



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Modelo para la evaluación de la concentración de plomo, cadmio y cromo contenidos en material particulado respirable en la localidad Los Mártires, Bogotá D.C.

Johan Alexander Álvarez Berrio

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología
Bogotá D.C., Colombia
2016

Modelo para la evaluación de la concentración de plomo, cadmio y cromo contenidos en material particulado respirable en la localidad Los Mártires, Bogotá D.C.

Johan Alexander Álvarez Berrio

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Toxicología

Director (a):
PhD. José Javier Toro Calderón

Línea de Investigación:
Toxicología Ambiental

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología
Bogotá D.C., Colombia
2016

A Dios Padre, quien a pesar de mi inconstancia jamás me ha abandonado; a mis hijos: Luciana y Tomás por su amor incondicional y por el tiempo que me cedieron para el desarrollo de esta investigación; a mi esposa por su paciencia y empuje; y a mi familia, porque con su desinteresado apoyo hicieron posible este trabajo.

¿Cómo se puede tener miedo si se está a punto de despertar? Yo también soy sólo un sueño. Mi existencia es incomprensible y ridícula. Pero nunca estuvo a mi alcance poder elegir otra. Uno no deja de ser quien es. La libertad existe siempre solo en el futuro. En el pasado ya no se puede encontrar. Nadie puede escoger otro pasado.

Michael Ende, El espejo en el espejo.

Agradecimientos

Al profesor Javier Toro, director de este trabajo por ser mi asesor permanente y retomar la dirección de la investigación luego de un punto crítico de inflexión.

A mis estudiantes, Andrea Roa, Christian Ramírez, y Laura Delgado, por su apoyo incondicional y desinteresado.

A mi estudiante y amiga Diana Cadena por su apoyo técnico en el manejo del software GVSIC.

A mi estudiante Gustavo Convers por su apoyo técnico en el manejo del software Environmental Lakes.

A mis grandes amigas y compañeras de maestría Marian Dalila Vallejo y Diana Rojas por los conocimientos compartidos y las largas horas de estudio en conjunto.

A mi madre por sus oraciones, paciencia y apoyo espiritual.

A la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás y a la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle por brindar los espacios y equipos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

A mi gran amigo y mentor el ingeniero Gabriel Herrera Torres por su apoyo incondicional en mi formación como profesional y como ser humano.

A mi amigo Ingeniero Camilo Vargas Terranova por su insistencia y seguimiento a este trabajo de investigación.

Resumen

La localidad de Los Mártires en la ciudad de Bogotá ha encontrado un punto importante de actividad industrial gracias a su potencial de desarrollo, evidenciando un crecimiento en el establecimiento de micro y pequeñas industrias, que generan emisiones de cadmio, cromo y plomo; metales pesados que pueden afectar directa o indirectamente la salud de la población, causando enfermedades respiratorias crónicas y agudas, especialmente en los grupos etarios sensibles.

Teniendo en cuenta el efecto de estas emisiones se realizó un inventario de fuentes fijas y móviles con el fin de identificar las áreas con mayor nivel de contaminación y ubicar las estaciones de monitoreo de material particulado, ubicándose dos estaciones en donde se determinaron concentraciones de PM_{10} y PST, posteriormente en el Laboratorio Especializado en análisis de elementos traza (LEAET) de la Universidad de La Salle se determinaron las concentraciones de cadmio, cromo y plomo, presentes en el material particulado a través de por plasma de acoplamiento inductivo / espectrómetro de masas ICP / MS.

Con los datos obtenidos se ejecutó el modelo de recepción Environmental Lakes, que permitió evidenciar la precipitación de los metales en los receptores cercanos a las fuentes de emisión, no obstante el modelo desarrollado demuestra que estas trazas pueden llegar a afectar a largo plazo a los niños menores de 5 años y adultos mayores de 60 años.

Palabras clave: Cromo, Cadmio, Plomo, localidad Los Mártires, Modelo de recepción, material particulado

Abstract

The location of Los Mártires in Bogota city has found an important industrial activity due to its development potential, showing a growth in the establishment of micro and small industries, which generate emissions of cadmium, chromium and lead. Heavy metals that can indirectly or directly affect the health of the population, causing chronic and acute, especially in sensitive respiratory diseases age groups.

Considering the effect of these emissions inventory of stationary and mobile sources in order to identify areas with higher levels of pollution and locate monitoring stations of particulate matter was made, placing two stations where PM_{10} concentrations were determined and PST, then in the Specialized laboratory analysis of trace elements from La Salle University concentrations of cadmium, chromium and lead, present in the particulate material through inductive plasma / mass spectrometer ICP / MS coupling were determined.

With the data reception model Environmental Lakes that allowed evidence precipitation of metals in the near emission sources receptors, was executed despite the model developed demonstrates that these traces may affect long-term children under 5 and adults over 60 years.

Keywords: Chromium, cadmium, lead, Los Mártires location, Model reception, particulate matter

Contenido

| | Pág. |
|---|-----------|
| Resumen | V |
| Lista de figuras..... | X |
| Lista de tablas | XII |
| Lista de mapas | XIII |
| Lista de fotos..... | XIV |
| Lista de ecuaciones | XV |
| Lista de Símbolos y abreviaturas..... | XVI |
| Introducción | 17 |
| 1. Marco conceptual y revisión de literatura | 19 |
| 1.1 Cadmio | 20 |
| 1.1.1 Toxicocinética | 21 |
| 1.1.2 Toxicodinamia | 23 |
| 1.1.3 Cinética Ambiental | 23 |
| 1.2 Plomo | 26 |
| 1.2.1 Toxicocinética | 26 |
| 1.2.2 Toxicodinamia | 28 |
| 1.2.3 Cinética ambiental..... | 28 |
| 1.3 Cromo..... | 30 |
| 1.3.1 Toxicocinética | 31 |
| 1.3.2 Toxicodinamia | 32 |
| 1.3.3 Cinética ambiental..... | 33 |
| 1.4 Monitoreo ambiental de material particulado..... | 35 |
| 1.4.1 Equipos de Medición Hi-Vol. | 36 |
| 1.4.2 Equipo Calibrador para Hi-vol. | 38 |
| 1.4.3 Selección de filtros | 38 |
| 1.4.4 Determinación de metales en partículas, método USEPA IO 3.5 | 40 |
| 1.5 Modelos de calidad del aire | 40 |
| 1.5.1 Environmental lakes..... | 40 |
| 2. Normatividad internacional y nacional | 43 |
| 2.1 Normas internacionales | 43 |
| 2.2 Normas nacionales | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 3. Marco Contextual Localidad Los Mártires | 46 |
| 3.1 Población. | 47 |
| 3.2 Situación en salud | 49 |
| 3.3 Malla vial | 51 |
| 3.4 Aspectos socioeconómicos | 52 |
| 3.5 Aspectos ambientales | 54 |
| 4. Justificación..... | 55 |
| 5. Objetivos | 57 |
| 5.1 General | 57 |
| 5.2 Específicos..... | 57 |
| 6. Metodología..... | 58 |
| 6.1 Inventario de fuentes de contaminación atmosférica. | 58 |
| 6.1.1 Fuentes fijas y fugitivas..... | 59 |
| 6.1.2 Fuentes móviles..... | 60 |
| 6.2 Monitoreo atmosférico..... | 60 |
| 6.2.1 Equipos e insumos | 61 |
| 6.2.2 Calibración de Equipos Muestreadores..... | 63 |
| 6.3 Muestreo material particulado. | 64 |
| 6.4 Análisis de laboratorio | 64 |
| 6.4.1 Determinación gravimétrica | 64 |
| 6.4.2 Extracción de Material Particulado (PST y PM ₁₀) | 66 |
| 6.4.3 Determinación de concentraciones de metales por ICP - MS. | 67 |
| 6.5 Análisis estadístico..... | 71 |
| 6.6 Comparación de los resultados con la normatividad..... | 71 |
| 6.7 Cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA) | 72 |
| 6.8 Modelo de calidad del aire..... | 73 |
| 6.8.1 Selección de receptores | 73 |
| 6.8.2 Ejecución del modelo..... | 75 |
| 7. Resultados | 76 |
| 7.1 Inventario de fuentes..... | 76 |
| 7.1.1 Fuentes móviles..... | 78 |
| 7.2 Concentraciones de PM ₁₀ | 80 |
| 7.3 Índice de Calidad del Aire..... | 82 |
| 7.4 Determinación de niveles máximos permisibles | 83 |
| 7.5 Modelo UNMIX..... | 83 |
| 7.6 Modelo Environmental Lakes | 85 |
| 8. Análisis de resultados | 86 |
| 8.1 Análisis estadístico..... | 86 |
| 8.1.1 Correlación de las concentraciones de PM ₁₀ con factores meteorológicos. | 86 |
| 8.1.2 Correlación estadística de las concentraciones de PST con factores meteorológicos. | 90 |
| 8.2 Concentraciones de plomo, cadmio y cromo | 93 |
| 8.3 Comparación de los resultados con la normatividad..... | 94 |
| 8.3.1 Normas internacionales | 94 |
| 8.3.2 Normas nacionales | 101 |
| 8.4 Índice de calidad del aire..... | 105 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.5 | Modelo Environmental Lakes..... | 105 |
| | Estación de monitoreo A | 105 |
| 8.5.1 | Estación de monitoreo B | 107 |
| 9. | Conclusiones y recomendaciones..... | 110 |
| 9.1 | Conclusiones | 110 |
| 9.2 | Recomendaciones | 110 |
| A. | Anexo: Pesaje de filtros y calibración de equipos..... | 113 |
| B. | Anexo: Informe de laboratorio análisis de elementos traza..... | 119 |
| | Bibliografía | 139 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1-1 Modelo toxicocinético del cadmio [11]..... | 22 |
| Figura 1-2 Modelo toxicocinético del plomo en el ser humano. [22] | 27 |
| Figura 1-3 Toxicocinética del cromo [36]..... | 31 |
| Figura 1-4 Cinética del cromo en el aire. [45]..... | 34 |
| Figura 1-5 Muestreador Hi-Vol. PST [49] | 37 |
| Figura 1-6 Muestreador Hi-Vol. PM ₁₀ [50] | 38 |
| Figura 3-1 Pirámide Poblacional de la localidad Los Mártires [64] | 47 |
| Figura 3-2 Crecimiento exponencial anual Los Mártires [65]..... | 48 |
| Figura 3-3. Índice de condiciones de vida por localidad 2003 - 2011 [66]..... | 49 |
| Figura 3-4 Consultas en el ciclo vital infancia, localidad Los Mártires junio 2014 [67]. | 51 |
| Figura 3-5. Distribución de los establecimientos según su actividad económica [71]. | 52 |
| Figura 6-1 Curva de calibración para los equipos Hi – vol. y PM ₁₀ | 64 |
| Figura 6-2. Preparación de filtros para la digestión. [83] | 67 |
| Figura 6-3 Curva de calibración patrones (Unisalle 2014)..... | 70 |
| Figura 7-1 Proporción de fuentes de emisión según su tipo [79]...... | 77 |
| Figura 7-2 Proporción de fuentes de emisión por tipo de industrias [79] | 77 |
| Figura 7-3 Contribución de PM ₁₀ y PST según la fuente de emisión. | 84 |
| Figura 7-4 Contribución de Cd, Pb y Cr según la fuente de emisión | 84 |
| Figura 8-1 Dispersión de los valores de PM ₁₀ y temperatura | 87 |
| Figura 8-2 Dispersión de los valores de PM ₁₀ y velocidad del viento..... | 88 |
| Figura 8-3 Rosa de vientos localidad Puente Aranda [68]...... | 89 |
| Figura 8-4 Dispersión de los valores de PM ₁₀ y dirección del viento | 89 |
| Figura 8-5 Dispersión de los valores de PST y temperatura..... | 91 |
| Figura 8-6 Dispersión de los valores de PST y velocidad de viento | 91 |
| Figura 8-7 Dispersión de los valores de PST y dirección del viento | 92 |
| Figura 8-8 Comparación de las concentraciones de PM ₁₀ anual con Niveles Límites Permisibles según la USEPA | 94 |
| Figura 8-9 Comparación de las concentraciones de PM ₁₀ diario con Niveles Límites Permisibles según la USEPA | 95 |
| Figura 8-10 Comparación de las concentraciones de PM ₁₀ anual con Niveles Límites Permisibles según la OMS | 95 |
| Figura 8-11 Comparación de las concentraciones de PM ₁₀ diaria con Niveles Límites Permisibles según la OMS | 96 |

| | |
|---|-----|
| Figura 8-12 Comparación de las concentraciones de PM ₁₀ anual con Niveles Límites Permisibles según la UE | 97 |
| Figura 8-13 Comparación de las concentraciones de PM ₁₀ para 55 días con Niveles Límites Permisibles según la UE | 97 |
| Figura 8-14 Comparación de las concentraciones de plomo trimestral con los Niveles Límites Permisibles según la USEPA | 98 |
| Figura 8-15 Comparación de las concentraciones de plomo anual con los Niveles Límites Permisibles según la OMS | 99 |
| Figura 8-16 Comparación de las concentraciones de plomo anual con los Niveles Límites Permisibles según la UE | 99 |
| Figura 8-17 Comparación de las concentraciones de cadmio anual con los Niveles Límites Permisibles según la OMS y la UE..... | 100 |
| Figura 8-18 Comparación de las concentraciones de cromo anual con los Niveles Límites Permisibles según la OMS | 100 |
| Figura 8-19 Comparación de las concentraciones de PST anual con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010 | 101 |
| Figura 8-20 Comparación de las concentraciones de PST diario con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010 | 101 |
| Figura 8-21 Comparación de las concentraciones de PM ₁₀ anual con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010 | 102 |
| Figura 8-22 Comparación de las concentraciones de PM ₁₀ diario con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010 | 102 |
| Figura 8-23 Comparación de las concentraciones de plomo anual con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010 | 103 |
| Figura 8-24 Comparación de las concentraciones de plomo diario con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010 | 104 |
| Figura 8-25 Comparación de las concentraciones de cadmio anual con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010 | 104 |
| Figura 8-27. Dispersión de cromo para receptores estación A | 106 |
| Figura 8-28 Dispersión de plomo para receptores estación A..... | 106 |
| Figura 8-29 Dispersión de cadmio para receptores estación A..... | 107 |
| Figura 8-30 Dispersión de cromo para receptores estación B | 107 |
| Figura 8-31 Dispersión de cadmio para receptores estación B..... | 108 |
| Figura 8-32 Dispersión de plomo para receptores estación B..... | 108 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1-1 Características de los tipos de filtro para medidores Hi Vol [53]. | 39 |
| Tabla 1-2 Datos de entrada del modelo [56] | 41 |
| Tabla 2-1 Estándares de calidad del aire de la USEPA, OMS y UE [58, 61] | 44 |
| Tabla 2-2 Niveles máximos permisibles Resolución 610 de 2010 | 44 |
| Tabla 3-1 Distribución de Atenciones del servicio de Consulta Externa y Hospitalización en la ESE Hospital Centro Oriente año 2012 [64] | 50 |
| Tabla 3-2 Estructura empresarial localidad de Los Mártires por total de activos [66]. | 53 |
| Tabla 6-1. Clasificación industrias localidad Los Mártires por código CIU [79] | 59 |
| Tabla 6-2. Características de los equipos de muestreo. | 62 |
| Tabla 6-3 Condiciones de temperatura y humedad relativa según el procedimiento 40 CFR 50 para PST y PM ₁₀ [81] | 65 |
| Tabla 6-4 Especificación técnica ICAP 6300. [84]. | 69 |
| Tabla 6-5 Índice de Calidad del Aire [85]. | 72 |
| Tabla 6-6 Puntos de corte del ICA para PM ₁₀ [86]. | 73 |
| Tabla 7-1 Inventario parcial de industrias que emiten Cr, Cd y Pb en la localidad [79]. | 76 |
| Tabla 7-2 Volumen de vehículos por estación de aforo. [80] | 78 |
| Tabla 7-3 Clasificación de vehículos que transitan en la localidad según su tipo. [79] | 79 |
| Tabla 7-4 Concentraciones de PM10 estaciones de muestreo. | 80 |
| Tabla 7-5 Concentraciones de Cd, Cr y Pb reportadas por IPC. | 81 |
| Tabla 7-6 Concentraciones de Cd, Cr y Pb por estación de muestreo. | 82 |
| Tabla 7-7 Niveles Máximos Permisibles según la Resolución 610/2010 | 83 |
| Tabla 7-8 Proporción de fuentes fijas y fuentes móviles en la Localidad. | 83 |
| Tabla 8-1 Datos de correlación estadística de PM10 con temperatura. | 87 |
| Tabla 8-2 Datos de correlación estadística de PM ₁₀ con velocidad del viento. | 88 |
| Tabla 8-3 Datos de correlación estadística de PM ₁₀ con dirección del viento. | 90 |
| Tabla 8-4 Datos de correlación estadística de PST con Temperatura. | 90 |
| Tabla 8-5 Datos de correlación estadística de PST con velocidad de viento. | 92 |
| Tabla 8-6 Datos de correlación estadística de PST con dirección de viento. | 92 |
| Tabla A-1 Pesaje de filtros previo al muestreo | 113 |
| Tabla A-2. Procedimiento para la calibración de equipos PM ₁₀ y PST [49]. | 114 |
| Tabla A-3. Datos de calibración equipo PM ₁₀ | 116 |
| Tabla A-4 Datos de calibración equipo PST | 117 |
| Tabla B-5. Código de Muestras Y Peso Final, De Cada Estación De Muestreo | 120 |
| Tabla B-6. Resultados de análisis | 121 |
| Tabla B-7. Concentración de metales | 122 |

Lista de mapas

| | |
|---|----|
| Mapa 3-1 Localización localidad Los Mártires [63] | 46 |
| Mapa 3-2 Malla Vial localidad Los Mártires [70]..... | 52 |
| Mapa 6-1 Ubicación estaciones de muestreo. | 61 |
| Mapa 6-2 Localización de receptores | 75 |

Lista de fotos

| | |
|---|----|
| Foto 6-1 Equipos High Vol. | 62 |
| Foto 6-2. Calibrador de cilindro marca Tish Environmental | 63 |
| Foto 6-3 Pesaje de filtros en balanza analítica | 65 |
| Foto 6-4 Equipo de ultrasonido para extracción en medio ácido. (Unisalle 2014)..... | 68 |
| Foto 6-5. Muestras filtradas..... | 69 |
| Foto 6-6 Equipo 6300 Laboratorio de trazas Universidad de La Salle (Unisalle 2014). ... | 70 |

Lista de ecuaciones

| | |
|---|----|
| Ecuación 6-1 Concentración Partículas Suspendidas Totales | 66 |
| Ecuación 6-2 Concentración PM10 | 66 |
| Ecuación 6-3. Volumen estándar..... | 66 |
| Ecuación 6-4 Caudal estándar | 66 |
| Ecuación 6-5. Concentración del metal | 71 |
| Ecuación 6-6. Norma Local Corregida..... | 71 |
| Ecuación 6-7 Índice de calidad del aire. | 72 |

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

| Abreviatura | Término |
|-------------------------|--|
| <i>ADN</i> | Ácido Desoxirribonucleico |
| <i>Av.</i> | Avenida |
| <i>Cd</i> | Cadmio |
| <i>CIIU</i> | Código Internacional Industrial Uniforme |
| <i>Cr</i> | Cromo |
| <i>ESE</i> | Empresa Social del Estado |
| <i>HAP</i> | Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos |
| <i>IARC</i> | International Agency for Research on Cancer |
| <i>ICA</i> | Índice de Calidad del Aire |
| <i>ICP/MS</i> | Plasma de acoplamiento inductivo / Espectrómetro de Masas |
| <i>ICV</i> | Índice de condiciones de vida |
| <i>IDEAM</i> | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales |
| <i>IDU</i> | Instituto de Desarrollo Urbano |
| <i>IED</i> | Institución Educativa Distrital |
| <i>IPCS</i> | Programa Internacional de Seguridad Química |
| <i>JICA</i> | Agencia de Cooperación Internacional del Japón |
| <i>L</i> | Litros |
| <i>LEAT</i> | Laboratorio Especializado en Análisis de Elementos Traza |
| <i>MAVDT</i> | Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial |
| <i>MFC</i> | Sistema de Flujo Másico |
| <i>mm</i> | Milímetros |
| <i>mg</i> | Miligramos |
| <i>NAAQS</i> | Estándares nacionales de calidad del aire ambiental USEPA |
| <i>Ni</i> | Níquel |
| <i>NIOSH</i> | National Institute for Occupational Safety and Health |
| <i>OSHA</i> | Occupational Safety and Health Administration |
| <i>PALSA</i> | Plan Ambiental Local de Salud Ambiental |
| <i>Pb</i> | Producto Interno Bruto |
| <i>PIB</i> | Plomo |
| <i>PM_{2,5}</i> | Material particulado menor a 2,5 micras |
| <i>PM₁₀</i> | Material particulado menor a 10 micras |
| <i>PNUMA</i> | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| <i>PST</i> | Partículas Suspendidas Totales |
| <i>RIPS</i> | Registros de Prestación de Servicios |
| <i>SDA</i> | Secretaría Distrital de Ambiente |
| <i>SDS</i> | Secretaría Distrital de Salud |
| <i>SDM</i> | Secretaría Distrital de Movilidad |
| <i>UE</i> | Unión Europea |
| <i>UPGDS</i> | Unidades Primarias Generadoras de Datos |
| <i>UPA</i> | Unidad Primaria de Atención en Salud |
| <i>UPZ</i> | Unidad de Planeación Zonal |
| <i>USEPA</i> | Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos |
| <i>VFC</i> | Sistema de Flujo Volumétrico |
| <i>Zn</i> | Zinc |

Introducción

El proceso de industrialización y el incremento del parque automotor en grandes centros urbanos del mundo han propiciado acciones tendientes a mantener una buena calidad del aire en las ciudades, con el objeto de no disminuir la calidad de vida y el bienestar de sus habitantes. Un ejemplo de ello es la ciudad de Bogotá, que para el año 2002 era considerada como la cuarta más contaminada a nivel de América del sur [1]; mientras que para el año 2011 la ciudad se ubicó en el puesto siete en cuanto a concentraciones promedio anuales de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) [2].

A pesar de los esfuerzos realizados, las concentraciones promedio anuales de material particulado menor a 2,5 micras ($PM_{2.5}$) registradas en ese mismo año sobrepasaron los límites permisibles de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de la Unión Europea (UE), ubicándola en el primer lugar en comparación con otras ciudades latinoamericanas [2].

Con este panorama, la emisión, suspensión y el transporte de material particulado ha cobrado una importancia relevante ya que estas concentraciones pueden contener trazas de metales pesados, como el cadmio, cromo y plomo; considerados como una fuente potencial de un sin número de riesgos para la salud [3]. Estos metales son aportados principalmente por fuentes industriales como la metalurgia, el oxígeno, la metalmecánica, talleres de latonería y pintura y litografías [3].

En la ciudad de Bogotá, la localidad de Los Mártires ha sufrido un creciente proceso de crecimiento industrial y comercial, contribuyendo a la generación de emisiones de Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Plomo (Pb); emitidas por fuentes fijas que en su proceso productivo emplean insumos con estos metales. En esta investigación se analizaron las concentraciones de Cd, Cr y Pb contenidas en el material particulado de la localidad de Los Mártires, a través de muestras tomadas durante 18 días, los meses de mayo y junio de 2014 en dos estaciones de muestreo instaladas en la localidad. Previo al monitoreo atmosférico se actualizó el inventario de fuentes fijas.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Especializado en Análisis de Elementos Traza (LEAET) de la Universidad de La Salle; con los resultados obtenidos se elaboró un modelo de recepción de contaminantes atmosféricos mediante el uso del software Environmental Lakes de la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos (USEPA).

Considerando que las concentraciones detectadas se encuentran por debajo de los límites permisibles, en el modelo de calidad del aire se demuestra gráficamente que los receptores más cercanos a las estaciones de monitoreo tienen una mayor incidencia debido a concentraciones altas de metales mientras que los que se encuentran más lejos presentan concentraciones bajas debido a la precipitación de los mismos.

