo que se denomina patrón de diafragma
- ✱ El orificio del manómetro a la tapa en el patrón de transferencia.

Es importante verificar que no haya fugas, confirmando que las conexiones estén bien ajustadas con el fin de evitar pérdidas en la caída de presión.

Con el motor del medidor de alto volumen ya en funcionamiento, se dispuso a observar cualquier cambio en las lecturas de los manómetros. Las lecturas deben permanecer constantes, si la lectura se altera es porque existe una fuga. Se regula la velocidad de flujo apropiado, por medio de una resistencia de flujo variable en el patrón de transferencia en este caso los discos. Se toma las variaciones de presión o variaciones de velocidad por lo menos cinco veces distintas lo que indica cinco velocidades de flujo diferentes (LMD y LMe), distribuidos de manera uniforme, de los cuales por lo menos tres deben caer dentro del rango especificado para la velocidad de flujo ( $1.1$  a  $1.7 \text{ m}^3/\text{min.}$ ).

Cabe mencionar que la presión de diafragma y de estancamiento son inversamente proporcionales, lo que significa que en el momento de tomar la lectura mientras una va disminuyendo la otra va aumentando.

**NOTA:** Se recomienda cada vez que un Muestreador de alto volumen vaya a ser utilizado para la determinación de la concentración de material particulado, ser calibrado preferiblemente utilizando un filtro limpio, para evitar que al motor llegue material particulado.

## **OPERACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL MONITOREO**

### **1. Toma de muestras $\text{PM}_{10}$**

Previamente a la selección los puntos mas representativos y que se adaptaran a los criterios establecidos para la puesta en marcha del muestreo; además de haber realizado los pasos previos de acondicionamiento y manipulación de los filtros para la toma de muestras de  $\text{PM}_{10}$ , con los filtros ya en el lugar de muestreo,

donde se encuentra los equipos calibrados, se dispone a continuar con el muestreo.

Para iniciar la etapa de toma de muestras, hay que verificar que el flujo de energía sea constante y que no corra el riesgo de ser desconectado.

Hay que anotar que es importante realizar en el sitio de muestreo una revisión visual del estado del equipo y sus partes, para verificar si está operando normalmente o si existe alguna alteración en su funcionamiento.

Con todas estas verificaciones previas, se continua con la toma de muestras, primero se levanta la cubierta de la carcasa del muestreador, se instala en filtro en el portafiltros, se asegura toda la manipulación usando guantes de látex y maltratando lo menos posible al filtro, cabe aclarar que hay que tener en cuenta en colocar el filtro con la identificación previamente hecha, con la cara hacia abajo. Se asegura el filtro ajustando las mariposas en sentido diagonal, ahora se cierra y asegura la cubierta, para evitar que lleguen cuerpos extraños al filtro.

Se inicia el periodo de 24 horas  $\pm$  1 de toma de muestra de partículas suspendidas totales, suministrándole fluido eléctrico al muestreador anotando la hora de inicio del periodo, se deja transcurrir alrededor de 5 minutos hasta que logre el motor la temperatura de operación, en este momento se dispone para la toma de datos, registrando la lectura del indicador de flujo, que en el caso del presente estudio se realizó con un manómetro que arrojaba el dato de la presión en pulgadas de agua, también se tomaba el dato de la presión barométrica y la temperatura ambiente. Los datos de presión atmosférica y la temperatura ambiente se tomaron de la lectura que arrojaba el equipo de bajo volumen PM<sub>2.5</sub>.

El equipo de PM<sub>10</sub> contaba con un temporizador que nos garantizaba un periodo de 24 horas, este se accionaba antes de comenzar la toma de muestra

Se volvía a tomar los datos del indicador de flujo (manómetro), cinco minutos antes de finalizar el periodo, se tomaban nuevamente los datos de presión barométrica y temperatura ambiente.

Los datos obtenidos durante el muestreo se registraban en el siguiente formato.

Tabla. Formato toma de muestras

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	ESTACIÓN			Nº	EQUIPO			CONTAMINANTE		
FECHA	D/M/A	D/M/A	D/M/A	D/M/A	D/M/A	D/M/A	D/M/A	D/M/A	D/M/A	D/M/A
PARAMETRO										
FILTRO SIN USO N.										
ESTADO FILTRO										
PREVIAMENTE DESECADO										
PESO FILTRO SIN USAR										
ESTADO PORTAFILTROS										
HORA INICIAL										
HORA FINAL										
FILTRO USADO Nº										
FLUJO INICIAL										
FLUJO FINAL										
VELOCIDAD										
TEMPERATURA										
PRESION										
CONDICIONES METEOROLOGICAS										
INTERFERENCIAS										
PESO FILTRO USADO										

Fuente: Nubia Garzón B., Maria Cristina Moncayo R. y Julieta González, 2003

Al apagar el equipo, se anotaba la hora de finalización del muestreo para conocer su duración. En el caso de  $PM_{10}$ , el equipo contaba con un horómetro lo que nos indicaba el tiempo exacto de toma de muestra.