No obstante, el postulado de exposición que afirma que la exposición a bajas concentraciones en largos periodos de tiempo genera efectos adversos a la salud citado por Repetto (2009), cobra validez con estos resultados y se presenta como un signo de alarma general teniendo en cuenta los grupos etarios sensibles presentes en la localidad.

1. Marco conceptual y revisión de literatura

A través de un modelo de recepción se pueden deducir las contribuciones del material particulado de acuerdo a los tipos de fuentes a partir de mediciones de variables múltiples de las partículas químicas y sus propiedades físicas [4]; así mismo complementan a los modelos de fuente que estiman las concentraciones de estimación de los inventarios de emisiones y la dispersión debido a las condiciones meteorológicas.

Como herramienta básica para el desarrollo de estos modelos, es necesario tomar en cuenta los Índices de calidad del aire de la USEPA [5], calculados para el área de influencia, ya que es preciso determinar las condiciones en las que un contaminante representa un riesgo para la salud humana, considerando que este índice establece cuatro niveles de riesgo, relacionando las concentraciones del contaminante y el posible riesgo para la salud. Según esta clasificación las concentraciones encontradas en la localidad Los Mártires corresponden al nivel nocivo para grupos sensibles.

De acuerdo a diversas investigaciones existe una relación entre el material particulado y la presencia de metales pesados, lo que permite que un modelo de recepción brinde instrumentos para la evaluación de la deposición de estos elementos en los distintos receptores. En Latinoamérica, quienes han trabajado más en la investigación de la relación de material particulado y la presencia de metales pesados, son el grupo Mexicano, Cubano y Chileno, quienes han evidenciado una clara relación de la contaminación del aire y la intensidad de ésta con los diferentes tipos de afecciones respiratorias.

En México, un estudio realizado con niños asmáticos, que vivían 5 Km a la redonda de la estación de monitoreo, encontró una asociación importante entre los niveles de metales pesados y PM_{10} , y una asociación marginal con niveles de ozono [4]. Un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el promedio semanal de material particulado menor de 2.5 micras se asoció con 21% de aumento en enfermedad respiratoria aguda baja. El promedio de PM_{10} en 24 horas estuvo entre 29 a $263 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para el 53 % de los días de estudio los niveles de PM_{10} excedieron la guía estándar de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En Colombia se realizó un estudio epidemiológico durante el año de 1997, tomando como población a los niños menores de cinco años que viven en un perímetro de 12 cuadras a la redonda del Centro de Salud o Unidad Primaria de Atención en Salud (UPA) de Puente Aranda y además asistieran a instituciones educativas ubicadas dentro del mismo sector [6]. Dentro de las conclusiones más relevantes del estudio cabe citar:

- La concentración de PM_{10} en la zona es alta ($98,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en comparación con el estudio llevado a cabo por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón

(JICA), en el cual no se midió PM_{10} , sino partículas suspendidas totales (PST) con un promedio de 70,2 microgramos por m^3 que correspondería a un valor de 37,1 microgramos de PM_{10} (relación de 2 a 1 entre PST y PM_{10}), de tal forma que estarían por encima de la norma de la OMS y la USEPA de $50 \mu g/m^3$ para un año con un máximo de $150 \mu g/m^3$ para 24 horas una vez al año, mientras que en el estudio se encontró un promedio de $456,79 \mu g/m^3$.

- El PM_{10} se asoció con las tasas de tos, sin que se observe relación dosis efecto.
- Aunque los niveles de NO_2 y SO_2 fueron bajos se observa la presencia de enfermedades por los mismos, pero llama la atención que los niveles altos de PM_{10} en la zona no tengan un efecto marcado en la salud de las personas del lugar.
- La alta concentración de PM_{10} en la zona, es un vehículo facilitador, para que se presenten problemas respiratorios por bajas concentraciones de NO_2 y SO_2 .

Las sustancias contaminantes que habitualmente producen afección respiratoria pueden ser biológicas o químicas (PM_{10} o $PM_{2.5}$), pero en la gran mayoría de los casos, se ha considerado erróneamente que las sustancias químicas solo son causantes de respuestas alérgicas [7], por tal motivo es de gran importancia, determinar la presencia de estos metales pesados, su cinética y comportamiento ambiental ya que la presencia de estos puede conducir a un daño en el ambiente que finalmente termina en un deterioro en la salud a nivel general.

El tamaño reducido del PM_{10} permiten el ingreso a las vías respiratorias de los seres humanos, por lo que pueden fijarse en los conductos del sistema y ocasionar graves lesiones a nivel pulmonar, alveolar o bronquial, incluso posibilitando el desarrollo de cuadros cancerosos [8] y afectaciones externas a los sistemas bióticos y abióticos de la región donde son emitidos.

Además, el material particulado cuenta con una importante área superficial, que puede permitir la adsorción de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HAP), así como metales pesados que quedan atrapados por absorción y condensación de los aerosoles formados, posterior a las emisiones de algunos procesos industriales, tales como la fundición, la combustión o los gases de exhosto de los automotores, entre otros [7]

1.1 Cadmio

El cadmio es un elemento natural de la corteza terrestre que se encuentra generalmente como mineral combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio); en general todos los suelos y rocas, (incluso el carbón y abonos minerales) contienen algo de cadmio; como fuente de emisión es común encontrarlo durante el proceso de extracción de otros metales como el cinc, plomo y cobre [9].

Al ser un metal que no se corroe fácilmente, tiene muchos usos dentro de los que se destacan la manufactura de productos de consumo como las baterías (83%), pigmentos (8%), recubrimientos electrolíticos (7%), estabilizadores para plásticos (1.2%) y las aleaciones sin hierro, instrumentos fotovoltaicos y otros usos (0.8%) [10]

Es considerado uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico: efectos adversos para el hombre y el medio ambiente, bioacumulación, persistencia en el medio ambiente, movilización a grandes distancias con el viento y en los cursos de agua [11].

De igual manera es liberado al suelo, al agua y al aire durante la extracción y refinación de metales no ferrosos, la manufactura y aplicación de abonos de fosfato, la combustión de combustibles fósiles, y la disposición e incineración de residuos sólidos puede producir la acumulación en organismos acuáticos y en cosechas agrícolas [10]

En el ambiente, el cadmio se encuentra generalmente en forma de óxido, cloruro o sulfato, en el aire está asociado a la emisión de partículas o vapores provenientes en un gran porcentaje de procesos de alta temperatura, dicha asociación permite su transporte a largas distancias en la atmósfera para ser depositado (húmedo o seco) sobre la superficie del suelo o del agua [10]. En zonas industriales puede alcanzar concentraciones que oscilan entre los 9,1 a 26,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras en el área rural su presencia varía entre 0,1 a 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [11].

1.1.1 Toxicocinética

La principal vía de absorción del cadmio es la vía gastrointestinal por ingesta de los polvos de óxido de cadmio o de sus compuestos, no obstante la vía respiratoria en comparación con las demás tiene un 88% menos de ingreso, en esta última, la exposición por inhalación de humos o vapores es una de las formas más frecuentes de ingreso al organismo. La exposición a este xenobiótico es más frecuente en el ámbito laboral, los puestos de trabajo más agresivos se hallan en la industria metalúrgica primaria de cadmio y plomo- zinc, en la producción de estabilizadores de plástico y en la fabricación de baterías de cadmio-níquel [11].

La distribución del cadmio muestra que la fracción que pasa a la sangre es de 1-2 μL de hematíes unidos a la metalotioneina, llegando al plasma en la misma proporción. Una vez en el plasma se distribuye en tres compartimientos de recambio; el primero se considera de “recambio rápido”, allí no se genera acumulación alguna. En el segundo compartimento o “compartimento de recambio medio”, se acumulan pequeñas cantidades, dejando solo que la fracción libre atravesase membranas extracelulares. Finalmente en el compartimento de “recambio lento”, una fracción significativa de cadmio se une a la metalotioneina y va a depositarse en los órganos blanco [11].

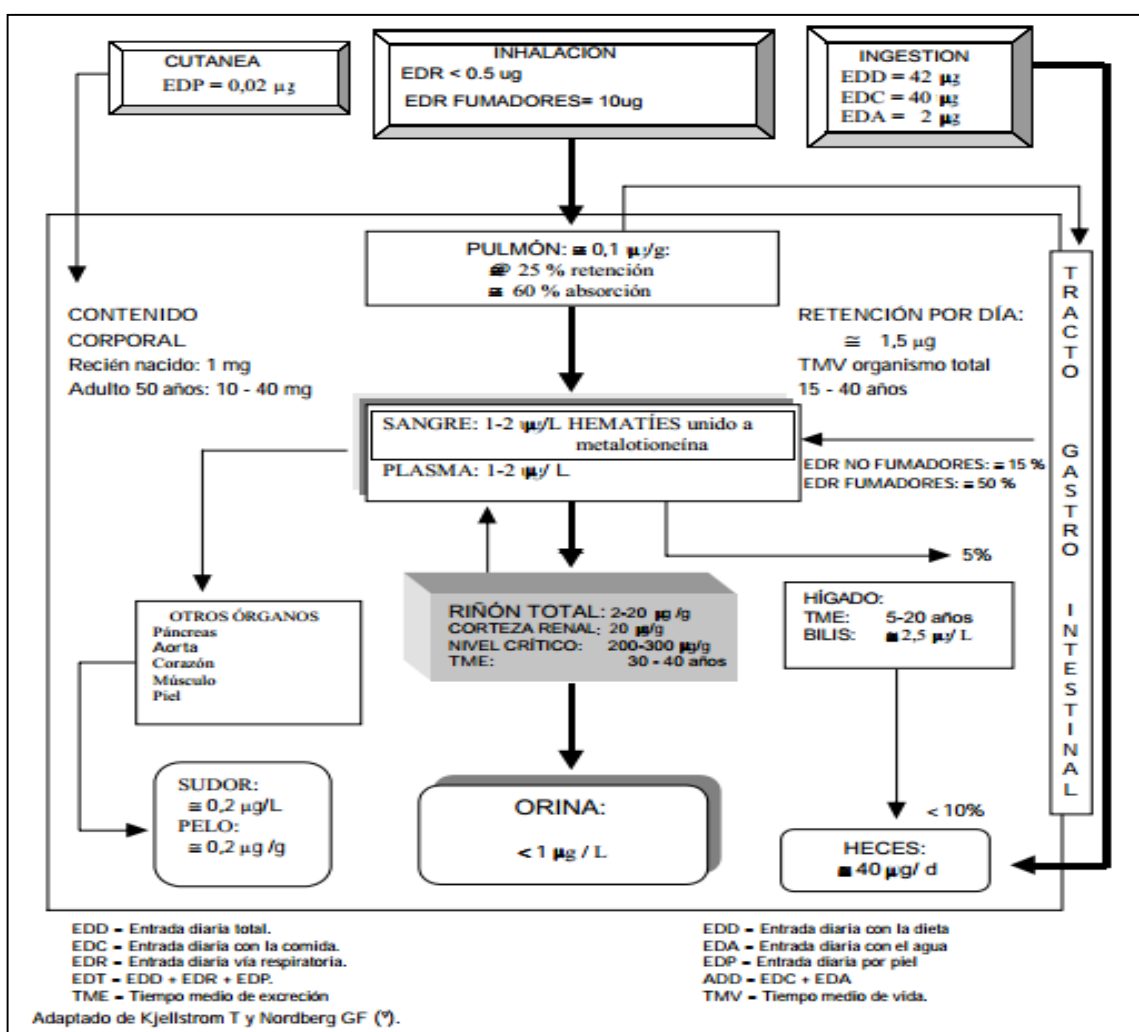
Los compartimentos 1 y 3 son los de mayor intercambio con los demás órganos, se estima que desde el compartimento 1 la tasa de transferencia a otros tejidos es de 50% mientras que al hígado es de solo el 16% [11].

La biotransformación de este metal ocurre en los riñones, allí se puede generar además una bioacumulación según la intensidad del tiempo de exposición y del estado óptimo de

la función de excreción, encontrándose un incremento con la edad, si existe una sobreexposición es posible que alcance concentraciones elevadas en el hígado; pero con el tiempo el metal se localizará en el riñón.

En la Figura 1-1, es posible observar el modelo toxicocinético humano del Cd, en condiciones normales de exposición ambiental. En los adultos, la carga corporal de cadmio puede llegar a 40 miligramos en condiciones normales de distribución, se excreta principalmente por la orina y en pequeñas cantidades por la bilis, aunque pequeñas proporciones pueden eliminarse en el sudor y el pelo, el metal eliminado a través de las heces corresponde en su mayor parte al no absorbido.

Figura 1-1: Modelo toxicocinético del cadmio [11].



1.1.2 Toxicodinamia

Aunque gran parte del metal se acumula en los tejidos, los órganos blanco son el riñón y el pulmón. En exposición laboral o ambiental, sus principales efectos tóxicos son la neumonitis química, difusión renal con proteinuria o microproteinuria y enfisema [11], sin embargo puede aumentar su efecto tóxico si se tienen bajos niveles de Zn [12], un ejemplo de esta condición es observado cuando existen bajas concentraciones de Zinc, lo que afecta básicamente al antígeno prostático específico (PSA).

La vida biológica del cadmio varía de acuerdo al órgano blanco que afecte (Tabla 1-1), así mismo se concentra principalmente en los testículos, hígado y en los riñones, sin embargo uno de sus efectos más relevantes se ha asociado con especies reactivas sobre la producción, lesión mitocondrial, la peroxidación lipídica y la muerte celular en el hígado y riñón [13].

Pero este metal es también un neurotóxico, ya que puede inducir un daño oxidativo en las mitocondrias cerebrales, afectando la transmisión sináptica y generando deficiencias motoras y de memoria, no obstante como se mencionó anteriormente el Zn puede mitigar las acciones tóxicas del mismo [13].

Los efectos por exposición a cadmio pueden producir entre otros: irritación respiratoria, afección renal y osteomalacia [11]. De acuerdo a la USEPA, el cadmio está clasificado como probablemente cancerígeno en seres humanos (grupo B1) [9], no obstante de acuerdo a la International Agency for Research on Cancer (IARC) su clasificación incluyendo la de sus compuestos corresponde al grupo 1: Cancerígeno en humanos [14].

1.1.3 Cinética Ambiental

La distribución de cualquier contaminante en el ambiente depende básicamente del medio en el que se transporta, ya sea agua, aire o suelo, sin embargo hay factores que contribuyen a este desplazamiento: la velocidad, la porosidad del medio, e incluso la vida media del contaminante; todas ellas juegan un papel determinante en el transporte, por esta razón su movilidad debe analizarse por recurso.

- **Recurso Agua**

El sulfato de cadmio y cloruro de cadmio son muy solubles en agua, mientras que el cadmio elemental, óxido de cadmio y sulfuro de cadmio son casi insolubles; de los cuerpos de agua, los océanos son los que tienen las concentraciones más altas [15], respecto a los de agua dulce.

La naturaleza de las corrientes oceánicas indica su potencial de transporte a escala mundial de los contaminantes. El comportamiento de cadmio en las aguas oceánicas se ve afectado por su papel biológico en aguas pobres en nutrientes y elementos esenciales, por ejemplo la degradación de la materia orgánica y de pastoreo del zooplancton; esta condición incide en que el cadmio sea parcialmente reciclado internamente en las biozonas superiores, y en parte sedimentado con heces zooplancton a capas subhúmedas de agua en superficie, donde se vuelve a disolver parte del metal través de procesos bacterianos [15].

El cadmio exhibe un nivel relativamente bajo de barrido (flujo de la columna de agua debido a la sedimentación) en las profundidades del mar, y por lo tanto sus concentraciones tenderían a aumentar a lo largo del flujo del agua en los océanos del mundo como las edades del agua. Su tiempo de residencia oceánica se caracteriza por permanecer aproximadamente unos 15.000 años, lo cual es considerablemente más largo que el tiempo total de la mezcla de las aguas oceánicas de aguas profundas, esta característica de persistencia podría indicar que puede ser acumulado y transportado en altas cantidades a través de largas distancias a comparación de metales de tipo de barrido como el plomo [16].

Se cree que el reservorio oceánico del cadmio es más grande en comparación con las actuales contribuciones antropogénicas de cadmio en las aguas superficiales. Los ríos son los medios de transporte más importantes para los metales pesados en una escala nacional y regional.

Algunos grandes lagos transfronterizos pueden ser también medios de transporte importante para el cadmio en una escala nacional y regional. Se ha demostrado que la complejidad de cadmio con cloruro en agua de mar influyen en gran medida su biodisponibilidad y por lo tanto la toxicidad para los organismos marinos. Es más probable que el cloruro complejo sea el responsable de la acumulación de cadmio y toxicidad reducida en una gran variedad de organismos observados con el aumento de salinidades [16].

La movilidad de cadmio en los ambientes acuáticos se ve reforzada por bajo pH, por baja dureza, por el alto potencial redox y de la baja salinidad. En el agua natural la biodisponibilidad del cadmio se reduce a través de absorción de partículas en suspensión para que las respuestas biológicas ocurran en los niveles más altos del metal. En los sistemas acuáticos, el cadmio se absorbe más fácilmente por organismos directamente desde el agua en su forma iónica libre [17].

En las aguas superficiales el cadmio se presenta como ion libre y en su solubilidad contribuyen la dureza, el pH, los complejos solubles y los sulfuros coloidales; en este medio se une a las partículas en suspensión. Cuando las aguas dulces llegan al mar, el ion cadmio +2, al igual que los iones de otros metales pesados, tiende a depositarse en los sedimentos y así queda acumulado en las aguas de las costas y los estuarios. Esta movilización puede llegar a disolverse de nuevo si disminuye el pH [16].

▪ **Recurso Aire**

El cadmio es emitido principalmente a la atmósfera en forma de partículas. A partir de fuentes de combustión, puede ser emitido en parte como elemento gaseoso, no obstante, a medida que se enfría, se une rápidamente al material particulado. Su transporte atmosférico se rige por mecanismos de aerosoles y es considerado actualmente el mecanismo más importante de dispersión a largo plazo en el medio ambiente [15].

Dentro de los principales factores que afectan el comportamiento, el destino, y la deposición de cadmio emitido a la atmósfera durante su transporte atmosférico de largo alcance se encuentran: las características de las fuentes de emisión, las formas físicas y químicas de cadmio en la atmósfera, la estabilidad atmosférica, velocidad del viento,

intensidad de precipitación y la resuspensión física del suelo y los aerosoles. Estos procesos constituyen un mecanismo para la movilización de los contaminantes no volátiles como el cadmio, de la superficie de la tierra, ya sea a partir de fuentes naturales o de actividades humanas como la minería [15].

La vida útil de cadmio en la atmósfera es relativamente corta en comparación con sustancias como el mercurio o algunos COP (Contaminantes Orgánicos Persistentes), la mayor parte del cadmio en el aire está ligado a partículas de pequeño tamaño (por debajo de 1 micra). En la atmósfera, las partículas aumentan de tamaño debido a la interacción con otras de diferentes tamaños, y debido a la condensación de vapor de agua y otros gases [15].

El cadmio y muchos de sus compuestos tienen una presión de vapor relativamente baja, y por lo tanto no son particularmente volátiles. Sin embargo, los procesos de alta temperatura pueden volatilizar el cadmio y transformarlo para ser emitido en forma de vapor. Estos vapores se condensan rápidamente cuando se aproximan a las masas de aire y entran en la atmósfera, de esta manera se considera que la gran mayoría de cadmio en la atmósfera está en el material particulado de menos de 1 micra [16].

▪ **Recurso Suelo**

Al estar presente de forma natural en muchos minerales, el cadmio se encuentra en bajas concentraciones en rocas y suelos. Su concentración en los rangos de la corteza continental es de 0,008 a 0,1 mg/kg, mientras que en los tipos de rocas comunes y en suelos oscila 0,001 a 0,60 mg/kg, (rocas ígneas de 0,05 a 500 mg/kg); sus fuentes naturales son principalmente las venas de fosfato sedimentario con niveles medios de 49 ppm para minerales en bruto y 58 ppm para minerales comerciales [17].

En el suelo, su química es en gran medida similar a la que tiene en el agua, está controlada por el pH haciendo que pueda ser adsorbido en minerales de arcilla, carbonatos u óxidos hidratados de hierro y manganeso o que se pueda precipitar como carbonato de cadmio, hidróxido, y fosfato. Bajo condiciones ácidas aumenta su solubilidad, posee poca adsorción en los coloides del suelo, óxidos hidratados, y en suelos con altos contenidos de materia orgánica [17].

Tanto la toxicidad y biodisponibilidad de cadmio son influenciados por las características del suelo, las cuales influyen en su absorción; estas son más altas en suelos no calcáreos que en suelos calcáreos. El encalado (calcio y magnesio) del suelo aumenta el pH, y la adsorción de cadmio en el suelo y reducen su biodisponibilidad. Cuando existen valores de pH mayores a 6 unidades, es adsorbido por la fase sólida del suelo o es precipitado, dando lugar a una reducción considerable de sus concentraciones en solución [17]. Una tendencia general en el aumento de la toxicidad por cadmio en el suelo surge cuando su movilidad es mayor, es decir, la toxicidad del suelo aumenta proporcionalmente con el incremento del pH, mientras que disminuye con mayores contenidos de materia orgánica [18].

En las plantas existe una diferencia marcada de absorción de cadmio entre las cultivadas en un invernadero o un recipiente y las que crecen en suelos. Esto puede explicarse debido al mayor desarrollo de las raíces en un volumen confinado en contenedores y al hecho de que todas las raíces están en contacto con el suelo contaminado [18].

En el suelo, el cadmio puede ser adsorbido por minerales de arcilla, carbonatos u óxidos hidratados de hierro y manganeso o se puede precipitar como carbonato de cadmio, hidróxido, y fosfato. La evidencia sugiere que los mecanismos de adsorción pueden ser la fuente principal de la eliminación del metal de los suelos. En suelos y sedimentos contaminados con residuos metálicos, el mayor porcentaje de cadmio total se asoció con la fracción intercambiable, mostrando que sus concentraciones están limitadas por el carbonato de cadmio (suelos neutros y alcalinos) y evidenciando que un aumento en su concentración reduce la disponibilidad de zinc a las plantas, ya que inhibe su absorción [18].

1.2 Plomo

Al igual que la gran mayoría de metales pesados, el plomo se encuentra en el ambiente en forma natural, sin embargo los altos niveles registrados en el ambiente obedecen generalmente al impacto generado por acciones antropogénicas. Las concentraciones ambientales de plomo han aumentado más de mil veces durante los tres últimos siglos como consecuencia de la actividad humana [3].

Del 100% de plomo que es emitido al ambiente, un 65% corresponde a su estado metálico mientras que el 35% restante corresponde a óxidos y sales de naturaleza orgánica e inorgánica. Dentro de las fuentes generadoras se encuentran las industrias de fabricación de insecticidas, masillas, pigmentos, tuberías y alambres; servicios de imprenta corte de metales y reparación de automóviles, entre otros [19].

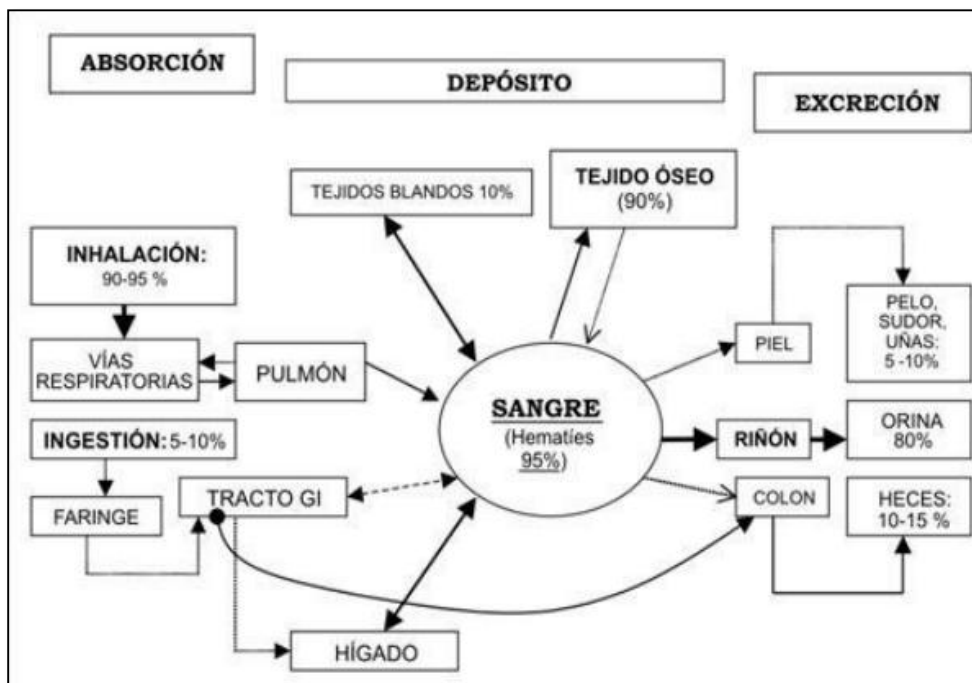
En el suelo el plomo tiene una gran afinidad con las sustancias húmicas y el pH y depende de ellos para fijarse, gracias a su baja movilidad, permanece en los horizontes superiores y no es asimilado en grandes cantidades por las plantas [20]. La absorción del metal parte de su movimiento desde una solución en el suelo y en la raíz de la planta, transportándose a los tallos y llegando hasta el fruto [21].

El plomo tiene una toxicidad considerable incluso a bajos niveles de exposición y puede generar efectos agudos y crónicos en la salud humana. Entre los efectos más importantes se destacan los daños a múltiples órganos, dentro de los que figuran afecciones de tipo neurológico, cardiovascular, renal, gastrointestinal, hematológico y sobre la reproducción [3].

1.2.1 Toxicocinética

La absorción del plomo puede ser por las tres vías principales: respiratoria, digestiva o cutánea, siendo la vía respiratoria la más importante con un 90 a 95% de absorción en contraste con el 5% por vía gastrointestinal (Figura 1-2).

Figura 1-2 Modelo toxicocinético del plomo en el ser humano. [22]



Las sales inorgánicas del plomo generalmente se absorben por ingestión o inhalación mientras que las orgánicas pueden absorberse en un mayor porcentaje por la piel, siendo esta vía exclusiva para estos compuestos. La absorción gastrointestinal de los compuestos inorgánicos de plomo alcanza aproximadamente un 10% de la dosis ingerida eliminándose entre un 10% a 15% a través de las heces; este valor puede variar considerablemente según la solubilidad del compuesto y de forma inversamente proporcional a la riqueza del calcio y potasio en la dieta [23]. Por vía respiratoria el metal es inhalado a través de vapores, polvos y humos. Solo las partículas inferiores a una micra penetran hasta el alveolo, dicha absorción dependerá del tamaño de las partículas, la ventilación pulmonar y la solubilidad del compuesto [24].

El sistema óseo puede ser considerado como uno de los compartimientos que contiene la mayor cantidad (80-90%) del plomo almacenado en el organismo.

Su excreción es principalmente por vía renal siendo la de más importancia toxicológica debido a que se hace por filtración glomerular llegando a un 75%, aquella porción que no es absorbida se elimina por heces principalmente, empero, por este medio de la heces también se puede eliminar el Pb que no fue absorbido por el intestino y es excretado por la vía biliar, contrario a la orina mediante la cual es eliminado entre un 40 y 70% de lo absorbido por todas las vías. La eliminación por medio de la saliva y el sudor también es plausible pero en menor medida que las descritas anteriormente [25]

1.2.2 Toxicodinamia

El mecanismo de acción del Pb afecta el sistema hematopoyético, el sistema nervioso central y el riñón. En este último interfiere en la conversión de la vitamina D a su forma activa, ocasionando inclusiones intranucleares en los túbulos renales, presentándose tubulopatía, que puede generar estados más avanzados llegando a atrofia tubular y fibrosis sin compromiso glomerular, caracterizándose por una proteinuria selectiva [26].

Además de esto el plomo tiene gran afinidad por los grupos sulfhídrico, en especial por las enzimas dependientes de zinc e interfiere en el metabolismo del calcio reemplazándolo y comportándose como un segundo mensajero intracelular, alterando su distribución en los compartimentos dentro de la célula. Al alterar la distribución, el plomo activa la proteinkinasa C, una enzima que depende del calcio y que interviene en múltiples procesos intracelulares, posteriormente se une a la calmodulina más ávidamente que el calcio inhibiendo la bomba de Na-K-ATPasa, lo que aumenta el calcio intracelular. Esta alteración trae consecuencias en la neurotransmisión y en el tono vascular lo que daría lugar a la hipertensión y la neurotoxicidad. A nivel renal interfiere con la conversión de la vitamina D a su forma activa [26].

Los compuestos de plomo también son conocidos por causar citotoxicidad y genotoxicidad, efectos dentro de los que se destacan los cambios en la histología y en puntos de proteínas como la proteína precursora relacionada con glucosa GRP78, citoqueratina 14, la alfaactinina, y Rho-PIB disociación inhibidor 2 (RhoGDI2), entre otras; que se encuentran asociadas con el estrés oxidativo, apoptosis, cicatrización de heridas, y la proliferación, respectivamente. El Pb presenta un patrón bifásico sobre el crecimiento celular y el contenido de ATP intracelular, con un efecto estimulante en concentraciones bajas y un efecto inhibitorio sobre la proliferación de células a concentraciones más altas [27].

1.2.3 Cinética ambiental

Algunos compuestos de plomo son transformados a otras formas por la luz solar, el aire y el agua. Sin embargo, el plomo elemental no puede ser degradado.

- **Recurso Agua**

El plomo que se encuentra en los cuerpos de aguas superficiales por vertimientos directos de aguas residuales de industrias que lo contienen como materias primas o insumos, también es posible que a través de los sedimentos se deposite como producto de la precipitación de las trazas encontradas en la atmósfera [28]. Este metal se mantiene adsorbido al sedimento a cualquier pH lo que indicaría, que solo causaría un problema de salud si el agua que lo contiene es consumida [29].

Las aguas superficiales y los acuíferos subterráneos, son medios de transporte de plomo a escala nacional y regional, al llegar a los océanos estos también se constituye en una fuente potencial de transporte y destino. El tiempo de permanencia oceánica de este metal

oscila entre 100 y 1.000 años, lo que puede indicar un potencial de transporte oceánico. Aunque puede encontrarse que su concentración disminuye conforme aumenta la distancia a las fuentes y tiende a disminuir a lo largo de las corrientes de aguas profundas a causa de la aglomeración de las partículas y su posterior sedimentación; gracias a que es un metal quelatable. La contribución actual de plomo al entorno marino procedente de algunos países de Europa por vía fluvial siendo mayor que los aportes hechos por aire. [30].

- **Recurso Aire**

Se emite principalmente a la atmósfera en forma de partículas, donde puede ser transportado a distancias locales, regionales o intercontinentalmente, dependiendo de varios factores como: el tamaño de las partículas, la altura de la chimenea, y la meteorología. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, su transporte por las corrientes de aire puede alcanzar cientos o incluso miles de kilómetros y contribuir al impacto en los sistemas de salud y económicos humanos lejos de la fuente de emisión. Puesto que tiene un tiempo de permanencia en la atmósfera relativamente breve (días o semanas) dependiendo de las fuentes de emisión y de las condiciones atmosféricas, este metal se transporta principalmente a distancias locales, nacionales o regionales [30]

Mediciones de la concentración de plomo en muestras de hielo, sedimentos de agua dulce y turberas demuestran un aumento esencial de deposiciones de este metal en el aire en comparación con el período preindustrial, estas concentraciones medidas en los aerosoles atmosféricos fueron mucho más altas (hasta 1.000 veces) que su contenido natural en la corteza de la Tierra debido a diversas actividades humanas como: la minería, la producción de metales, la combustión de combustibles fósiles y otros procesos industriales [16].

- **Recurso Suelo**

El plomo llega a los suelos principalmente por deposición desde el aire, generalmente por desprendimiento de pedazos de pintura con plomo desde edificios, puentes y otras estructuras. Los rellenos sanitarios pueden contener desechos de minerales de plomo provenientes de las municiones o de otras actividades industriales como por ejemplo la manufactura de baterías [30].

Sin embargo, también se encuentra principalmente en forma de Pb^{2+} , aunque es conocido en su estado de oxidación +4. Este metal no tiene un papel esencial en la nutrición de las plantas; sin embargo, al igual que el cadmio, su absorción se hace de un modo pasivo, la tasa de absorción se reduce al aumentar el pH y por bajas temperaturas [31].

El plomo a pesar de ser soluble en el suelo, es absorbido principalmente por los pelos de las raíces de las plantas y es almacenado en un grado considerable en las paredes celulares, esta absorción varía significativamente en relación con la concentración presente en los suelos, así como por las varias formas en que el Pb se presenta. La absorción vegetal de este metal se da principalmente por la vía estomática [31].

Bajo ciertas condiciones el Pb es móvil en la planta y las formas precipitadas en las células del plasmalema se transportan y depositan en los tejidos de las plantas. La variación de los contenidos de Pb en las plantas se debe a anomalías geoquímicas, contaminación, variación estacional, genotipos y habilidad para acumular el elemento. El Pb presenta posibles antagonismos con el zinc y sinergismos con el cadmio lo que se evidencia en su comportamiento en suelos [31].

1.3 Cromo

El cromo existe en varios estados de oxidación, el cero (0), el trivalente (III) y el hexavalente (IV), es el sexto elemento en abundancia sobre la corteza terrestre, la forma más frecuente del Cr en la naturaleza es la trivalente (Cr^{3+}), encontrándose en la mayoría de materiales biológicos, asociado fuertemente a proteínas y ácidos nucleicos [32, 33, 34], en esta forma y en la hexavalente tiene una interacción con el ambiente principalmente a partir de fuentes estacionarias; las emisiones atmosféricas son generadas principalmente por la industria química, metalúrgica, galvanizadora, litográfica, fabricación textil, talleres de mantenimiento, latonería y pintura mientras que los vertimientos son generados por la industria del curtido de pieles.

Este metal pesado de la primera serie de metales de transición es un elemento traza que puede ser considerado, en su forma trivalente, esencial en humanos y animales (como oligoelemento) ya que tiene una función importante en el metabolismo de la insulina así como en el de la glucosa, los ácidos grasos y el colesterol; además de estar indirectamente involucrado en reacciones enzimáticas tromboplásticas y betagluconidasa [32].

La producción de este metal en el mundo está concentrada en pocas regiones, 15.376 millones de toneladas de los 16,4 millones de toneladas producidas en todo el mundo, se producen en siete países: Suráfrica, Kazajistán, Zimbabue, India, Finlandia, Brasil y Turquía. Estados Unidos es uno de los principales importadores del mundo y uno de los principales productores de compuestos de Cr, con aproximadamente 3.400 instalaciones que producen 170.000 toneladas de compuestos de cromo, dentro de los cuales él se emplea un 52% para la conservación de la madera, 13% para el curtido de cuero y acabado de metales respectivamente, y un 12% para la fabricación de pigmentos y otras aplicaciones [33].

En la industria metalúrgica la forma más utilizada es el Cr metálico debido a su alta resistencia a la oxidación y a las elevadas temperaturas, estas propiedades sumadas a su color plateado con un tinte azulado, lo hacen ideal para el recubrimiento de objetos con el fin de protegerlos de la corrosión, técnica conocida como cromado [34].

El óxido crómico (Cr_2O_3) derivado del cromo trivalente es muy estable y resistente a los ácidos, gracias a su alto punto de fusión, es empleado como pigmento denominado (Verde de Cromo) en la producción textil y la litografía. Los derivados del cromo hexavalente son principalmente los cromatos y dicromatos, ambos grupos agentes oxidantes en medio ácido; el dicromato de potasio es comúnmente utilizado en la industria química, mientras que el cromato de plomo es más frecuente en la elaboración de pigmentos y se encuentra con el nombre de amarillo de cromo [34].

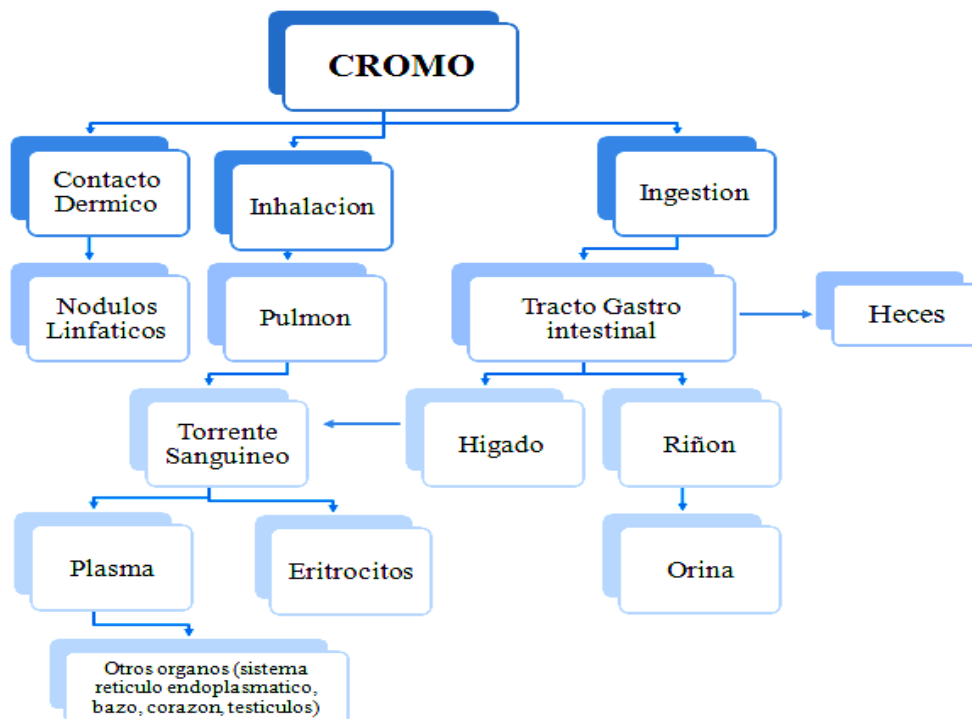
El cromo hexavalente es de gran interés dentro de la toxicología, ya que a diferencia de la forma trivalente, es reconocido por la IARC como un cancerígeno por exposición aérea. Los compuestos de Cromo VI incluyen: dicromato de amonio, cromato de calcio, dicromato de potasio y dicromato de sodio, entre otros; estos compuestos se usan en pigmentos, fungicidas, material de arte gráfico, anticorrosivos y preservantes de madera [35].

1.3.1 Toxicocinética

El cromo presenta diferentes vías de absorción en el organismo, las más importantes se presentan mediante la inhalación y la ingestión y en menor medida por vía dérmica; no obstante al analizar la población en general, la vía que tiene mayor importancia es la oral, a diferencia de los trabajadores en donde la absorción de dicho metal se produce en mayor medida por inhalación y contacto dérmico [36].

La vía respiratoria también tiene gran relevancia aunque en menor medida, gracias a que facilita la distribución en el torrente sanguíneo, para posteriormente llegar a los eritrocitos y el plasma hasta alcanzar otros órganos, en la Figura 1-3 se observa la toxicocinética del cromo.

Figura 1-3 Toxicocinética del cromo [36]



La absorción de Cr VI por vía oral y dérmica es pobre, sin embargo se puede presentar irritación, dermatitis por contacto, respuesta alérgica y efecto ulcerativo, pero no asociadas a cáncer todavía [35].

Su excreción es principalmente por las heces, aunque una porción importante que no es absorbida se elimina por esta vía principalmente. A través de la orina también se puede eliminar el Cr absorbido por otras vías [37].

1.3.2 Toxicodinamia

Los efectos adversos del cromo para la salud dependen, sobre todo del estado de valencia en el momento de la exposición y la solubilidad del compuesto que se trate, aunque la forma de importancia toxicológica es el cromo hexavalente. La exposición vía aérea a cromatos puede generar un riesgo elevado de enfermedades respiratorias entre las que se destacan la fibrosis pulmonar, perforación del tabique nasal, el desarrollo de los pólipos nasales y el cáncer de pulmón [35, 39, 40, 43], ciertas formas de cromo hexavalente son conocidas como carcinógenas respiratorias además de inducir un daño al ácido desoxirribonucleico (ADN), la inhalación de este está asociada con el riesgo de padecer cáncer de pulmón, en especial si las concentraciones a las que se está expuesto están por encima de los 100 mg / m³ [38].

El modo de acción del Cr implica la deposición y acumulación de partículas de cromo en las bifurcaciones de los pulmones que resulta en la absorción celular del Cr hexavalente. Una vez dentro de la célula, la reducción de Cr (VI) da como resultado el estrés oxidativo y la formación de derivados de Cr potencialmente más tóxicos. Esto ocasiona la irritación del tejido, la inflamación y citotoxicidad. Estos efectos son afines con el aumento de la proliferación celular generando cambios en las secuencias de ADN y / o estado de metilación que pueden conducir a la tumorigénesis [38].

Estas lesiones genéticas producidas por la reducción intracelular del Cr hexavalente incluyen aductos, roturas de la cadena y replicación de ADN, bases oxidadas, la transcripción disfuncional, los puestos de control del ciclo celular aberrante, los mecanismos de reparación, la inestabilidad, respuestas inflamatorias, y la interrupción de importantes redes de genes reguladores responsables de la balanza de la supervivencia y muerte celular [39].

En la población ocupacionalmente expuesta y en fumadores, el tracto respiratorio bajo, es el órgano blanco; en 1998 la OMS concluyó que: “no había evidencia suficiente que implicara al cromo VI como agente causante de cáncer en otro órgano diferente al pulmón” [37]. Ya en el pulmón, la membrana celular permite el paso del Cr VI, pero es impermeable al Cr III, una vez dentro se produce la reducción de Cr VI a Cr III generando la formación de aductos con el ADN, que activan la vía p53 y la apoptosis; además el Cr VI también inhibe la reparación por escisión de nucleótido (NER), que es el principal mecanismo de reparación de daño. Aún no es totalmente comprendido el mecanismo molecular de inducción de cáncer, sin embargo, se ha descrito un aumento en la frecuencia de intercambios de cromátides hermanas, aberraciones cromosómicas, roturas de hebras de ADN y apoptosis [40].

En el lumen intestinal, hay una reducción extracelular de Cr VI a Cr III, limitando así la toxicidad por esta vía, no obstante se han descrito aparición de tumores en ratones tras exposición en el agua de bebida; las hipótesis para el desarrollo de los mismos, incluyen:

saturación en la reducción del Cr VI en el TGI, absorción en el epitelio intestinal, inflamación y estrés oxidativo, proliferación celular, modificación del ADN y mutagénesis [41].

1.3.3 Cinética ambiental

El cromo se encuentra en el ambiente por fuentes naturales y antropogénicas, de forma natural se encuentra presente en el ciclo biológico, en absorción por plantas e intemperización de las rocas teniendo un aporte del 30% al ciclo ambiental del cromo; mientras que el aporte antropogénico corresponde a emisiones de industrias minero-metalúrgicas otros usos y procesos de combustión con un aporte del 70%.

El aire tiene como fuente de cromo procesos de combustión y emisiones de industrias, el agua se contamina por los vertimientos de las industrias y los suelos por la absorción de agua. Al estar presente en estos tres componentes del medio ambiente, se afectan plantas, animales y personas, en la Figura 1 se muestra las interacciones entre los tres componentes y los principales organismos afectados. [43, 44, 45]

- **Recurso Agua**

El cromo se incorpora a las fuentes de agua desde los efluentes industriales y por el contacto de aguas subterráneas con rocas intemperizadas. Se ha demostrado que el Cr (VI) en el agua subterránea se ve reducido por procesos abióticos a Cr (III) y por la misma reducción de la materia orgánica natural, la cantidad de esta, unida a la superficie, afecta significativamente a la reducción de Cr (VI), mientras que el Cr (III) forma complejos insolubles, es poco móvil y puede precipitarse en sedimentos, por esto es menos tóxico [20].

Aunque el cromo es un elemento esencial para hombres y animales, los niveles elevados (15 mg en agua de ríos y 0.10 mg /L en agua potable) resultan tóxicos en estos seres vivos. Particularmente, el Cr (VI) tiene efectos carcinogénicos en animales y mutagénicos en humanos y bacterias. No se ha establecido si existe una acumulación de este metal en peces, sin embargo altas concentraciones del mismo dañan las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido [20].

Para la eliminación de Cr (VI) en el agua residual ha surgido como método potencial el uso de reducción biológica, ya que es un método económico y una forma de transformar el contaminante a expresiones menos tóxicas, considerando el sistema microbiano como una alternativa de tratamiento para aguas residuales. Las etapas de eliminación a partir de microorganismos consisten en la unión del cromo a la superficie celular, la translocación del cromo a la célula y finalmente la reducción de (VI) a (III) [42]

- **Recurso Aire**

En la atmósfera la forma predominante del cromo es la trivalente, debido a las emisiones industriales; las fuentes antropogénicas de emisión de este metal que tienen mayor

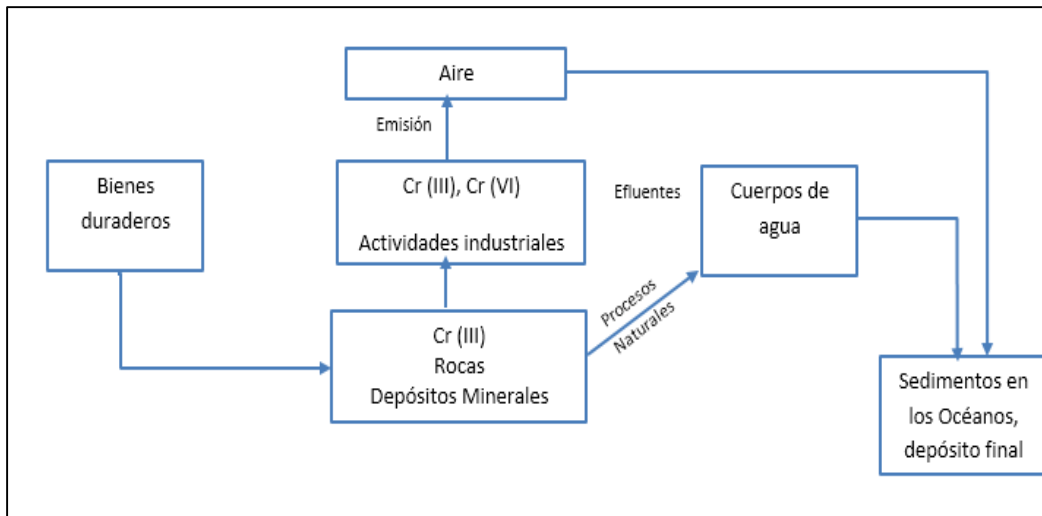
importancia son aquellas donde se produce ferrocromo, tales como: fábricas de refinación de minerales, fábricas de cemento, fábricas de acero, de colorantes y pigmentos [43].

Algunas industrias madereras tratan la madera con una mezcla de cromo, cobre y arsénico, con el fin de hacerlas más duraderas, pero esto no representa ningún problema en el momento, no obstante cuando se produce la quema de esta madera, los metales salen a la atmósfera [43].

Cuando el Cr (VI) se introduce en el ambiente como un contaminante atmosférico a través de la quema de combustibles fósiles e incineración de residuos, es posible encontrar concentraciones de partículas de cromato en zonas rurales y urbanas. Un estudio realizado en Estados Unidos, encontró que en la zona rural se encuentran concentraciones de 0.2 a 9 ng/m mientras que en las zonas urbanas si hay presencia de una industria con emisiones de ferrocromo estas concentraciones pueden ser de 10 a 100 veces superiores [44].