Con el equipo ya apagado, se abría la cubierta de la carcasa, se retiraba el filtro del portafiltros, manipulando con guantes de látex y tomándolo por las puntas con unas pinzas para evitar maltratarlo o contaminarlo, se retiraban cuerpos extraños que no hacían parte del  $PM_{10}$  como insectos y hojas, se doblaba el filtro para evitar pérdidas de muestra, primero se doblaba el filtro por la mitad teniendo cuidado que solo las partes con muestra quedaran en contacto.



El filtro era almacenado en un sobre de manila limpio e identificado, para ser transportado al laboratorio, en donde se acondicionaba en el desecador por otras 24 horas; hay que recordar que además de los datos que se tomaban en campo, también se tomaba nota de otros factores como condiciones meteorológicas, incendios y tormentas de polvo cercanas que pueden influir en el resultado.

Fuente: Sandoval y Olaya., 2005

## ANEXO B

PROCEDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE METALES		
<b>Objetivo</b>	Extraer elementos metálicos presentes en los filtros de PM <sub>10</sub> utilizados en los muestreos de calidad del aire	
<b>Materiales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución HNO<sub>3</sub>/HCl (5,55%:16.75%)</li> <li>• Agua desionizada</li> <li>• Corta filtros</li> <li>• Máscaras</li> <li>• Guantes</li> <li>• Pipetas 10ml, 30ml</li> <li>• Vasos plásticos 50ml</li> <li>• Balones aforados 50ml</li> <li>• Embudos de vidrio</li> <li>• Filtros de agua</li> <li>• Estufas</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Recipientes plásticos 50ml</li> </ul>	
<b>Procedimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cortar tira del filtro (10% del área total)</li> <li>2. Pesar tira</li> <li>3. Adicionar 30ml de solución (HNO<sub>3</sub>/HCl)</li> <li>4. Calentar (baño de María) a 90°C durante 1h</li> <li>5. Dejar enfriar durante 30min y adicionar 20ml de agua desionizada</li> <li>6. Filtrar</li> <li>7. Llevar a volumen de 50ml</li> <li>8. Leer en EAA</li> <li>9. Repetir el procedimiento para la misma tira del filtro cuando sea necesario.</li> <li>10. Realizar el mismo procedimiento para un filtro blanco</li> </ol>	
<b>Recomendaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavar todos los materiales plásticos con dextrán y agua, y purgarlos con solución ácida.</li> <li>• Utilizar máscara con filtros para vapores inorgánicos.</li> <li>• Utilizar elementos de protección personal</li> <li>• Realizar lecturas a filtros humedecidos con concentraciones conocidas de metal con el fin de determinar el porcentaje de recuperación en el procedimiento.</li> </ul>	
<b>Elaborado por</b>	Luisa Fernanda Pérez Fadul Liliana Hernández Hernández Revisado por: Jorge E. Pachón	

## ANEXO C

PROCEDIMIENTO DE LECTURA DE MUESTRAS EN EL EAA		
<b>Objetivo</b>	Determinar la concentración de metales en mg/L de las muestras extraídas de los filtros de PM <sub>10</sub>	
<b>Materiales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Soluciones estándar de los metales a determinar para la realización de curva de calibración</li> <li>Agua desionizada.</li> </ul>	
<b>Procedimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encender UPS, EAA, PC y abrir programa (WinLab).</li> <li>2. Encender lámpara de cátodo hueco a utilizar (Cr, Pb, Cu, Fe, Zn).</li> <li>3. Ajustar energía de la lámpara (en rotación y profundidad).</li> <li>4. Ajustar posición del quemador.</li> <li>5. Introducir datos de patrones de calibración.</li> <li>6. Realizar curva de calibración para cada metal</li> <li>7. Realizar lecturas</li> <li>8. Repetir curva de calibración cada 10 lecturas.</li> <li>9. Repetir el mismo procedimiento para los filtros blancos</li> </ol>	
<b>Recomendaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ajustar la posición del quemador utilizando una tarjeta marcada con una cruz de 1cm x 1cm.</li> <li>Verificar comunicación entre el equipo y el computador</li> <li>Hacer lecturas de la concentración estándar con el fin de verificar que el equipo se encuentre correctamente calibrado (cada 5 lecturas)</li> <li>Limpiar rigurosamente el capilar entre lecturas</li> <li>Verificar que las lámparas estén apagadas una vez terminadas las lecturas</li> <li>Tener en cuenta las interferencias que se pueden presentar en la lectura de cada metal y eliminarlas siguiendo las recomendaciones que se encuentran en el manual del equipo.</li> </ul>	
<b>Elaborado por</b>	Luisa Fernanda Pérez Fadul Liliana Hernández Hernández Revisado por: Jorge E. Pachón	

## ANEXO D

### CORRELACIÓN DE PEARSON

La correlación entre dos variables refleja el grado en que las puntuaciones están asociadas. La formulación clásica, conocida como correlación producto momento de Pearson, se designa por la letra " $r_{xy}$ ".