El cromo que es generado por emisiones también puede precipitarse y formar sedimentos que llegan al océano, las efluentes de las industrias contaminan los cuerpos de agua con Cr, las rocas por procesos naturales también aportan Cr a estos cuerpos de agua, este Cr depositado puede de igual manera precipitarse y llegar como disposición final a los océanos, la cinética ambiental del cromo en aire se puede resumir en la Figura 1-4. [43, 44, 45, 46]

Figura 1-4 Cinética del cromo en el aire. [45]



▪ **Recurso Suelo**

Existen diferentes suelos que se caracterizan por altos niveles de cromo originados en las actividades mineras y algunas industrias, tales como: producción de acero, cemento y curtido de pieles. El uso de lodos de aguas residuales o de fertilizantes con diferentes

concentraciones de cromo en algunas prácticas agronómicas, es otro de los factores contribuyentes a la contaminación ambiental de los suelos por este metal. [46, 47].

En el suelo, el metal queda retenido por procesos de adsorción y de precipitación, aunque de sus formas el cromo III tiene un mayor tiempo de retención ya que es poco móvil; en suelos frescos y húmedos, con condiciones levemente ácidas; la oxidación del cromo puede ocurrir en presencia de óxidos de hierro y manganeso, sin embargo, la reducción del cromo también es posible en presencia de sulfuros y hierro (II) (condiciones anaeróbicas). Esta se acelera en presencia de materia orgánica, por lo que un suelo rico en ella, permite retener por más tiempo el cromo. [47, 48].

La absorción de los derivados del cromo hexavalente (cromatos y dicromatos), depende del pH del medio. Las plantas absorben únicamente Cr III, aunque no se sabe con exactitud si es esencial para ellas, pero al tener grandes concentraciones, generan un efecto tóxico en su sistema, ocasionando disminución en la incorporación de nutrientes como: calcio, potasio, fósforo, hierro y manganeso; además de afecciones en el metabolismo de los carbohidratos y disminución de la clorofila. [46]

La forma hexavalente puede ser eliminada abióticamente por minerales del suelo que llevan hierro tales como la magnetita, mackinawita, y el óxido verde. Esto significa que las degradaciones reductoras de compuestos orgánicos se producen en la superficie del suelo y su cinética es influenciada significativamente por la densidad de reactivos reductores unidos en las superficies minerales; en contraste con la reducción de muchos productos químicos orgánicos [47, 49]

1.4 Monitoreo ambiental de material particulado

De acuerdo a lo señalado por la red de monitoreo de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro en México (2014) el material particulado puede ser una mezcla compleja de materiales sólidos y/o líquidos que se encuentran suspendidos en el aire, de tamaño y composición variable y diverso según la fuente de emisión que lo genera.

Su tamaño oscila generalmente entre 0.0002 y 500 μm , siendo las partículas de diámetro menor o igual a 10 μm las que tienen la capacidad de ingresar al sistema respiratorio del ser humano, coincidiendo con lo mencionado por el Sistema Nacional de Información Ambiental del gobierno de Chile (2013) frente a la incidencia del tamaño el de estas partículas en relación inversamente proporcional al potencial de daño en la salud que puedan tener.

En este sentido las partículas de 2,5 a 10 μm pueden alcanzar los pulmones mientras que las menores a 2,5 μm ingresan hasta los alvéolos y luego a la sangre. Bajo esta premisa las llamadas PM_{10} están clasificadas, por su tamaño en: fracciones gruesas, fina y ultra fina, siendo la fracción gruesa las partículas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre 2.5 y 10 μm ; la fracción fina las que cuentan con un diámetro menor a 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$), y finalmente, la fracción ultra fina las de tamaños inferiores a 1 μm [47]. Su monitoreo es de gran importancia para la salud y se realiza a través de equipos de alta precisión.

1.4.1 Equipos de Medición Hi-Vol.

De acuerdo a lo establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (hoy día Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) el muestreador de alto volumen o muestreador activo es “un equipo que succiona una cantidad medible de aire ambiente hacia una caja de muestreo a través de un filtro durante un periodo de 24 horas.

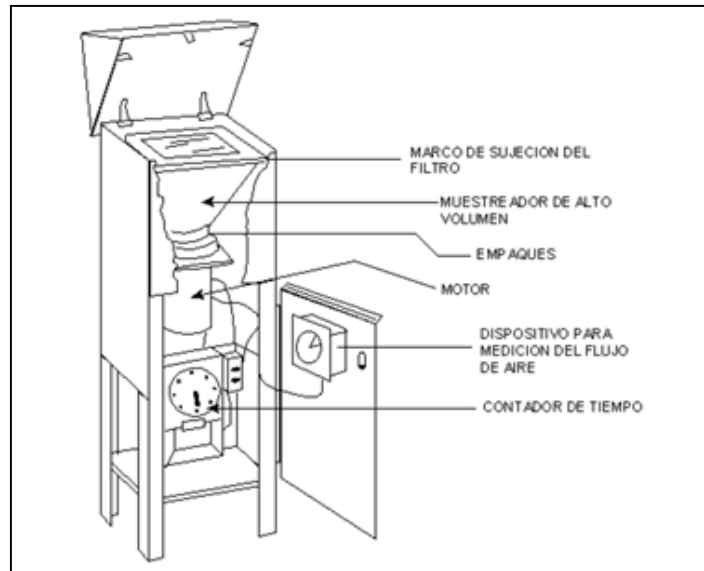
El filtro es pesado antes y después para determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestreo. La concentración total de partículas en el aire ambiente se calcula como la masa recolectada dividida por el volumen de aire muestreado, ajustado a las condiciones estándar [48]”.

De acuerdo a la descripción del equipo, pueden establecerse dos tipos de muestreadores cuya diferencia principal radica en su controlador de flujo, el cual puede ser de sistema de tipo másico (MFC) o de tipo volumétrico (VFC) [48].

- **Equipo muestreador Partículas Suspendidas Totales (PST)**

Como lo menciona el IDEAM en el Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental (2005) este equipo solo permite realizar el muestreo de PST, es decir las que incluyen a todas las partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a $100\mu\text{m}$ pero sin clasificarlas por tamaño; su calibración es posible realizarla mediante un kit constituido por un variador de resistencia de flujo que consiste en un tubo metálico con un par de discos incorporados que permiten obtener múltiples aberturas con solo hacer un giro en uno de los discos del eje central que contiene dicho tubo [49].

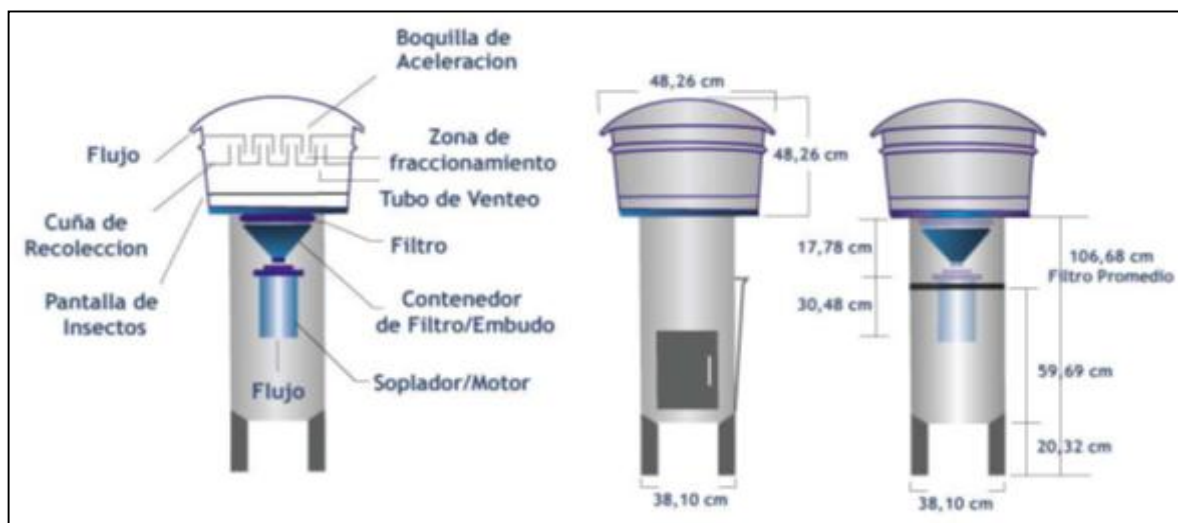
Teniendo en cuenta que los indicadores de flujo tipo orificio son bastante sensibles a los cambios de temperatura y presión barométrica, y que estos parámetros tienen una variación diaria, es necesario para el proceso de calibración según la USEPA de acuerdo a lo citado por el IDEAM (2005) emplear una fórmula para corregir esta variabilidad con respecto a un estándar de corrección. La Figura 1-5 presenta un muestreador de alto volumen para PST.

Figura 1-5 Muestreador Hi-Vol. PST [49]

- **Equipo Muestreador Hi-Vol. (PM₁₀)**

Estos equipos operan bajo el mismo principio general del muestreador de alto volumen pero su flujo oscila entre 1 y 25 L por minuto (de acuerdo al fabricante), el aire pasa por un filtro de 47 mm durante un periodo de 24 horas. El filtro es pesado antes y después para determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestreo. La concentración total de partículas en el aire ambiente se calcula como la masa recolectada dividida por el volumen de aire muestreado, ajustado a las condiciones de referencia [48].

El equipo muestreador de alto volumen PM₁₀ de flujo constante (Figura 1-6), está provisto de un dispositivo de control de flujo, cuya acción sobre el circuito eléctrico conectado al motor regula su velocidad y por lo tanto su capacidad de succión. La calibración se fundamenta en la posición del dispositivo de control de flujo que permita una aspiración de aire en el rango de 1.02 a 1.24 m³/min a condiciones actuales o reales. Un caudal de 1.13 m³/min garantiza la separación de partículas menores de 10 micrómetros. Por lo tanto la calibración del equipo consiste básicamente en una verificación de flujo [48].

Figura 1-6 Muestreador Hi-Vol. PM₁₀ [50]

1.4.2 Equipo Calibrador para Hi-vol.

La calibración de los equipos Hi-Vol. consiste básicamente en una verificación de flujo fundamentada en la posición del sensor que permite una aspiración constante de aire en el rango deseado (40 a 60 CFM a condiciones referencia), el equipo debe ser calibrado: después de cambiar el motor, cuando hay cambio de escobillas, cuando se varía el sitio de muestreo y por lo menos una vez cada tres meses según su uso [51].

1.4.3 Selección de filtros

Acorde con lo mencionado por la USEPA (2005) en la metodología IO 3.1 que establece las características generales de los diferentes tipos de filtros usados para la retención de partículas, el tipo de filtro depende de la finalidad de la prueba, teniendo en cuenta que las características de algunos de los filtros pueden afectar su selección y su uso. La selección del filtro está en función de variables como: el contenido de metal de fondo, la formación de artefactos, y la afinidad por la humedad [52].

Para el muestreador de alto volumen (Hi-Vol.), existen en términos generales cuatro tipos de material de filtro: fibra de celulosa, fibra de cuarzo o de vidrio, fibra mezclada, y membrana; cada uno de ellos con características básicas (Tabla 1 – 1) que permiten su selección de acuerdo su eficiencia de muestreo de partículas, estabilidad mecánica, estabilidad química, estabilidad de temperatura, y corrección de blanco, entre otros [53]. El filtro de fibra de cuarzo se constituye en el de uso más amplio en la determinación de la carga masiva, gracias a su estabilidad del peso con respecto a la humedad, lo que le proporciona una alta eficiencia y permite la recolección de partículas en suspensión prácticamente de cualquier tamaño y descripción [53].

Tabla 1-1. Características de los tipos de filtro para medidores Hi Vol. [53].

| Tipo De Filtro | Características |
|---|--|
| Filtros de Celulosa | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bajo en cenizas. ▪ Temperatura máxima de 150 °C. ▪ Alta afinidad por el agua. ▪ Mejora la formación de artefactos para el SO⁻⁴ y N⁻³. ▪ Bueno para el análisis por activación de rayos-x. ▪ Bajo contenido de metal. |
| Filtros de Cuarzo o Vidrio | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura máxima de hasta 540 °C. ▪ Alta eficiencia de colección. ▪ No es higroscópico. ▪ Bueno para ambientes corrosivos. ▪ Muy frágil sin embargo. ▪ Bueno con la extracción. ▪ Eficiencia en la retención de metales. |
| Filtro Sintético | <ul style="list-style-type: none"> ▪ La eficiencia de recolección de > 99% para 0,01 micras partículas. ▪ Baja formación de artefacto. ▪ Bajos impurezas. ▪ Excelente para análisis de rayos X. ▪ Excelente para la determinación de la masa total debido al carácter no higroscópico. ▪ La fibra de nylon bueno para la colección HNO₃. |
| Filtros de membrana de fibra (gel seco de ésteres de celulosa) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Frágil; requiere almohadilla de soporte durante el muestreo. ▪ Alta caída de presión. ▪ Bajo residuo cuando incinera. |

De igual manera las características típicas de los filtros de fibra de cuarzo son: un contenido de alta pureza, aglutinante por debajo de 5% (cero para los tipos sin aglomerante), espesor de aproximadamente 0,5 mm, una superficie sin poros y asignación de no más de 0,05% de partículas de humo que pasan a través del filtro a una presión de 100 mm de agua con un caudal de 8,53 m/min (28 pies/min) [53].

Los filtros deben estar libres de defectos específicos, la metodología de la USEPA (1999) IO 3.1. recomienda verificar entre cuatro tipos de desperfectos: estenopeica¹; material o partículas de suciedad adicional sueltos en el filtro; decoloración y cualquier falta de uniformidad visible en la apariencia del filtro que pudiese indicar gradaciones en la porosidad.

¹ Agujero de diámetro reducido que se manifiesta como un punto brillante claro y evidente a la luz o como una mancha oscura cuando se ve a través de una superficie de color negro.

1.4.4 Determinación de metales en partículas, método USEPA IO 3.5

Este método de la USEPA (1999) describe la determinación de elementos múltiples traza por plasma de acoplamiento inductivo / espectrómetro de masas ICP/MS. En términos generales, el material de las muestras en solución es introducido por nebulización neumática en un plasma de radiofrecuencia en el cual los procesos de transferencia de energía generan desolvatación, atomización, e ionización [54].

Los iones son extraídos del plasma a través de una interfaz de vacío bombeo diferencial y separados sobre la base de su relación masa a carga por un espectrómetro de masas que tiene una capacidad de resolución mínima de 1 uma (anchura del pico a 5%) de la altura de pico, para luego ser transmitidos mediante el cuádruple y registrados por un multiplicador de electrones o detector de Faraday, finalmente, la información de iones es procesada por un sistema de manipulación de datos [54].

1.5 Modelos de calidad del aire

Los modelos de calidad del aire han sido desarrollados en su gran mayoría para proporcionar apoyo científico en la aplicación de normas de calidad del aire y la valoración del riesgo de la población expuesta a distintos contaminantes atmosféricos, mediante la identificación y cuantificación de las contribuciones relativas de diversas fuentes de contaminación del aire y la forma en que son recibidas por la ciudadanía [55].

Estos modelos funcionan con los datos de concentraciones de fondo reportados, teniendo en cuenta según sea el caso, el número y los tipos de fuentes, las contribuciones relativas y los receptores de los contaminantes. Varios de ellos utilizan algoritmos para calcular las contribuciones y demás factores que influyen en la movilidad del contaminante y en su depósito [55].

1.5.1 Environmental lakes

El modelo Environmental Lakes, se basa en suposiciones de modelaje que se incorporan en los procedimientos de filtrado y monogramas, para muchas fuentes los resultados pueden ser muy similares, con concentraciones máximas estimadas que difieren en aproximadamente 5% en un rango de características de fuente. También puede proporcionar concentraciones calculadas para distancias de menos de 100 metros, sin limitar tampoco a alturas de pluma de 300 metros, examinando además un amplio rango de condiciones meteorológicas, incluyendo todas las clases de estabilidad y velocidades del viento para encontrar impactos máximos con condiciones meteorológicas (clases de estabilidad A, C y E o F). Así mismo, trata el caso de velocidad del viento cercana a neutral/alta examinando un rango de velocidades del viento para clase de estabilidad C y seleccionando el máximo [56].

Usa un modelo de pluma Gaussiana que incorpora factores relacionados a la fuente y factores meteorológicos para calcular la concentración de contaminantes de fuentes continuas. En el modelo se asume que el contaminante no experimenta ninguna reacción

química, y que ningún otro proceso de remoción (como deposición húmeda o seca) actúa sobre la pluma durante su transporte desde la fuente [56].

El modelo Gaussiano de pluma de fuente de punto se incorpora en el modelo para modelar impactos de pluma desde fuentes de punto, liberaciones por incineración y liberaciones volumétricas. Usa un algoritmo de integración numérica para modelar impactos de fuentes de área, suponiendo que la fuente de área tiene forma rectangular y el modelo puede usarse para estimar concentraciones dentro del área [56].

El modelo permite escoger entre varias opciones de tipo de fuente: tipo punto, liberación por incinerado, fuente área, y fuente volumétrica. Los datos de entrada requeridos, varían de acuerdo al tipo de fuente [56]; como la selección de esta investigación se basa en la fuente volumétrica, se mencionan a continuación los datos de entrada requeridos para este tipo de fuente (Tabla 1-2).

Tabla 1-2 Datos de entrada del modelo [56]

| Variable | Unidades |
|--|--------------------------|
| Tasa (o cantidad) de emisión | Gramos por segundo (g/s) |
| Altura de la fuente de liberación | Metros (m) |
| Dimensión lateral inicial del volumen | Metros (m) |
| Dimensión vertical inicial del volumen | Metros (m) |
| Altura del receptor sobre el suelo | Metros (m) |
| Opción urbana/rural | Urbana (U) Rural (R) |

- Tasa o cantidad de emisión, altura de liberación y tipo de terreno

Corresponde a las concentraciones promedio de cada metal para la estación de monitoreo correspondiente, la altura de liberación introducida fue 3 metros, de acuerdo con la ubicación de los equipos de muestreo. Debido a que las alturas del terreno no exceden las bases de las fuentes y se mantienen por debajo de la altura de éstas, o un terreno simple plano, donde se supone que las alturas del terreno no exceden a la elevación de la base de las fuentes se seleccionó la opción de terreno simple plano.

- Meteorología

Como la opción de terreno seleccionada fue simple plano el modelo da la opción de seleccionar de entre tres clases de meteorología: meteorología completa (todas las clases de estabilidad y velocidades del viento); especificación de una sola clase de estabilidad y especificación de una sola clase de estabilidad y velocidad del viento; esta última fue la

seleccionada dadas las condiciones meteorológicas de la zona y los datos de los que se disponía, asumiendo una clase de estabilidad atmosférica F y una velocidad de viento a los 10 metros de 1,49 m/s, el modelo trabaja con un rango automático de velocidad de viento de 1 a 4 m/s.

- Distancias de los receptores

Para determinar las distancias de los receptores se partió de las coordenadas de cada receptor calculando su ubicación respecto a cada una de las estaciones de monitoreo, como el modelo no permite ubicarlas en desorden se organizaron de tal manera que las distancias estuviesen desde la más próxima hasta la más alejada de la estación.

- Opción urbana /rural

La determinación de la aplicabilidad de la dispersión urbana o rural se basa en el uso de la tierra o densidad de población, para la localidad de los mártires se seleccionó urbana, porque es mayor que 750 personas/km² según lo establece el criterio del programa.

Una vez determinados todos los datos de entrada del modelo se establecieron seis escenarios diferentes, alternado las dos fuentes o zonas de emisión que corresponden a las estaciones de monitoreo seleccionadas, con cada uno de los tres metales seleccionados en función de las distancias de los receptores. La aplicación del modelo permite determinar las concentraciones del metal a la distancia de cada receptor visualizando el comportamiento del mismo.

2. Normatividad internacional y nacional

Las normas de calidad del aire se definen para proteger la salud de la población expuesta, existen normas para exposición a corto y largo plazo de un gran número de contaminantes criterio [57]. Estas normas han sido establecidas con el objetivo de controlar las concentraciones de los contaminantes del aire y para mantenerlos bajo niveles en los que haya un impacto mínimo en la salud.

A nivel internacional diversos gobiernos y organizaciones han establecido límites permisibles de calidad del aire y de emisión [2]. La USEPA, la OMS y la UE, son algunos de los referentes internacionales en materia de normatividad de calidad del aire; en Colombia, a partir del Decreto 948 de 1995 del entonces Ministerio de Medio Ambiente se establece el marco normativo para la regulación de la calidad del aire a nivel nacional.

2.1 Normas internacionales

La Ley de Aire Limpio de los Estados Unidos, faculta a la USEPA para establecer Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS) de distintos contaminantes y diversas fuentes considerados nocivos para la salud pública y el medio ambiente. La Ley estableció dos tipos de normas nacionales de calidad del aire [58]. La norma establece valores para PM_{10} y Pb, sin embargo, no existe un valor límite para PST, Cr y Cd.

Aunque la OMS no es un órgano legislativo, si es un órgano para la orientación en la reducción de los impactos de la contaminación del aire en la salud. A través de las guías de calidad del aire, las cuales se basan en la evaluación experta de la evidencia científica actual, relacionada con los impactos en la salud de contaminantes individuales, muestra directrices para los límites permisibles de contaminantes criterio en la atmósfera. Las guías fueron desarrolladas por primera vez en 1987 y actualizadas para material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en 2005 [2]. Cuentan con valores de referencia para PM_{10} , Cd, Pb y Cr.

Por último están las normas de la Unión Europea, quien ha fijado límites legalmente vinculantes y no vinculantes en toda la Unión para determinados contaminantes dispersados en la atmósfera. Dentro de los límites establecidos se encuentran valores para partículas PM_{10} , plomo y cadmio. Entre las leyes importantes que establecen límites para los contaminantes en Europa caben destacar la Directiva de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa (2008/50/CE) y la Directiva marco de 1996 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente (96/62/CE) [59].

En la Tabla 2-1 se presentan los límites permisibles de PST, PM_{10} , Cd, Pb y Cr de la USEPA, OMS y UE.

Tabla 2-1 Estándares de calidad del aire de la USEPA, OMS y UE [58, 61]

| Contaminante ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | USEPA | OMS | UE |
|---|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| PST | No establecido | No establecido | No establecido |
| PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 50; anual 150; 24 horas | 20; anual 50; 24 horas | 33; anual 50; para 55 días |
| Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 1,5; trimestral | 0,5; anual | 0,5; anual |
| Cd ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | No establecido | 0,005; anual | 0,005; anual |
| Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | No establecido | 0,25; anual | No establecido |

2.2 Normas nacionales

En Colombia la norma vigente en calidad del aire es la Resolución 610 de 2010 del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy día Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), por la cual se establecen la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.

En esta norma se establecen niveles máximos permisibles para PST, y PM₁₀, Pb y Cd (Tabla 2-2), así como para otros contaminantes. De igual manera establece que los procedimientos para la medición de la calidad del aire son los estipulados en el Protocolo del Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire, elaborado por el IDEAM [60].

Tabla 2-2 Niveles máximos permisibles Resolución 610 de 2010

| Contaminante | Límite Máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|---------------------------------|---|
| PST | 100; anual 300; diario |
| PM ₁₀ | 50; anual 150; diario |
| Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 0,5; anual 15 diario |
| Cd ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 0.005; anual |
| Cr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | No establecido |

El protocolo contiene las especificaciones generales para la ubicación y el diseño de Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, geográficas, actividades económicas, infraestructura de transporte, población y en general todos aquellos factores que incidan en la calidad del aire y la salud

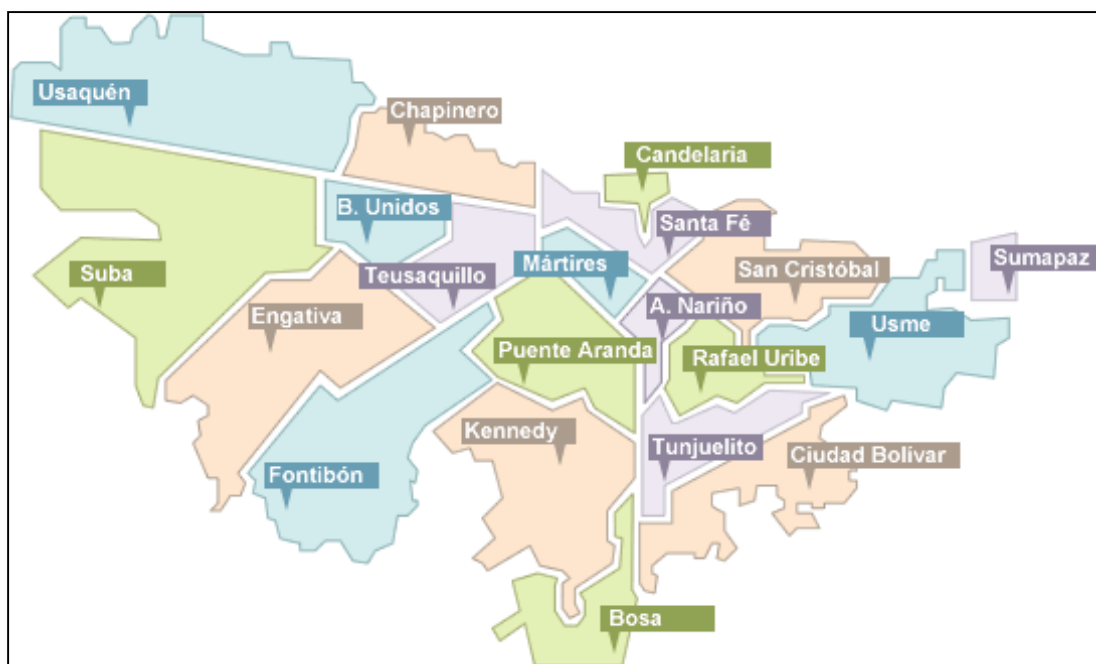
de las poblaciones. De igual manera las técnicas de muestreo de cada uno de los contaminantes convencionales; la periodicidad y condiciones para el monitoreo; los recursos necesarios para el montaje, operación y seguimiento de estaciones; el índice nacional de calidad del aire y la definición de indicadores para el monitoreo de la calidad del aire, entre otras disposiciones [60].

3.Marco Contextual Localidad Los Mártires

La localidad de Los Mártires, se encuentra ubicada en la zona céntrica de la ciudad de Bogotá D.C (Mapa 3 -1), limitando con la localidad de Teusaquillo al Norte, al sur, con la localidad de Antonio Nariño; al occidente, con la localidad de Puente Aranda y al Oriente, con la localidad de Santa Fe. Su extensión total es de 651 Hectáreas (Ha), de las cuales 10 corresponden a suelo protegido. En relación con los usos actuales del suelo, hacia el sur predomina el uso residencial mientras que, por el contrario, en el sector norte de la localidad predomina el uso comercial [61].

Administrativamente está dividida en dos Unidad de Planeación Zonal (UPZ) 37, UPZ Santa Isabel constituida por los barrios Eduardo Santos, El progreso, El vergel, Santa Isabel y Veraguas; y la UPZ 102 La Sabana constituida por los barrios Colseguros, El Listón, La Estanzuela, Florida, La Pepita, La Favorita, La Sabana, Paloquemao, Panamericano, Ricaurte, Samper Mendoza, San Facon, San Victorino, Santa fe, Usatama y El Voto Nacional [62].

Mapa 3-1 Localización localidad Los Mártires [63]

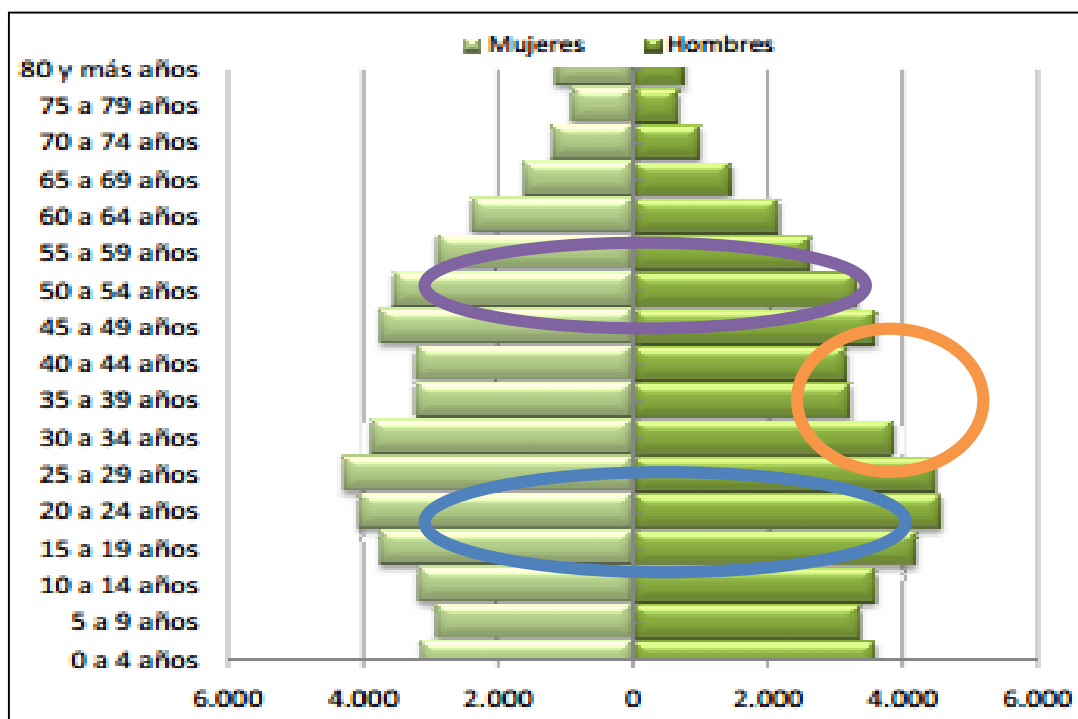


3.1 Población.

Para el año 2012 la localidad contaba con una población total de 98.209 habitantes, de los cuales el 50,1% correspondía a hombres y el 49.8% a mujeres. La distribución de acuerdo al ciclo vital muestra que para ese año, el 20.6% de la población se ubicaba en la infancia, el 8.7% en la adolescencia, el 17.6% la juventud, 40.8% en la adultez y la vejez con un 13.4% [64].

La Figura 3-1 muestra la estructura poblacional de la localidad para el año 2012, a través de una pirámide tipo estable regresiva, en donde es posible observar que la base es angosta (óvalo azul), asociándose a una disminución en la natalidad, de igual forma que en la población masculina predominante está entre las edades de 15 a 29 años (óvalo naranja).

Figura 3-1 Pirámide Poblacional de la localidad Los Mártires [64]



La población entre los 35 a 44 años (óvalo morado) presenta también una disminución de notoria, es probable que estos valores puedan estar asociados a algunos de los grupos de poblaciones especiales del sector, como habitantes de la calle, personas en ejercicio de prostitución, grupos étnicos y personas en condición o situación de desplazamiento, la localidad alberga gran población en estas condiciones pero que generalmente es flotante, es decir puede estar en constante desplazamiento a otras localidades, [64].

Para los años 2016 a 2020 la Secretaría Distrital de Planeación proyecta un decrecimiento en la población de la localidad (Figura 3-2), principalmente en los ciclos vitales de infancia y juventud acorde con lo planteado desde el 2012, por ejemplo para el año 2016 se espera que el número de habitantes del ciclo infancia sea 18.417 mientras que para el año 2020 sería de 16.284.

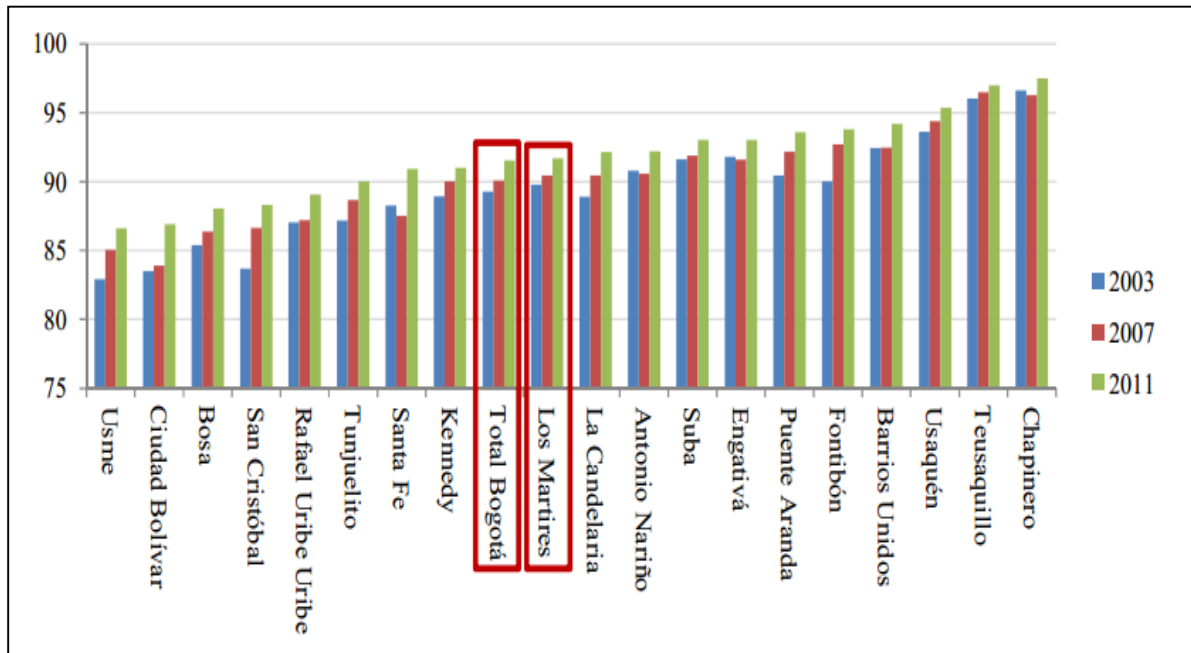
En juventud el número esperado es de 20.957 para el año 2016 en contraposición con los 19.620 esperados para el año 2020. En el ciclo vejez en cambio se espera un crecimiento poblacional, aunque este no influye en la tendencia exponencial de decrecimiento del total de la población en la localidad, para el año 2016 se espera que este ciclo llegue a 14.782 habitantes y en el año 2020 alcance los 18.044 habitantes.

En población total se estima que la localidad cuente en el año 2016 con 94.130, lo que corresponde a un decrecimiento del 4,1% respecto al 2012, y para el año 2020 se estima que la localidad llegue a los 92.234 habitantes, lo que representaría un 6,08% menos que en 2012 [65].

Figura 3-2 Crecimiento exponencial anual Los Mártires [65]



Para la medición de la pobreza de acuerdo a lo establecido en el último diagnóstico de hábitat realizado por la Alcaldía de Bogotá; el Índice de Condiciones de Vida (ICV) (que valora el estándar de vida mediante la combinación de variables de capital humano, acceso potencial a bienes físicos y otras) de la localidad de Los Mártires, obtuvo un puntaje de 91,68 sobre 100 posibles. El anterior resultado, ubica a la localidad en un punto intermedio frente a las demás de la ciudad (Figura 3-3), aun cuando este resultado está por encima de la calificación general de la ciudad (91,5) [66].

Figura 3-3. Índice de condiciones de vida por localidad 2003 - 2011 [66]

Ahora bien, es interesante observar los factores relacionados con la vivienda. El primer factor, acceso y calidad de los servicios, presenta una diferencia muy pequeña frente al puntaje máximo, apenas del 0,77%, lo que implica una cobertura casi total de servicios públicos, resultado consistente con la información reportada por las empresas prestadoras de estos servicios [66].

3.2 Situación en salud

De acuerdo a los reportes de la Empresa Social del Estado (ESE) Hospital Centro Oriente, las primeras causas de consulta externa en las sedes asistenciales Samper Mendoza, Ricaurte y Lafayette, obedecen a enfermedades infecciosas en el ciclo vital de infancia, mientras que en el de vejez lo son las enfermedades crónicas [64].

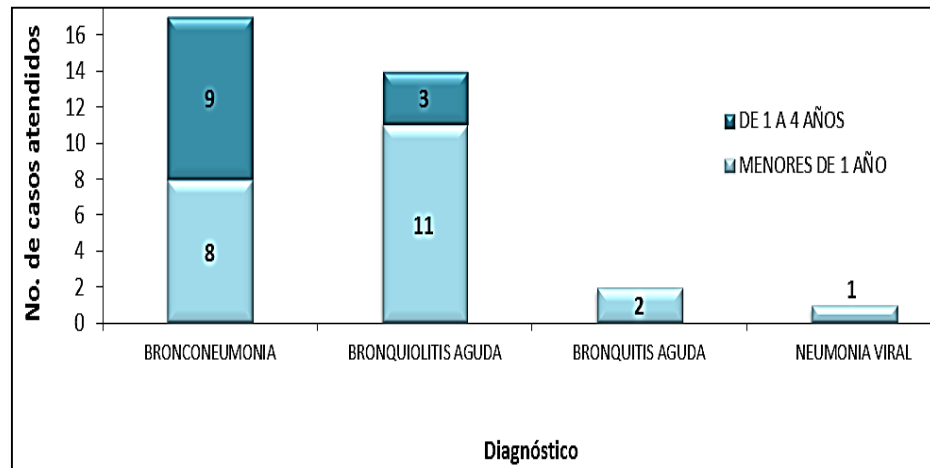
Las enfermedades respiratorias ocupan un 14,4% de las consultas por consulta externa (Tabla 3-1) y un 2,45% de las hospitalizaciones, estas consultas se ubican en el ciclo vital de infancia y en la adolescencia, acorde con el Registro Individual de Prestación de Servicio de Salud (RIPS) distrital, el servicio de consultas externas para el año 2012 fue de 2.125 pacientes, siendo la rinofaringitis y la parasitosis los principales motivos de consulta en estos ciclos respectivamente

Tabla 3-1 Distribución de Atenciones del servicio de Consulta Externa y Hospitalización en la ESE Hospital Centro Oriente año 2012 [64]

| Ciclo Vital | Servicio | Diagnostico | % |
|---------------------|-----------------|--------------------------|----------|
| Infancia | Consulta ext. | Rinofaringitis | 14.4% |
| | Hospitalización | Bronquiolitis | 2.0% |
| Adolescencia | Consulta ext. | Parasitosis | 7.1% |
| | Hospitalización | Bronconeumonía | 0.45% |
| Juventud | Consulta ext. | Astigmatismo | 12.7% |
| | Hospitalización | Enfermedad Diarrea Aguda | 0.1% |
| Adultez | Consulta ext. | Presbicia | 18.8% |
| | Hospitalización | Esquizofrenia paranoide | 1.2% |
| Vejez | Consulta ext. | Hipertensión Arterial | 22.8% |
| | Hospitalización | Esquizofrenia Residual | 6.4% |

Aunque esos datos son del año 2012, los grupos etarios sensibles tienen un alto porcentaje de consultas por enfermedad respiratoria en la localidad, para junio del año 2014, dentro de las Enfermedades Respiratorias Agudas tanto de vías aéreas superiores como inferiores en el ciclo vital de infancia atendidos en la ESE Hospital Centro Oriente (Figura 3 -4), se encontró que la bronconeumonía y la bronquiolitis aguda fueron los diagnósticos más frecuentes contribuyendo en 41,5% (17 casos) y 34,1% (14 casos) respectivamente, al total de las consultas realizadas en el período. [67]

Figura 3-4 Consultas en el ciclo vital infancia, localidad Los Mártires junio 2014 [67].

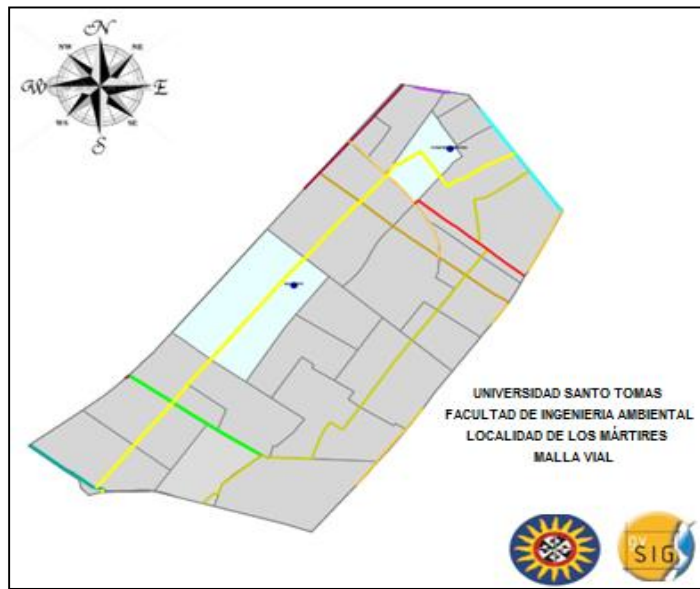


3.3 Malla vial

El sistema vial de Los Mártires está constituido por cuatro mallas jerarquizadas y relacionadas funcionalmente, así como por las intersecciones generadas entre ellas: la malla vial principal, malla arterial complementaria, malla vial intermedia y malla vial local. Este hecho incide en los problemas de alta congestión vehicular a lo largo de las vías de la localidad en horas valle, aunque con un incremento notorio en las horas pico, lo que es puesto en evidencia con la velocidad máxima de circulación, que oscila en un intervalo de 10 a 19 km/h, con una incidencia en el incremento de la contaminación ambiental por emisiones atmosféricas provenientes de fuente móviles [68].

En el Mapa 3-2, se muestran los principales corredores viales de la localidad, según el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), aproximadamente un 95,7% de estos corresponde a vías principales, dentro de las que se destacan la Avenida Ciudad de Quito (4,1 Km.), Avenida Caracas (3.1 Km), la Avenida Calle 6 (1.8 Km), la Avenida Ciudad de Lima (1.7 Km), Avenida Jiménez (1.7 Km), la Avenida de La Hortúa o Calle Primera (1.6 Km), y la Avenida Calle 26 (1.1 Km) [69].

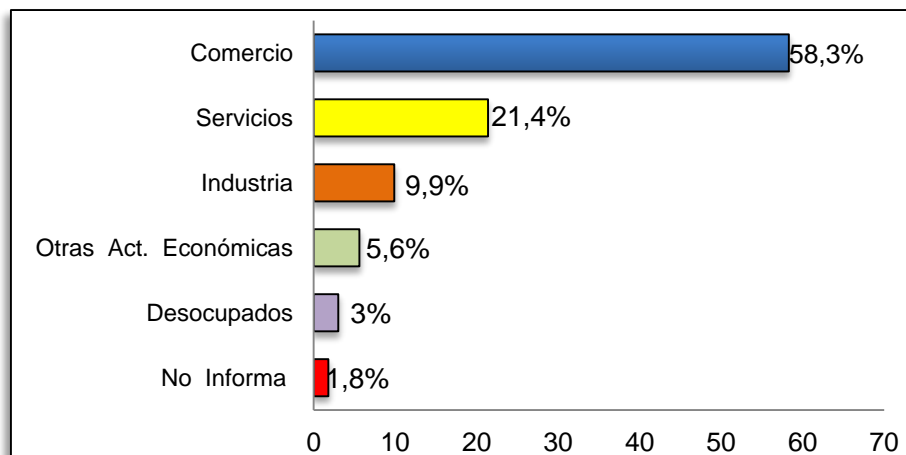
Mapa 3-2 Malla Vial localidad Los Mártires [70]



3.4 Aspectos socioeconómicos

Según el censo 2005, de los 19.630 establecimientos económicos de la localidad (Figura 3-5), el comercio representa el 58,3% de la actividad económica, seguido por las empresas de servicios con un 21,4% y la industria con el 9,9%. Solo un 3,0% de los establecimientos se encontraban desocupados y un 5,6% desarrollaban otro tipo de actividad [71].

Figura 3-5. Distribución de los establecimientos según su actividad económica [71].



Aunque el sector industrial en la zona tiene un porcentaje relativamente bajo respecto a la distribución de los establecimientos por actividad económica ha encontrado un punto importante de concentración en Los Mártires, gracias a su potencial, ya que se ubica en el cuarto nivel de jerarquía a nivel distrital, lo que evidencia la existencia de pequeñas empresas, que aunque son significativas en número no lo son en proporción de activos [66], no obstante el sector industrial representa el 28,42% de los activos totales (Tabla 3-2).

En la UPZ

La Sabana se concentra el 85,3% de las empresas con 1.460 establecimientos mientras que la UPZ Santa Isabel, cuenta con 252 lo que corresponde a un 14,7% del total de establecimientos que desarrollan sus actividades industriales en una unidad independiente [71].

Dentro de las principales empresas de la localidad se destacan: Oxígenos de Colombia S.A., Compañía Cortadora de Metales Cortametales Ltda., Servicios Automotrices Serauto Ltda., Ferretería Reina S.A. y Líquido Carbónico Colombiana S.A [66].

Tabla 3-2 Estructura empresarial localidad de Los Mártires por total de activos [66].

| Rama De Actividad CIU | Total Activos | Porcentaje % |
|--|---------------------|--------------|
| Sector Agropecuario | 17.921,84 | 1,13 |
| Sector Minero | 9.646,41 | 0,61 |
| Sector Industrial | 449.496,06 | 28,42 |
| Electricidad Gas y Agua | 728,51 | 0,05 |
| Sector de la Construcción | 14.714,34 | 0,93 |
| Comercio, Restaurantes y Hoteles | 713.853,04 | 45,13 |
| Transporte, Almacenamiento y Comunicaciones | 52.499,41 | 9,92 |
| Servicios Financieros, Inmobiliarios y Empresariales | 222.865,84 | 14,09 |
| Servicios Comunitarios, Sociales y Personales | 89.883,02 | 5,68 |
| No Clasificado | 10.092,27 | 0,64 |
| Total | 1.581.700,75 | 100 |

3.5 Aspectos ambientales

Según la información registrada por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA); la contaminación por partículas y gases es originada principalmente por las fuentes móviles que transitan por la malla vial principal (Av. Caracas, Av. Calle 19, Av. Jiménez, Av. Calle 26 y Av. Ciudad de Quito) [72].

El informe de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá muestra que la zona occidental de la localidad (Barrios Santa Isabel, Veraguas, Ricaurte y Paloquemao) presenta valores de concentración de material particulado total superior a lo permitido por la norma, asociándose estos valores al corredor vial principal de la Av. Ciudad de Quito; teniendo en cuenta la circulación del viento, la localidad recibe la polución proveniente de la zona industrial de Puente Aranda [72].

Las concentraciones medias anuales de polución son de 91%, lo que se encuentra por encima del nivel permisible (76,8 microgramos por milímetro cúbico), por lo cual la polución constituye un grave riesgo para los habitantes de la localidad [72]. Adicionalmente, existe un porcentaje importante de la localidad destinado al uso industrial, dentro del cual se ubican fábricas que emiten por chimeneas gran cantidad de residuos y partículas volátiles que sobrepasan el límite permitido, hospitales que al incinerar sus elementos de desecho emiten partículas volátiles, y recicladores e indigentes que al quemar diversos tipos de residuos sólidos contribuyen con la contaminación del aire [72].

4. Justificación

En los últimos años la calidad del aire en ciudades de América Latina ha tomado una gran importancia dentro del contexto de la contaminación atmosférica, hecho que se corrobora con el crecimiento industrial, que en muchos casos se localiza en ciudades que por diferentes factores meteorológicos, brindan condiciones ideales para la aparición de episodios de contaminación por fuentes fijas y móviles, disminuyendo notablemente la calidad de vida de la población, reflejándose en el aumento de la gravedad y la frecuencia de las enfermedades respiratorias [73].

Los problemas de salud generados por la contaminación del aire en centros urbanos cuestan billones de dólares anualmente en costos médicos y pérdida de productividad, por ejemplo en países como Bolivia, Guatemala, Ecuador, Perú y El Salvador, se estima que estos costos representan el 2% del Producto Interno Bruto (PIB) [2]. En Colombia según lo citado por el IDEAM en el informe del estado de la calidad del aire en Colombia, estos costos correspondían en 2009 al 1,1% del PIB [73].