Este tipo de estadístico puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables si ambas utilizan una escala de medida a nivel de intervalo/razón (variables cuantitativas).

La formula suele aparecer expresada como:

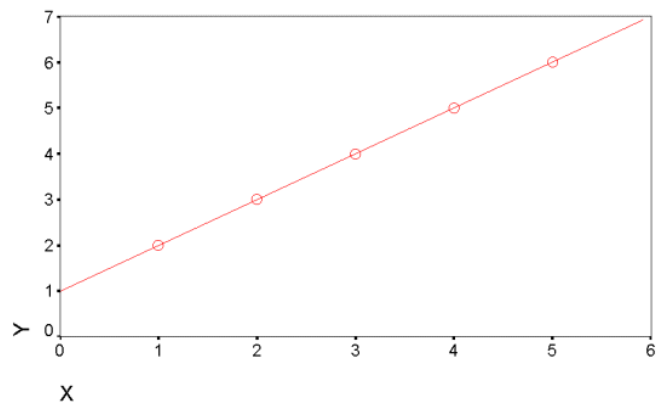
$$r_{xy} = \frac{\hat{S}_{xy}}{\hat{S}_x \hat{S}_y} = \frac{\sum_{i=1}^n z_{x_i} z_{y_i}}{n-1}$$

- La primera expresión se resuelve utilizando la covarianza y las desviaciones típicas de las dos variables (en su forma insesgada).
- La segunda forma se utiliza cuando partimos de las puntuaciones típicas empíricas.

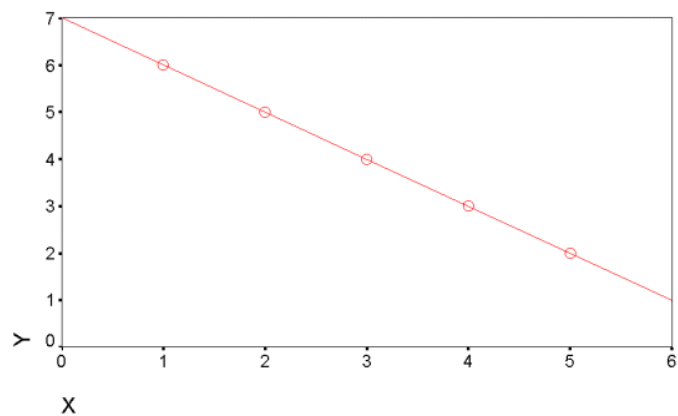
Este estadístico, refleja el grado de relación lineal que existe entre dos variables. El resultado numérico fluctúa entre los rangos de +1 a -1.

1. Una correlación de +1 significa que existe una relación lineal directa perfecta (positiva) entre las dos variables. Es decir, las puntuaciones bajas de la primera variable (X) se asocian con las puntuaciones bajas de la segunda variable (Y), mientras las puntuaciones altas de X se asocian con los valores altos de la variable Y.

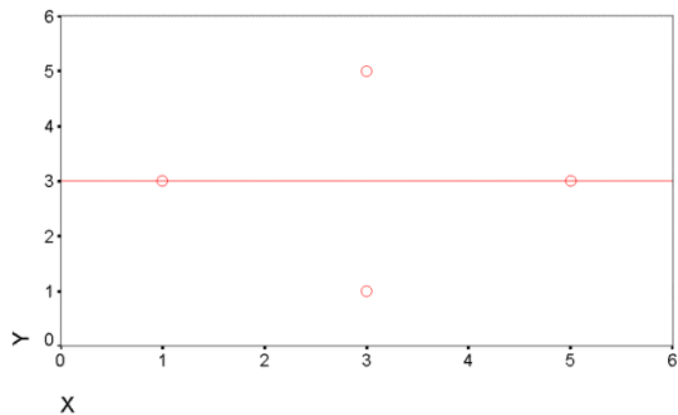




2. Una correlación de -1 significa que existe una relación lineal inversa perfecta (negativa) entre las dos variables. Lo que significa que las puntuaciones bajas en X se asocian con los valores altos en Y, mientras las puntuaciones altas en X se asocian con los valores bajos en Y.



3. Una correlación de 0 se interpreta como la no existencia de una relación lineal entre las dos variables estudiadas.



Fuente: <http://www.psico.uniovi.es.html>

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

Jurados:

---

ROSALINA GONZÁLEZ FORERO

---

GABRIEL HERRERA TORRES

Bogotá D.C. \_\_\_\_\_