Durante las últimas dos décadas, se han realizado esfuerzos importantes para detener la contaminación del aire en varias zonas urbanas de América Latina; Colombia se encuentra dentro de los países que han emprendido acciones activas y exitosas, al igual que México, Chile y Brasil; no obstante la contaminación del aire continua siendo un problema generalizado en los centros urbanos, ya que los mayores niveles de contaminación se presentan en las zonas urbanas y grandes centros industriales [73] [2].

Teniendo en cuenta que el Plan Decenal de Salud Pública establece como meta para el año 2021 que: “las entidades territoriales priorizadas implementen estrategias intersectoriales encaminadas a proteger la salud de la población y el bienestar humano asociado a los contaminantes presentes en el aire” [74]; ciudades como Barranquilla, Bogotá, y Medellín entre otras, requieren de estudios de la calidad del aire urbano que permitan la formulación de políticas de protección.

En este contexto, la Localidad de Los Mártires presenta condiciones geográficas y meteorológicas, que sumadas a las emisiones generadas por diferentes actividades industriales, han establecido un ambiente apropiado para el estudio de la contaminación del aire, es por ello, que en busca de soluciones al problema de calidad del aire en este sector, se seleccionó la localidad, en donde la problemática ambiental presenta dos características muy específicas.

En primera instancia, esta zona alberga un porcentaje muy alto de industrias potencialmente emisoras de Cd, Cr y Pb; y gracias al desarrollo urbano que ha tenido en los últimos años, se ha convertido en una de las zonas más importantes de la ciudad. Segundo, la gran cantidad de población flotante con que cuenta la localidad la hace un lugar de importancia para el estudio de la calidad del aire [75].

En zonas aledañas a la localidad como Puente Aranda, la presencia de altas concentraciones de material particulado se ha relacionado con la aparición de enfermedades respiratorias, siendo esta la mayor causa de morbi-mortalidad en gran parte de la zona metropolitana del Distrito Capital [76]. De acuerdo con estos antecedentes, el impacto sobre la población debido a la contaminación atmosférica en el sector, toma una gran relevancia ya que los menores son los que se ven más afectados por este problema, y se cuantifica en los costos que se generan tanto en atención como en tratamiento de las enfermedades ocasionadas por la contaminación atmosférica, además de la disminución de la calidad de vida de los habitantes.

A nivel nacional, son pocos los estudios que sobre composición del PM se han realizado; mayoritariamente los análisis que se llevan a cabo en la actualidad se basan en los datos que sobre PM_{10} o sobre PST se obtienen de las redes de calidad del aire existentes en el territorio nacional; excepción hecha al estudio de Pachón (2004), el cual desarrolló un análisis de contenido de metales pesados e HAP en material particulado de algunos municipios de la región cundiboyacense (Soacha, Sibaté, Cajicá y Tausa) con base en la información de la Secretaria de Salud de Cundinamarca [77].

Los estudios relacionan el material particulado, pero éste es una agente compuesto de varias sustancias, entre ellas metales pesados como el plomo, el cadmio y el cromo que pueden ser los causantes de un sin número de enfermedades. Es por ello que el establecer la presencia de metales pesados en el material particulado permite determinar de qué manera se ha generado una asociación, entre el material particulado y las trazas de metales

Aunque existen estudios y datos actualizados sobre la calidad del aire en Bogotá, para la localidad de Los Mártires no se cuenta con una base de datos confiable que responda a mediciones de niveles constantes, debido a que no se cuenta con una estación de monitoreo en el sector [78]. Un modelo de recepción de Cd, Cr y Pb en la localidad, permite identificar la presencia de estos metales en el material particulado y a su vez evaluar si las concentraciones de estos elementos representan un riesgo toxicológico.

Así mismo, permite analizar el comportamiento de los metales pesados a analizar (Plomo, cadmio y cromo) y complementar los modelos de dispersión para el análisis de las contribuciones de contaminantes hechas por las distintas fuentes industriales. Aunque el análisis elemental de los contaminantes atmosféricos es necesario, no es suficiente para determinar el comportamiento de los mismos y las posibles afecciones en la salud de la población expuesta.

Por tal motivo el modelo de recepción presenta la posibilidad de observar los comportamientos del plomo, el cadmio y el cromo en el ambiente y su recepción por parte de la comunidad brindando una herramienta eficaz a las autoridades para la solución de este problema de salud pública, en concordancia con las estrategias planteadas en el Plan Decenal de Salud Pública para la dimensión de Salud Ambiental y contribuyendo al cumplimiento de las metas para el año 2021, que permitan plantear políticas de protección ambiental eficaces de acuerdo con las necesidades reales del sector.

5. Objetivos

5.1 General

- Desarrollar un modelo de recepción para determinar el comportamiento del Plomo, Cadmio y Cromo contenidos en material particulado respirable en la localidad de Los Mártires, en la ciudad de Bogotá D.C

5.2 Específicos

- Desarrollar un modelo de dispersión de las concentraciones de Plomo, Cadmio y Cromo contenidas en material particulado respirable en la localidad de Los Mártires, en la ciudad de Bogotá D.C
- Determinar las concentraciones de Plomo, Cromo y cadmio contenidos en material particulado respirable mediante la metodología IO3.1 y IO3.2 de la Environmental, Protection Agency (USEPA) de los Estados Unidos.
- Diseñar los procedimientos de control de calidad – blancos de referencia, repeticiones, límites de detección y porcentaje de recuperación para garantizar la reproducibilidad de los datos
- Comparar la concentración de metales encontrados en el material particulado, con los niveles de referencia de la Environmental, Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos.

6. Metodología

Este estudio es un estudio exploratorio, que permitirá obtener nuevos datos y elementos que pueden conducir a formular con mayor precisión inquietudes frente al comportamiento de los metales pesados presentes en el material particulado respirable de la Localidad de Los Mártires. Se hizo con el fin de proporcionar una serie de datos de calidad del aire que permitan vislumbrar el comportamiento de estos elementos en las emisiones de la localidad.

.Para el desarrollo del modelo de recepción de cadmio, cromo y plomo en la localidad de Los Mártires, en primera instancia se llevó a cabo un inventario de fuentes de contaminación atmosférica con el fin de caracterizar las fuentes y establecer cuáles de ellas aportaban emisiones con contenidos de estos metales.

Una vez establecidos los tipos de fuentes, se procedió a ubicar las estaciones de monitoreo, de acuerdo a lo establecido por el IDEAM en el Protocolo de Vigilancia de Calidad del Aire, incluyendo entonces la selección de los filtros, la calibración de los equipos y la cadena de custodia de las muestras.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Elementos Traza de la Universidad de La Salle, posteriormente con las concentraciones obtenidas se analizaron los resultados y se alimentó el modelo a desarrollar (software Environmental Lakes).

6.1 Inventario de fuentes de contaminación atmosférica.

De acuerdo al Plan Ambiental Local de Salud Ambiental 2012 (PALSA), la contaminación atmosférica en la localidad tiene como origen las actividades industriales y el alto flujo vehicular que transita por la malla vial local. Apoyándose en estas consideraciones, las fuentes de emisión, fijas, fugitivas y móviles en Los Mártires, tienen una gran incidencia en la problemática ambiental del sector, ocupando el tercer lugar dentro de la priorización de aspectos ambientales asociados con incidencia en la salud de la población [75].

Con el fin de establecer las fuentes de contaminación del aire se desarrolló un inventario de fuentes de contaminación atmosférica basado en la recopilación de información primaria y secundaria que permitiera determinar las fuentes fijas y fugitivas, es decir, las industrias que podrían estar emitiendo a la atmosfera cadmio, plomo y cromo de acuerdo a su proceso productivo.

El inventario recopila datos básicos como la ubicación, cantidad y tipo de industria; según las zonas de la localidad en donde se concentran los establecimientos económicos que

pueden ser generadores de los metales mencionados anteriormente y de una u otra forma contribuir al incremento de las concentraciones de estos elementos en la atmosfera.

6.1.1 Fuentes fijas y fugitivas.

Para determinar las fuentes fijas y fugitivas que emiten los tres metales en estudio, fue necesario realizar una selección del área de influencia en la investigación, teniendo en cuenta los límites de la localidad, es decir se tomaron como límites hacia el Norte la Av. Calle 26, al Sur la Calle 1ª, al oriente la Av. Caracas y al Occidente la Av. Ciudad de Quito; encontrando que en los barrios Samper Mendoza, Paloquemao y Ricaurte, está la mayor concentración de industrias.

Una vez establecido el perímetro, un primer inventario elaborado por la SDA fue la base para estimar el número de industrias de interés, que permitieron posteriormente cruzar la información obtenida con el Mapa de Industria y Ambiente de la Secretaría Distrital de Salud (SDS), el cual contempla la información sobre las industrias ubicadas en las 21 localidades de la ciudad de Bogotá, en la localidad se obtuvo luego de un filtro, un total de 3.961 establecimientos económicos.

Hecha la selección fue necesario realizar un filtro por actividad económica y por el código de Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) considerando criterios de selección como: las industrias cuyas materias primas e insumos contienen alguno de los tres metales (Cr, Cd, Pb), y que las actividades puedan emitir alguno de los metales, en la Tabla 6 -1 se relacionan las principales actividades y tipos de industria seleccionados de acuerdo al código CIIU.

Tabla 6-1. Clasificación industrias localidad Los Mártires por código CIIU [79]

| Código CIIU | Actividad económica | Sector |
|--------------------|--|----------------------|
| 1811 | Actividades de Impresión. | Litográfica |
| 2823 | Fabricación de maquinaria para la metalurgia. | Metalmecánica |
| 2511 | Fabricación de productos metálicos para uso estructural. | |
| 2591 | Forja, prensado, estampado y laminado de metal; metalúrgica. | Oxicorte |
| 2431 | Fundición de hierro y de acero. | Metalúrgica |
| 4520 | Mantenimiento y reparación de vehículos automotores (Talleres de mecánica, latonería y pintura). | Latonería y Pintura. |

| | | |
|------|--|--|
| 4542 | Mantenimiento y reparación de motocicletas y de sus partes y piezas. | |
|------|--|--|

Una vez cruzadas las bases de datos de la SDS y SDA, fue necesaria la verificación en campo de cada una de las industrias, para ello se realizaron visitas al sector con el fin de georeferenciar cada una de las industrias, verificar su existencia, la actividad económica e identificar el tipo de fuente (fija o fugitiva).

Con la información recolectada en campo, fue posible evidenciar la inexistencia de varias empresas, aunque algunas se encontraban en la base de la SDA pero no en el Mapa de Industria y Ambiente, y viceversa. En otros casos las empresas habían sido reemplazadas por actividades económicas diferentes a las de interés en esta investigación, por lo que se procedió a excluirlas del inventario.

6.1.2 Fuentes móviles

Para las fuentes móviles fue recopilada la información de la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM), de acuerdo con ella, el mayor flujo vehicular de localidad está aproximadamente en la Av. Ciudad de Quito, entre la calle 1ª y la calle 3ª con 152.214 y 108.881 vehículos hora respectivamente; dentro de los cuales predominan los vehículos livianos y las motos [80].

La Av. Caracas con calle 19 y la Carrera 27 con Calle 6ª, siguen en el orden de mayor volumen de automotores en desplazamiento, el tránsito constante de estos vehículos por estas vías, es considerado una fuente potencial de emisión de material particulado, contribuyendo en grandes cantidades al incremento de concentraciones que contienen trazas de algunos de los metales en estudio, los que a su vez pueden suspenderse a la atmosfera.

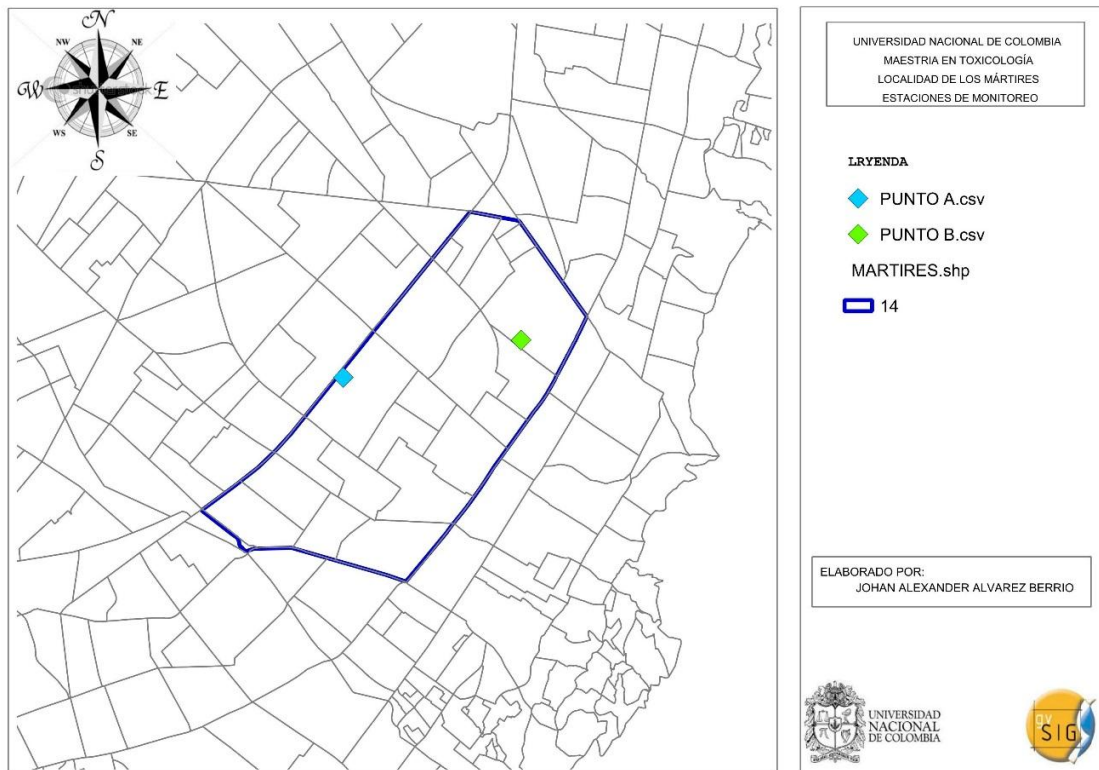
Esta información es necesaria para llevar a cabo una estimación de la cantidad de fuentes móviles que transitan por la localidad y determinar el área donde se presente la mayor presencia de contaminantes y su estimación según el tipo de combustible que utilice el vehículo.

6.2 Monitoreo atmosférico

Una vez actualizadas las fuentes de emisión de la localidad se procedió a realizar el monitoreo atmosférico del material particulado, dentro de los criterios de selección tenidos en cuenta para la ubicación de las estaciones se encuentran: la localización geográfica del área, datos climatológicos, fuentes de emisión, áreas residenciales, receptores, seguridad y acceso, razón por la cual la decisión fue ubicar las estaciones en dos colegios de la localidad en cercanías a dos de los sectores con mayor número de industrias en los barrios Samper Mendoza y Ricaurte.

En el Mapa 6-1 se observa la ubicación de las estaciones de muestreo. La primera estación (denominada Punto A) fue instalada en la IED Ricaurte (Calle 10 No. 29-64) ubicada en el sector occidental de la localidad en el barrio del mismo nombre, mientras que el “Punto B”, se instaló en la IED República Bolivariana de Venezuela sede A (Calle 22A No. 18B- 42) barrio Samper Mendoza, sector nororiental.

Mapa 6-1 Ubicación estaciones de muestreo.



6.2.1 Equipos e insumos

El monitoreo atmosférico se realizó de manera conjunta con la Universidad de La Salle y la Universidad Santo Tomás, en la primera se realizaron las pruebas de laboratorio, incluyendo la adecuación inicial de los filtros, la segunda aportó los dos equipos muestreadores de alto volumen, de flujo másico, marca Tish Environmental; uno para PST y otro para PM₁₀. La Tabla 6-2 muestra las referencias y series de los equipos utilizados en el monitoreo atmosférico.

Tabla 6-2. Características de los equipos de muestreo.

| Equipo | Marca | Referencia | Serie | Estación |
|--------------------------|---------------------|---------------------|--------------|---------------------------|
| Hi-Vol. PST | Tisch Environmental | USEPA RFPS-0202-141 | TE-HVPLUS-BL | IED República Bolivariana |
| Hi-Vol. PM ₁₀ | Tisch Environmental | USEPA RFPS-0202-141 | TE-6070DV | IED Ricaurte |

En la Foto 6 - 1 se aprecian los equipos de monitoreo. En el costado derecho se visualiza el equipo TSP ubicado en el punto de muestreo B, seguido del equipo PM₁₀ ubicado al lado derecho de la fotografía, este fue instalado en el punto de muestreo A.

▪ Selección y preparación de los filtros

Los filtros seleccionados eran de fibra de cuarzo, conforme a lo postulado en la metodología IO 3.1 de la USEPA, gracias a que tienen una alta eficiencia en la recolección de partículas en suspensión de cualquier tamaño y descripción [53], además de permitir el análisis de concentraciones de metales mediante las metodologías analíticas existentes.

Foto 6-1 Equipos High Vol.

El número de filtros a utilizar se calculó apoyándose en el tiempo de muestreo (18 días) establecido por el IDEAM (2005), requiriendo un total de 37 filtros incluyendo el blanco de referencia; estos filtros se rotularon y acondicionaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de La Salle. Para ello, fueron ubicados en el desecador durante un periodo de 24 horas, luego pesados en una balanza analítica, obteniendo así el peso inicial para situarse nuevamente en el desecador por espacio de una hora

con el fin de repetir el pesaje y obtener el peso final, de forma tal que el porcentaje de error fuese inferior al 5% de la operación pre-campo (Ver Anexo A).

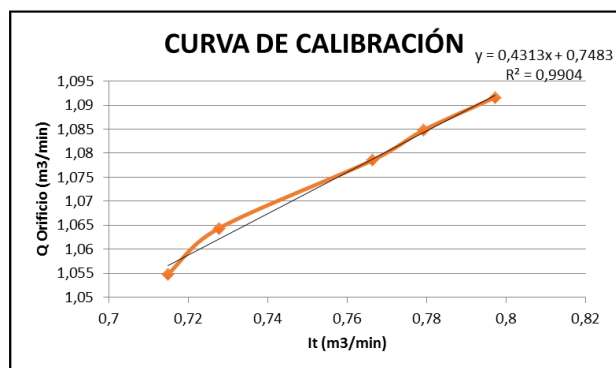
6.2.2 Calibración de Equipos Muestreadores.

Con antelación al periodo de muestreo y según lo estipulado en el Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire del IDEAM, la calibración de los equipos fue realizada in situ, verificando el flujo continuo durante la medición con un sistema de resistencia de flujo variable, que garantiza la confiabilidad, representatividad y validez de las muestras, para ello se contó con un equipo calibrador de cilindro y discos marca Tisch Environmental como lo muestra la Foto 6 - 2.

Foto 6-2. Calibrador de cilindro marca Tisch Environmental



La curva de calibración de los equipos se observa en la Figura 6-1, a través de ella puede evidenciarse una correlación directa el caudal del orificio y el volumen recolectado por el equipo, lo que evidencia que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el IDEAM (2005). Cabe aclarar que los equipos fueron calibrados con antelación al muestreo.

Figura 6-1 Curva de calibración para los equipos Hi – vol. y PM₁₀

6.3 Muestreo material particulado.

El muestreo se realizó en un periodo de 18 días con un intervalo de recolección de cada muestra de 24 horas [49], iniciando el martes 27 de mayo de 2014 y finalizando el viernes 13 de junio del mismo año. Cada muestra fue recolectada mediante un filtro de cuarzo reemplazado cada 24 horas, en el momento del cambio fueron tenidos en cuenta algunos factores como: la dirección y velocidad del viento, temperatura ambiente, precipitación, y hora entre otros, de acuerdo a lo establecido en las cadenas de custodia del Anexo A.

Las muestras fueron recolectadas a las 11:00 am de cada día o máximo 15 minutos después de la hora preestablecida con el fin de no alterar los resultados bien sea por condiciones meteorológicas o por errores en campo. Cada filtro fue rotulado con la fecha, hora de recolección, punto de muestreo y el nombre de quien recolectó la muestra, luego se transportaron dentro de una nevera controlando la temperatura entre 3°C y 4°C, para posteriormente ser almacenadas en el LEAT.

6.4 Análisis de laboratorio

El análisis de los filtros fue hecho en tres etapas: determinación gravimétrica, extracción de Material Particulado (PST y PM₁₀), y determinación de concentraciones de Cd, Cr y Pb por ICP/MS.

6.4.1 Determinación gravimétrica

Una vez recolectadas todas las muestras se procedió al pesaje de los filtros en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de La Salle, con el mismo procedimiento ejecutado antes de iniciar el muestreo: un primer pesaje antes de ser puestos en un desecador durante 24 horas, una vez retirados se dejó un tiempo de espera de 1 hora para ser pesados nuevamente y de esta manera determinar el peso final y hallar el porcentaje de error de la operación post-campo.

Durante este procedimiento factores como la humedad relativa y la temperatura pueden afectar las concentraciones en las que se encuentran las muestras según la USEPA (1999) por lo que en el método IO 3.1 sugiere tener en cuenta estos parámetros (Tabla 6-3), citado por la CAR (2010), por lo cual se midieron en laboratorio y controlaron de tal forma que cumpliesen con lo señalado en el método.

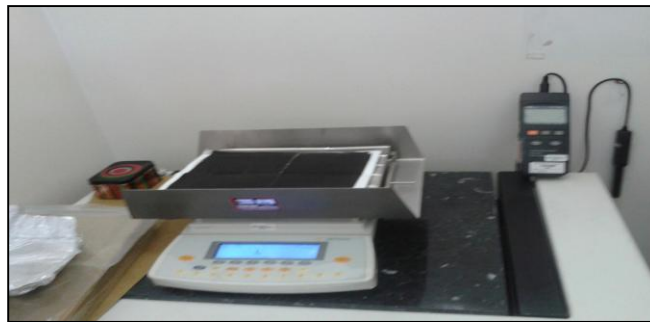
Tabla 6-3 Condiciones de temperatura y humedad relativa según el procedimiento 40 CFR 50 para PST y PM₁₀ [81]

| Parámetro | Temperatura | Humedad Relativa |
|------------------|-------------|------------------|
| PST | 15 a 30 °C | 15% a 50% |
| PM ₁₀ | 15 a 30 °C | 15% a 45% |

Dentro de los parámetros del área de influencia donde estaban ubicadas las estaciones de muestreo que se tuvieron en cuenta para la determinación de las concentraciones de material particulado (PM₁₀ y PST) se encuentran la temperatura promedio (grados Kelvin), la presión barométrica (milímetros de mercurio), además de parámetros propios de la medición como el caudal estándar (m³/s), tiempo de monitoreo (minutos por muestra) y la masa del filtro (gramos).

En la Foto 6-3 se aprecia la balanza analítica en la cual se pesaron los filtros.

Foto 6-3 Pesaje de filtros en balanza analítica



Basándose en la técnica para la medición de partículas en suspensión mediante cuantificación gravimétrica se realizó la determinación del material particulado contenido en cada muestra. El volumen total de aire muestreado fue corregido a las condiciones estándar de la USEPA (273 °K, 760 mm Hg) a partir de la tasa de flujo medido y el tiempo de muestreo verificando que las condiciones de la sala de pesaje estuvieran dentro de los límites como se mencionó anteriormente y controlando el equilibrio y peso de los filtros a

condiciones atmosféricas con una temperatura de $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa menor al 50% (normalmente $50 \pm 5\%$ de humedad).

6.4.2 Extracción de Material Particulado (PST y PM_{10})

Una vez pesados cada uno de los filtros se procedió a calcular las PST y el PM_{10} , para el caso de PST la diferencia entre el peso final y el inicial de cada filtro (W_f y W_i) multiplicado por un factor de conversión de 10^6 se divide entre el volumen de aire muestreado, convertido a condiciones estándar, para determinar el material (ver Ecuación (6.1)) [49].

$$CPST = \frac{10^6 * (W_F - W_I)}{V_{Std}} \quad (6.1)$$

Ecuación 6-1 Concentración Partículas Suspensas Totales

De igual modo en el cálculo de la concentración de PM_{10} la diferencia de pesos se multiplica por un factor de 10^6 y se divide entre el volumen total de aire muestreado a condiciones estándar (ver Ecuación (6.2)).

$$CPM_{10} = \frac{10^6 * (W_F - W_I)}{V_{Std}} \quad (6.2)$$

Ecuación 6-2 Concentración PM_{10}

Este volumen total de aire muestreado a condiciones estándar de las Ecuaciones 6.1 y 6.2 se calculó como el producto entre el caudal de aire muestreado y el tiempo total de muestreo (ver Ecuación (6.3))

$$V_{std} = Q_{std} * t \quad (6.3)$$

Ecuación 6-3. Volumen estándar

Mientras que el cálculo del caudal a condiciones estándar se calcula multiplicando el caudal de aire muestreado a condiciones reales (Q_a) por el cociente de la presión barométrica promedio durante el periodo de muestreo y la presión barométrica estándar; y el cociente de la temperatura ambiente promedio durante el periodo de muestreo y temperatura estándar (ver Ecuación (6.4)).

$$Q_{std} = Q_a \left(\frac{P_a}{P_{std}} \right) \left(\frac{T_{std}}{T_a} \right) \quad (6.4)$$

Ecuación 6-4 Caudal estándar

Una vez realizados estos cálculos para cada uno de los filtros utilizados se calcularon las concentraciones de PM_{10} y PST.

6.4.3 Determinación de concentraciones de metales por ICP - MS.

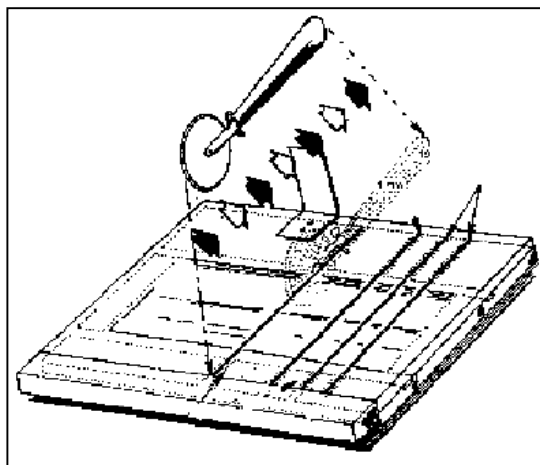
Aunque en los objetivos se estableció que la determinación de los metales en estudio se haría mediante la metodología de la USEPA IO 3.2 para la determinación de metales en material particulado usando espectrofotometría de absorción atómica (aa), se descartó este método ya que tiene la dificultad de la interferencia espectral [82]. Una muestra se compone de muchos átomos diferentes, que emiten radiación simultáneamente a diferentes longitudes de onda. Si las longitudes de onda son muy próximas (1 y 2 nanómetros) se pueden producir fácilmente interferencias espectrales que no permiten confirmar en una muestra la presencia simultánea de dos metales [82].

La espectrometría de masas es una metodología de detección elemental que ofrece prestaciones superiores a las de cualquier modalidad de espectroscopía atómica, mayor sensibilidad, gran intervalo de linealidad y una mayor estabilidad de señal. Puede medir simultáneamente la mayoría de los elementos del sistema periódico [82].

Por las razones anteriormente expuestas los metales presentes en el material particulado se analizaron bajo la aplicación de la metodología IO 3.5 para la determinación de metales en partículas utilizando plasma de acoplamiento inductivo / Espectrómetro de Masas ICP/MS de la USEPA. Este procedimiento se desarrolló en el LEAET de la Universidad de La Salle.

Previo a la digestión los filtros fueron divididos en 9 partes iguales con un cortador con un filo menor a 1 mm de espesor con un corte transversal como se muestra la Figura 6 – 2 buscando que cada tira tuviese la misma longitud y el mismo ancho, después de cortadas las tiras, fueron pesadas una por una y transferidas a un vaso de precipitado de polipropileno con capacidad de 100 ml para ser cortada una vez más en trozos y cubierta con fibras plásticas agujeradas.

Figura 6-2. Preparación de filtros para la digestión. [83]



Los elementos de manipulación de los filtros eran de plástico y estaban recubiertos con papel vinipel previamente lavado con hexano (C_6H_{14}).

Una vez puestas las tiras en los vasos, se procedió a realizar la digestión de cada muestra, para ello, se adicionaron 30 ml de una solución ácida compuesta por ácido clorhídrico al 5,55% y ácido nítrico al 16,75% y se procedió a tapar con papel vinipel cada vaso.

Para la extracción de las muestras se empleó un equipo de ultrasonido, en el cual se introdujeron cada una de las muestras y se adicionó agua hasta que quedará justo por debajo del nivel de ácido para estabilizarlo. Con la tapa del equipo cerrada, se llevó a una temperatura de 60 °C. El proceso tuvo una duración aproximada de 3 horas, luego de las cuales las muestras fueron removidas y se dejaron secar por un periodo de 30 minutos.

En la Foto 6 – 4 es posible apreciar el equipo de ultrasonido empleado para la extracción en medio ácido y los vasos de precipitados con papel vinipel de cada una de las muestras analizadas.

Foto 6-4 Equipo de ultrasonido para extracción en medio ácido. (Unisalle 2014)



Las muestras resultantes del proceso de extracción debieron ser filtradas; al postre estas fueron filtradas con el objetivo de desechar el material insoluble, este paso es indispensable y de sumo cuidado ya que evita daños al equipo de medición. Este procedimiento consistió básicamente en introducir en un balón aforado de 50ml un embudo con papel filtro de tamaño adecuado, que luego fue aforado con agua desionizada y se agitó hasta obtener una muestra homogénea, para finalmente envasarse en vasos de 25 ml cada uno (Foto 6 – 5).

Una vez filtradas las muestras, se extrajeron 75 ml de la solución obtenida, en muestras individuales de 25 ml cada una. Esta cantidad es la mínima requerida para el análisis de cada metal, este volumen se mezcló y envasó en balones aforados esterilizados de 25 ml, que fueron llevadas a un espectrómetro compacto de emisión ICP ICAP 6300 (Foto 6-6) en el LEAET de la Universidad de La Salle.

Foto 6-5. Muestras filtradas.



Las características técnicas del ICAP 3600 se presentan en la Tabla 6-4. En este equipo y de acuerdo al método se busca una relación lineal entre la concentración y la emisión de plasma, siendo esta última la variable dependiente.

Tabla 6-4 Especificación técnica ICAP 6300. [84].

| Especificación Técnica | |
|---|-------------------------|
| Rango de longitud de onda | 166 - 847 nanómetro |
| Ancho de banda espectral | 7 pm. en 200 nanómetro |
| Control de flujo gas plasma | Fijo 12 l./min de argón |
| Control de flujo gas Nebulizador | 0 - 1.5 l./min |
| Longitud focal eficaz | 383 milímetros |

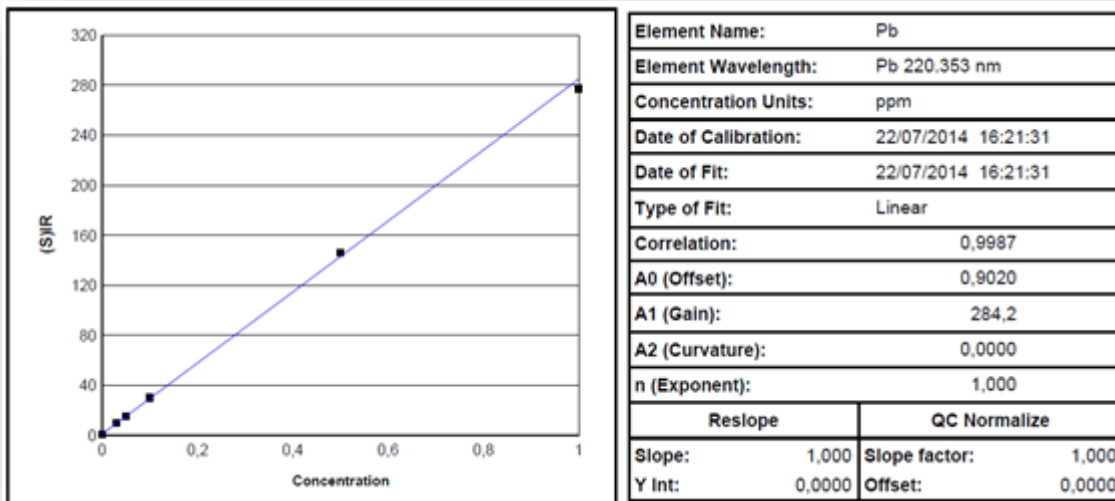
Los patrones de la curva de calibración se prepararon a partir de un patrón primario certificado (Unisalle 2014), de este patrón primario fue extraída una alícuota con el fin de evitar la contaminación del mismo. A partir de esta alícuota, se prepararon 6 patrones

secundarios para mayor exactitud en la curva, el factor de correlación obtenido durante este procedimiento fue de 0,9987, como se muestra en la Figura 6 -3.

Foto 6-6 Equipo 6300 Laboratorio de trazas Universidad de La Salle (Unisalle 2014).



Figura 6-3 Curva de calibración patrones (Unisalle 2014)



Con la curva de calibración obtenida, cada una de las muestras es puesta en el equipo mediante el cual se da lectura a cada una de las concentraciones de los tres metales las lecturas arrojadas por el equipo fueron multiplicadas por un factor de 9 con el fin de que estos resultados representarán el total de concentraciones de plomo, cadmio y cromo recolectadas en cada uno de los filtros de 8 "x 10" que se utilizaron para la digestión, teniendo en cuenta la división de las 9 tiras hecha para la preparación de las muestras.

Con las trazas de los tres metales, obtenidas mediante el uso de la ICP/MS, se desarrollaron los cálculos para obtener las concentraciones de los metales pesados. La concentración de cada metal se obtiene a partir de la Ecuación 6.5, la cual se define como el producto de la concentración obtenida por ICP/MS por el volumen de digestión

multiplicado por un factor de 9 y la concentración de los filtros en blanco todo esto dividido sobre el volumen de aire estándar de la Ecuación 6.3

$$\text{Concentración de Metal} = \frac{\left[\left(\frac{\mu\text{g Metal}}{\text{mL}}\right) * (\text{Volumen de digestión} * 9 - F_m)\right]}{V_{\text{std}}} \quad (6.5)$$

Ecuación 6-5. Concentración del metal

6.5 Análisis estadístico

Teniendo en cuenta que existe un conjunto de variables que pueden incidir directa o indirectamente en el comportamiento de las concentraciones de PM_{10} , con factores meteorológicos influyentes en la dispersión o recepción de dichos contaminantes, se utilizó el programa SPSS para determinar el coeficiente de correlación de Spearman o Pearson de acuerdo al caso. Como primera medida se identificó si las variables a analizar eran de tipo nominal u ordinal, para analizar con la prueba de Shapiro Wilk si eran normales o no normales.

Para datos normales es necesario asumir el coeficiente de Pearson mientras que para datos no paramétricos (distribución no normal) el método de correlación Spearman buscando que la relación de las variables sea estadísticamente válida. También se realizaron diagramas de Cajas-Bigotes, donde se describieron las características importantes, como la dispersión y simetría; los datos se representan en tres cuartiles, valores mínimos y máximos.

6.6 Comparación de los resultados con la normatividad

Las concentraciones de PST se compararon con la normatividad nacional vigente; mientras que el PM_{10} se comparó además con los valores internacionales de la USEPA, la OMS y la UE.

La Resolución 610 de 2010 establece los Niveles Máximos Permisibles para PM_{10} y PST, Pb y Cd. Estos valores se fijan para un tiempo de exposición determinado de acuerdo al contaminante, no obstante estos valores deben ser corregidos a la norma local con el fin de que los límites permisibles estén de acuerdo a las condiciones propias del lugar de muestreo [60].

Para ello se deben emplear las condiciones locales determinadas por la presión y temperatura promedio del lugar o sitio de muestreo, localizado a alturas diferente a la del nivel del mar.

$$N.L = N.C.R \times \frac{p.b \text{ local}}{760} \times \frac{298 \text{ } ^\circ K}{273 + T^\circ C} \quad (6.6)$$

Ecuación 6-6. Norma Local Corregida

Dónde:

NL: Norma de la calidad del aire Local.

NCR: Norma de calidad del aire a condiciones de referencia

p.b local: Presión barométrica promedio local, en mm de mercurio

T°C: Temperatura ambiente promedio local, en grados centígrados.

6.7 Cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA)

Se calculó el Índice de Calidad del Aire (ICA) con el fin de determinar en qué nivel se encuentra en la localidad según los datos obtenidos, para zonificar el riesgo en conjunto con los datos de metales modelados.

Este índice es un indicador diseñado para determinar qué tan contaminado se encuentra el aire facilitando la comprensión del vínculo entre los niveles de contaminación del aire y los efectos en la salud. Con este fin, el índice se divide en seis categorías, cada una corresponde a un intervalo en el índice y señala el nivel de riesgo para la salud (Tabla 6-5). Para simplificar su interpretación cada intervalo se representa mediante un color [85].

Tabla 6-5 Índice de Calidad del Aire [85]

| Intervalo | Clasificación |
|-----------|------------------------------|
| 0-50 | Buena |
| 51-100 | Regular |
| 101-150 | Dañina para grupos sensibles |
| 151-200 | Dañina a la salud |
| 201-300 | Muy dañina a la salud |
| 301-500 | Peligrosa |

El valor del ICA es adimensional, y lleva una escala numérica entre 0 y 500, con rangos intermedios representados por diferentes colores. En Colombia ha sido adoptado de la USEPA y mide los siguientes contaminantes: monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de Nitrógeno, PM₁₀, PM_{2.5}, y ozono troposférico; es calculado a partir de la Ecuación 6-7, que corresponde a la metodología utilizada por la USEPA [86]

$$ICA = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} (C_i - BP_{LO}) + I_{LO} \quad (6.7)$$

Ecuación 6-7 Índice de calidad del aire.

Dónde:

ICA = Índice de calidad del aire.

C_i = Concentración medida para el contaminante

BP_{Hi} = Punto de quiebre de la concentración en el límite superior de la categoría del ICA.

BP_{Lo} = Punto de quiebre de la concentración en el límite inferior de la categoría del ICA.

I_{Hi} = Valor del índice en el límite superior de la categoría del ICA.

I_{Lo} = Valor del índice en el límite inferior de la categoría del ICA.

Los puntos de corte de la ecuación 6-7 son los establecidos en la Tabla 6-6

Tabla 6-6 Puntos de corte del ICA para PM_{10} [86]

| Intervalo | Puntos de corte PM_{10} $\mu g/m^3$ |
|-----------|--|
| 0-50 | 0 |
| | 54 |
| 51-100 | 55 |
| | 154 |
| 101-150 | 155 |
| | 254 |
| 151-200 | 255 |
| | 354 |
| 201-300 | 355 |
| | 424 |
| 301 - 500 | 425 |
| | 504 |

6.8 Modelo de calidad del aire

Se utilizaron dos modelos de la USEPA: el modelo UNMIX y el modelo Environmental Lakes. El primero se seleccionó, ya que permite calcular el número y el tipo de fuentes de emisión y sus contribuciones relativas. El segundo permite evaluar los efectos de la dispersión por flotación inducida de los contaminantes en dirección a la fuente receptora; es decir funciona como un modelo de dispersión del contaminante y luego permite incorporar los datos obtenidos para evaluar la recepción del mismo [56].

6.8.1 Selección de receptores

Considerando la clasificación del ICA y su influencia sobre los grupos etarios sensibles se determinaron los receptores en vista de la ubicación de los lugares en donde esta

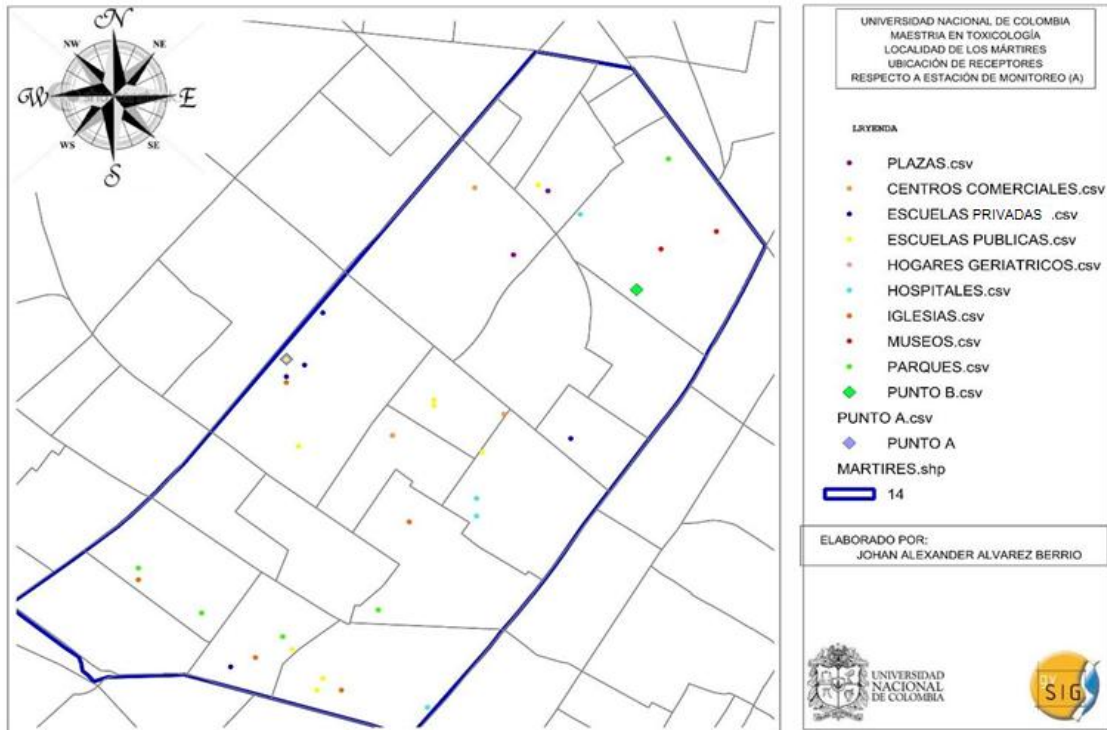
población se encuentra conglomerada. Para ello se tuvo como criterio de selección los lugares con alta afluencia de público y que albergarán población sensible.

Se priorizaron centros educativos, hospitales y clínicas, iglesias, centros comerciales, museos, plazas y parques. Para cada uno de ellos se establecieron las coordenadas de ubicación, con base en la georeferenciación hecha en el trabajo de campo, con la que se actualizó el inventario de fuentes de emisión.

Todas las instituciones educativas distritales fueron seleccionadas, entre tanto, solo se tuvieron en cuenta las privadas con un número de estudiantes superior a 200, excluyendo a las que se encontrasen en el área de influencia de las distritales. Aunque la localidad tiene un gran número de hogares geriátricos, no constituyen un receptor de importancia por la poca población que albergan, así que solo se incluyó uno de ellos por su representatividad en este sentido.

En el Mapa 6-2 es posible observar la ubicación de los receptores seleccionados, incluyendo otros tenidos en cuenta como: hospitales; centros comerciales más representativos en tamaño, ubicación y afluencia de público; parques; iglesias católicas; plazas de mercado y museos.

Mapa 6-2 Localización de receptores



6.8.2 Ejecución del modelo

Para la ejecución del modelo es necesario contar con algunos datos básicos de entrada, estos datos dependen de las características de la zona de influencia en la cual se hará la modelación, de acuerdo a la información recopilada con el ICA; a la selección de receptores; al modelo UNMIX y a la validación de datos hecha en campo, se estimaron los datos de entrada solicitados por el modelo.

Como el modelo está diseñado como un programa interactivo responde a unas señales de entrada proporcionadas por el mismo, permitiendo que el usuario pueda ejecutarlo seleccionando en primera instancia el tipo de fuente y solo hacer uno o unos cuantos cambios en los parámetros de entrada. La fuente seleccionada fue volumétrica ya que es empleada para emisiones que ocupan un volumen inicial.

7.Resultados

7.1 Inventario de fuentes

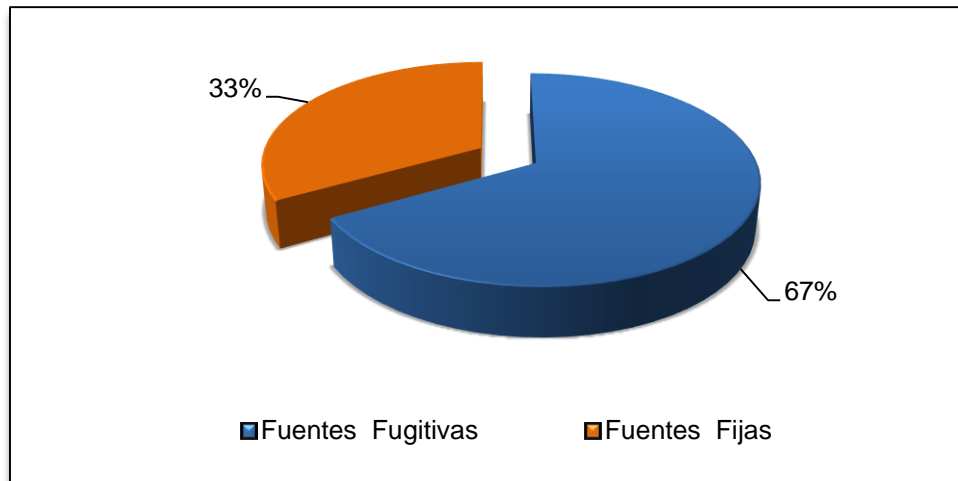
El resultado final de industrias en la localidad que emiten uno de los tres metales de acuerdo al inventario de fuentes fijas elaborado, y clasificadas según su actividad industrial y el tipo de fuente de emisión se presenta en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1 Inventario parcial de industrias que emiten Cr, Cd y Pb en la localidad [79].

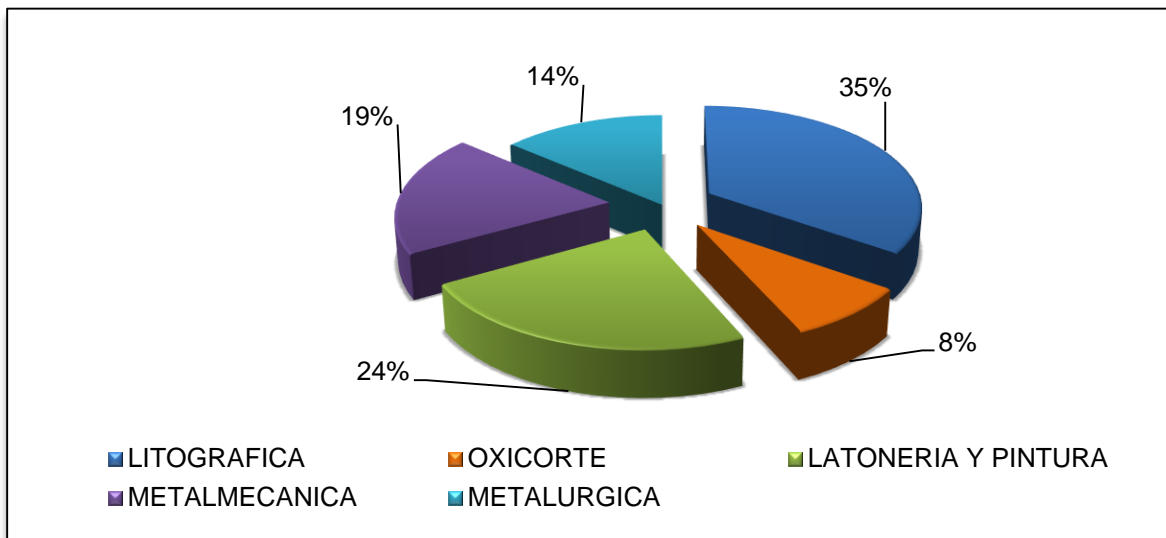
| Tipo de Fuentes | Tipo Actividad Industrial | Total de Industrias |
|------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Fugitivas | Litográfica | 237 |
| | Oxicorte | 58 |
| | Latonería y Pintura. | 161 |
| Fijas | Metalmecánica | 132 |
| | Metalúrgica | 94 |
| Total Fuentes | | 682 |

El resultado del filtro muestra un total de 682 industrias que emplean y/o generan emisiones de alguno de los tres metales en su proceso productivo, de las cuales 523 utilizan o tienen emisiones de cromo, 154 cadmio y 264 plomo..

De las fuentes de emisión de los metales en estudio, el 67% corresponden a fuentes fugitivas (Figura 7-1) para un total de 456 fuentes correspondientes a actividades de litografía, oxicorte y latonería y un 33% de fuentes fijas que corresponden a 226 industrias de metalmecánica y metalurgia.

Figura 7-1 Proporción de fuentes de emisión según su tipo [79].

En la Figura 7-2 la actividad con más participación en la localidad es la industria litográfica con un 35% del total de empresas, seguida de la actividad de latonería y pintura con un 24%, fuentes de metalmecánica 19%, metalúrgica con un 14% y por último empresas dedicadas a oxicorte con 8%.

Figura 7-2 Proporción de fuentes de emisión por tipo de industrias [79]

Las litografías son las fuentes fugitivas con mayor proporción en la localidad y pueden considerarse como altamente contribuyentes a la emisión de cromo, adicionalmente debido al déficit de vigilancia y control que presenta la localidad sobre las industrias [75]

no se cuenta con una estimación de emisiones fugitivas de las actividades económicas mencionadas anteriormente.

Con la depuración de las bases de datos y el inventario actualizado, apoyado con el software gvSIG 1.10 fue elaborado el mapa de fuentes fijas y fugitivas de la localidad con el objetivo determinar su distribución lo que permite visualizar las zonas donde se concentran las emisiones atmosféricas y posteriormente tener una perspectiva de la ubicación de los receptores y el impacto de las fuentes en ellos.

7.1.1 Fuentes móviles

La Tabla 7-2 muestra la cantidad de vehículos aforados en cada estación de acuerdo a su tipo.

Tabla 7-2 Volumen de vehículos por estación de aforo. [80]

| Estación De Aforo | Vehículos Livianos | Buses | Camiones | Motos | Total |
|-----------------------------|--------------------|-------|----------|--------|---------|
| Carrera 30 con Calle 3 | 91.084 | 9.157 | 8.148 | 43.825 | 152.214 |
| | 59,8% | 6,0% | 5,4% | 28,8% | 100% |
| Carrera 30 con Calle 1ª | 68.694 | 7.252 | 6.101 | 26.934 | 108.981 |
| | 63,03 | 6,65 | 5,60 | 24,71 | 100% |
| Calle 6 con Av. Caracas | 39.738 | 5.682 | 1.627 | 17.453 | 64.500 |
| | 61,6% | 8,8% | 2,5% | 27,1% | 100% |
| Carrera 27 con Calle 3ª | 21.040 | 6.271 | 1.387 | 6.735 | 35.433 |
| | 59,4% | 17,7% | 3,9% | 19,0% | 100% |
| Av. Caracas con Av. Jiménez | 16.342 | 4.758 | 900 | 12.015 | 34.015 |
| | 48,0% | 14,0% | 2,6% | 35,3% | 100% |
| | | | | | |

| Estación De Aforo | Vehículos Livianos | Buses | Camiones | Motos | Total |
|--------------------------|--------------------|---------|----------|---------|---------|
| Carrera 27 Con Calle 6ª | 56.675 | 5.516 | 3.913 | 15.842 | 81.946 |
| | 69,2% | 6,7% | 4,8% | 19,3% | 100% |
| Av. Caracas con Calle 19 | 46.644 | 13.389 | 1.761 | 26.387 | 88.181 |
| | 52,9% | 15,2% | 2,0% | 29,9% | 100% |
| Carrera 27 con Calle 13 | 16.892 | 50.417 | 972 | 4.353 | 72.634 |
| | 23,3% | 69,4% | 1,3% | 6,0% | 100% |
| Carrera 27 con Calle 19 | 46.539 | 5.664 | 3.177 | 13.388 | 68.768 |
| | 67,7% | 8,2% | 4,6% | 19,5% | 100% |
| TOTALES | 403.648 | 108.106 | 27.986 | 166.932 | 706.672 |

Del número total de vehículos que transitan por la localidad, el 57% corresponde a vehículos livianos (Tabla 7-3), a pesar de que la malla vial del sector cuenta con vías principales y un gran número de rutas de transporte urbano, los buses y camiones solo aportan el 15% y 4% respectivamente, sin embargo, el número de motos es bastante elevado y aporta el 24% del parque automotor que transita por Los Mártires [80].

Tabla 7-3 Clasificación de vehículos que transitan en la localidad según su tipo. [79]

| Tipo De Vehículo | Total De Vehículos | % Participación |
|--------------------|--------------------|-----------------|
| Vehículos Livianos | 403.648 | 57,% |
| Buses | 108.106 | 15,% |
| Camiones | 27.986 | 4% |
| Motos | 166.932 | 24% |
| Total | 706.672 | 100% |

Aunque como se mencionó anteriormente el número de vehículos pesados es más bajo que el de livianos, las emisiones de estos automotores tienen un mayor aporte que las de los demás; esto puede obedecer en gran parte al tipo de combustible y la capacidad de cilindraje de estos automotores, influyendo en el aumento de las concentraciones de

material particulado en el sector occidental de la localidad donde el tránsito es mayor que en las vías locales [79].

7.2 Concentraciones de PM₁₀

Una vez realizados estos cálculos para cada uno de los filtros utilizados se calcularon las concentraciones de PM₁₀ y PST (Tabla 7-4) valores que corresponden a la aplicación de las Ecuaciones 6.1 a 6.4 desarrolladas con los datos de los pesos iniciales y finales registrados en el Anexo A.

Tabla 7-4 Concentraciones de PM10 estaciones de muestreo.

| NÚMERO DE MUESTRA | Concentración PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Concentración PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-------------------|--|---|
| 1 | 174,8 | 57,034 |
| 2 | 72,4 | 60,773 |
| 3 | 162,6 | 86,282 |
| 4 | 77,6 | 41,450 |
| 5 | 58,3 | 14,497 |
| 6 | 35,8 | 25,534 |
| 7 | 77,3 | 44,615 |
| 8 | 125,6 | 68,024 |
| 9 | 95,8 | 44,927 |
| 10 | 124,8 | 22,808 |
| 11 | 98,6 | 41,237 |
| 12 | 79,7 | 40,233 |
| 13 | 81,2 | 45,843 |
| 14 | 133,1 | 51,796 |
| 15 | 77,1 | 59,142 |
| 16 | 118,1 | 52,623 |
| 17 | 100,6 | 60,862 |
| 18 | 32,0 | 75,973 |

Como se mencionó en el capítulo anterior cada una de las muestras fue puesta en el equipo mediante el cual se dio la lectura de cada concentración de los tres metales, las lecturas arrojadas por el equipo fueron multiplicadas por un factor de 9 con el fin de que estos resultados representarán el total de concentraciones de plomo, cadmio y cromo recolectadas en cada uno de los filtros de 8 "x 10" que se utilizaron para la digestión, teniendo en cuenta la división de las 9 tiras hecha para la preparación de las muestras.

En la Tabla 7-5 se muestran las trazas de los tres metales, obtenidas mediante el uso de la ICP-MS, con estos resultados se desarrollaron los cálculos para obtener las concentraciones de los metales pesados.

Tabla 7-5 Concentraciones de Cd, Cr y Pb reportadas por IPC.

| Estación de muestreo IED Ricaurte | | | Estación de muestreo IED República Bolivariana de Venezuela | | |
|-----------------------------------|---------|----------|---|----------|----------|
| µg Cd | µg Cr | µg Pb | µg Cd | µg Cr | µg Pb |
| 0,3941 | 18,3161 | 69,4666 | 0,7829 | 19,2412 | 81,533 |
| 0,5654 | 24,4849 | 75,1768 | 0,6464 | 16,85175 | 60,27385 |
| 0,7366 | 30,6536 | 80,887 | 0,5098 | 14,4623 | 39,0147 |
| 0,7135 | 29,3486 | 46,31 | 0,3151 | 10,17685 | 20,91795 |
| 0,6904 | 28,0435 | 11,733 | 0,1203 | 5,8914 | 2,8212 |
| 0,6768 | 21,2329 | 10,8564 | 0,2502 | 7,2093 | 9,3556 |
| 0,6632 | 14,4222 | 9,9798 | 0,3801 | 8,5272 | 15,89 |
| 0,6799 | 28,1437 | 13,19635 | 0,9249 | 13,64115 | 17,186 |
| 0,6966 | 41,8651 | 16,4129 | 1,4697 | 18,7551 | 18,482 |
| 0,4533 | 27,353 | 44,5562 | 0,9078 | 14,4661 | 29,44175 |
| 0,2099 | 12,8409 | 72,6995 | 0,3458 | 10,1771 | 40,4015 |
| 0,3554 | 18,7309 | 15,781 | 0,3605 | 9,66365 | 30,1449 |
| 0,5008 | 24,6208 | 8,2854 | 0,3164 | 9,1502 | 19,8883 |
| 0,3711 | 21,0206 | 14,2244 | 0,6676 | 10,3099 | 19,53325 |
| 0,2414 | 17,4203 | 20,1634 | 1,0187 | 11,4696 | 19,1782 |
| 0,7743 | 36,447 | 40,316 | 0,7288 | 10,22155 | 18,2788 |
| 1,3072 | 55,4737 | 60,4686 | 0,4388 | 8,9735 | 17,3794 |
| 1,021 | 45,9604 | 50,3923 | 0,5838 | 9,597525 | 17,8291 |

La concentración de cada metal obtenida a partir de la Ecuación 6.5, se presenta en la Tabla 7-6

Tabla 7-6 Concentraciones de Cd, Cr y Pb por estación de muestreo.

| Estación de muestreo IED Ricaurte | | | Estación de muestreo IED República Bolivariana de Venezuela | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|
| $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Cd | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Cr | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Pb | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Cd | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Cr | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Pb |
| 0,000437743 | 0,020344441 | 0,077159391 | 0,000426881 | 0,010491385 | 0,044456379 |
| 0,000638093 | 0,027635271 | 0,084849661 | 0,000353564 | 0,009218177 | 0,032970762 |
| 0,000803447 | 0,033435428 | 0,088227531 | 0,000272868 | 0,007740887 | 0,02088246 |
| 0,000809967 | 0,033316551 | 0,052571234 | 0,000177673 | 0,005739257 | 0,011796723 |
| 0,000769248 | 0,03124624 | 0,013072981 | 6,4119E-05 | 0,00314007 | 0,001503678 |
| 0,00074521 | 0,023379046 | 0,011953755 | 0,000133654 | 0,003851122 | 0,00499765 |
| 0,000781615 | 0,016997289 | 0,011761697 | 0,000214661 | 0,004815723 | 0,008973852 |
| 0,0007606 | 0,031484115 | 0,014762669 | 0,000514434 | 0,007587268 | 0,00955893 |
| 0,000774861 | 0,046568521 | 0,018256841 | 0,000792676 | 0,010115474 | 0,009968179 |
| 0,000543922 | 0,032824913 | 0,053469579 | 0,000526812 | 0,008395392 | 0,017086501 |
| 0,000233041 | 0,014256578 | 0,080714444 | 0,000190892 | 0,005618051 | 0,022302788 |
| 0,000396862 | 0,020918975 | 0,017624525 | 0,000195998 | 0,005253982 | 0,016389333 |
| 0,000585047 | 0,028762617 | 0,009679206 | 0,000175388 | 0,005072173 | 0,011024557 |
| 0,000427732 | 0,024228389 | 0,016395113 | 0,000374607 | 0,005785578 | 0,01096142 |
| 0,000292075 | 0,021077193 | 0,024396128 | 0,000580986 | 0,006541348 | 0,010937721 |
| 0,000876103 | 0,041238968 | 0,045616655 | 0,000379696 | 0,005325666 | 0,009523681 |
| 0,001515594 | 0,064317333 | 0,070108522 | 0,000246822 | 0,005047531 | 0,00977579 |
| 0,001186795 | 0,053423631 | 0,058575264 | 0,00032468 | 0,005337889 | 0,009916073 |

7.3 Índice de Calidad del Aire.

A partir de la ecuación 6-6 y con las concentraciones de PM_{10} obtenidas, se calculó el ICA anual para la localidad, teniendo como resultado un valor de 71.2, con este valor, y de acuerdo a lo señalado en la tabla 6-5; el ICA se clasifica como regular. Para el caso del índice para un periodo de 24 horas el valor obtenido es de 142.4, lo que ubica la calidad del aire como dañina para grupos sensibles.

7.4 Determinación de niveles máximos permisibles

Los valores límites de PM₁₀, PST, Pb y Cd establecidos por la Resolución 610 de 2010 están determinados para condiciones de referencia, es decir, para una presión atmosférica de 760 mm de Hg y 298°K y una altura sobre el nivel del mar. Teniendo en cuenta las condiciones de Bogotá, es necesario determinar los niveles máximos permisibles corregidos según las condiciones del lugar, estos datos se presentan en la Tabla 7-7. Los valores fueron calculados con la ecuación 6-6 para una presión de 560 mm de Hg y 14°C.

Cabe aclarar que para el caso de cromo, la legislación colombiana no contempla niveles límites permisibles por lo cual no se incluye en la tabla 7-7.

Tabla 7-7 Niveles Máximos Permisibles según la Resolución 610/2010

| Contaminante Criterio | Nivel Máximo Permisible (µg/m ³) | Nivel Máximo Permisible corregido(µg/m ³) | Tiempo de Exposición |
|------------------------|--|---|----------------------|
| PST | 100 | 76,5 | Anual |
| | 300 | 229,5 | 24 Horas |
| PM ₁₀ Anual | 50 | 38,3 | Anual |
| | 100 | 76,5 | 24 Horas |
| Pb | 0,5 | 0,4 | Anual |
| | 15 | 11,5 | 24 Horas |
| Cd | 0,005 | 0,004 | Anual |

7.5 Modelo UNMIX

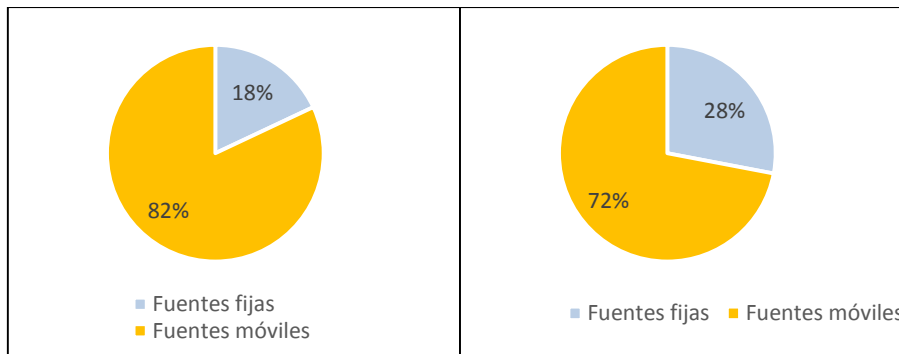
En la Tabla 7-8 se encuentran parte de los resultados del modelo donde se evidencian las contribuciones de contaminación cuantificadas para las fuentes fijas y móviles, reportadas en porcentaje para PM₁₀ y PST.

Tabla 7-8 Proporción de fuentes fijas y fuentes móviles en la Localidad

| Contaminante | Fuentes fijas | Fuentes móviles |
|------------------|---------------|-----------------|
| PM ₁₀ | 17,7 | 78,2 |
| PST | 14 | 35,6 |

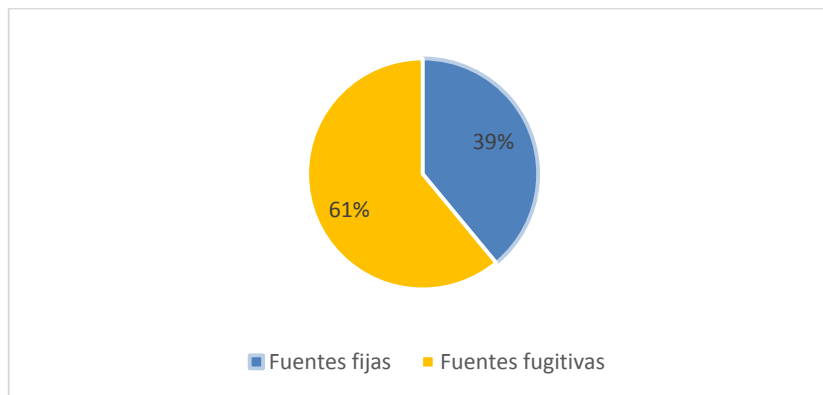
La proporción de material particulado aportado por las fuentes fijas en el punto de monitoreo A es de un 18% y el de las fuentes móviles de 82% (Figura 7-3), en cambio para el punto B hay un aumento en el aporte de las fuentes fijas que alcanza un 28% y un decrecimiento de 10 puntos en las móviles (72%), esto puede indicar que a pesar de la gran cantidad de pequeñas empresas que en su proceso productivo utilizan o emiten uno o más de los tres metales, las fuentes móviles son las que más aportan PM_{10} debido a las características de la malla vial local y la influencia vehicular aledaña.

Figura 7-3 Contribución de PM_{10} y PST según la fuente de emisión.



Para el caso de las concentraciones de los tres metales pesados que contribuyen al material particulado de la zona, el modelo muestra que estaría asociada en su mayoría a las fuentes fugitivas con un 61% (Figura 7-4), y en menor proporción a las fuentes fijas en un 39%. Estos resultados de fuentes fugitivas pueden ser atribuidos a las emisiones de las industrias metalmeccánicas, consideradas emisoras de bajas concentraciones de Pb, Cd y Cr que se emiten de forma ocasional; o bien pueden ser producto de subprocesos donde hay una generación de viruta o chips como: corte, perforación, pulido, torneado, y molienda; y de las sales de que constituyen la base de muchas pinturas y pigmentos.

Figura 7-4 Contribución de Cd, Pb y Cr según la fuente de emisión



7.6 Modelo Environmental Lakes

El modelo muestra una disminución considerable de las concentraciones de los metales pesados durante los primeros metros cercanos a la emisión. La distancia varía de acuerdo a la estación de monitoreo, por ejemplo para la estación de monitoreo A las concentraciones alcanzan a registrar valores en los receptores ubicados hasta 450 metros aproximadamente de las fuentes de emisión; a partir de estas distancias el modelo indica que no habría concentraciones de los tres metales.

Para la estación de monitoreo B en cambio, el comportamiento las concentraciones de metales pueden encontrarse a distancias más prolongadas, dependiendo del metal encontrado. Las concentraciones de plomo tienen un comportamiento similar al de la estación A, con una distancia promedio de 250 metros; mientras que el cadmio y el cromo pueden alcanzar distancias de recepción de 2200 metros

8. Análisis de resultados

8.1 Análisis estadístico

Como se mencionó en el capítulo de metodología se utilizó el programa SPSS para determinar el coeficiente de correlación de Spearman o Pearson de acuerdo al caso. Como primera medida se identificó si las variables a analizar eran de tipo nominal u ordinal, para analizar con la prueba de Shapiro Wilk si eran normales o no normales.

El análisis de los datos obtenidos luego de aplicar estas pruebas se presentan en los numerales siguientes.

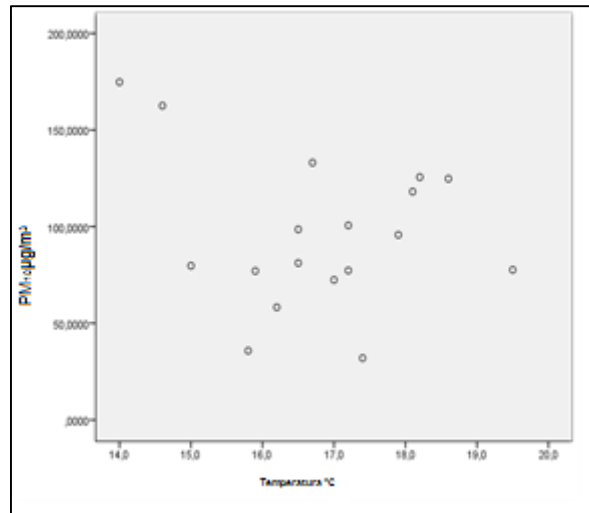
8.1.1 Correlación de las concentraciones de PM₁₀ con factores meteorológicos.

Factores meteorológicos como la dirección y velocidad del viento pueden tener una influencia en las concentraciones de PST y PM₁₀ para los datos obtenidos en cada estación de muestreo.

- **Temperatura**

La dispersión de los datos de concentraciones de PM₁₀ no presenta una tendencia definida Figura (8-1), esto indica en un principio que es probable que no exista una relación entre la variación de la temperatura y las concentraciones del contaminante referencia, aplicando la prueba estadística de Spearman se demostró estadísticamente que no existe relación ($p < 0,05$) entre estas dos variables.

La temperatura presenta un comportamiento variable durante el periodo de muestreo, para el día de monitoreo 4, esta reporto su valor más alto (19.5 °C), a diferencia del primer día en el que la temperatura y la menor en el día 1 con 14°C, valor cercano al promedio de temperatura de la ciudad.

Figura 8-1 Dispersión de los valores de PM10 y temperatura

La prueba de Spearman (Tabla 8-1), muestra los coeficientes para cada correlación los cuales indican una relación inexistente entre los parámetros analizados, debido a que no hay incidencia de la estabilidad térmica atmosférica sobre las concentraciones de las concentraciones de material particulado menor a 10 micras encontrados en el monitoreo atmosférico.

Tabla 8-1 Datos de correlación estadística de PM10 con temperatura.

| Contaminante | Spearman | Temperatura |
|------------------|---------------|-------------|
| PM ₁₀ | Coefficiente | 0,9 |
| | Significancia | -0,009 |

- Velocidad del viento

De igual forma que con la temperatura la dispersión de los datos demuestra que no hay relación entre la velocidad del viento y las concentraciones de PM₁₀ (Figura 8-2), lo que se comprobó mediante el coeficiente de Spearman (Tabla 8-2).

Las velocidades promedio de viento para el periodo de monitoreo presentan un valor máximo de 5.1 m/s y un valor mínimo de 1.2 m/s, no obstante de acuerdo a la escala de Beaufort son consideradas leves [87], lo que indica que la velocidad del viento no tiene una incidencia significativa sobre el comportamiento de los niveles de las partículas contaminantes en el aire para el periodo de monitoreo.

Figura 8-2 Dispersión de los valores de PM_{10} y velocidad del viento

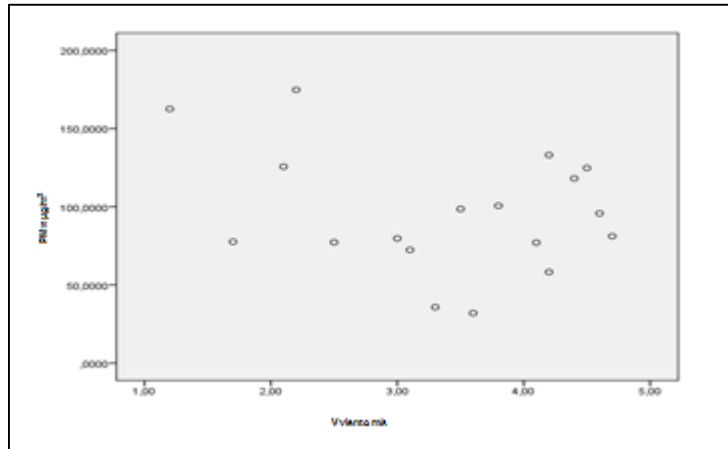


Tabla 8-2 Datos de correlación estadística de PM_{10} con velocidad del viento.

| Contaminante | Spearman | V. viento |
|--------------|---------------|-----------|
| PM_{10} | Coeficiente | -0,095 |
| | Significancia | 0,708 |

▪ Dirección del Viento.

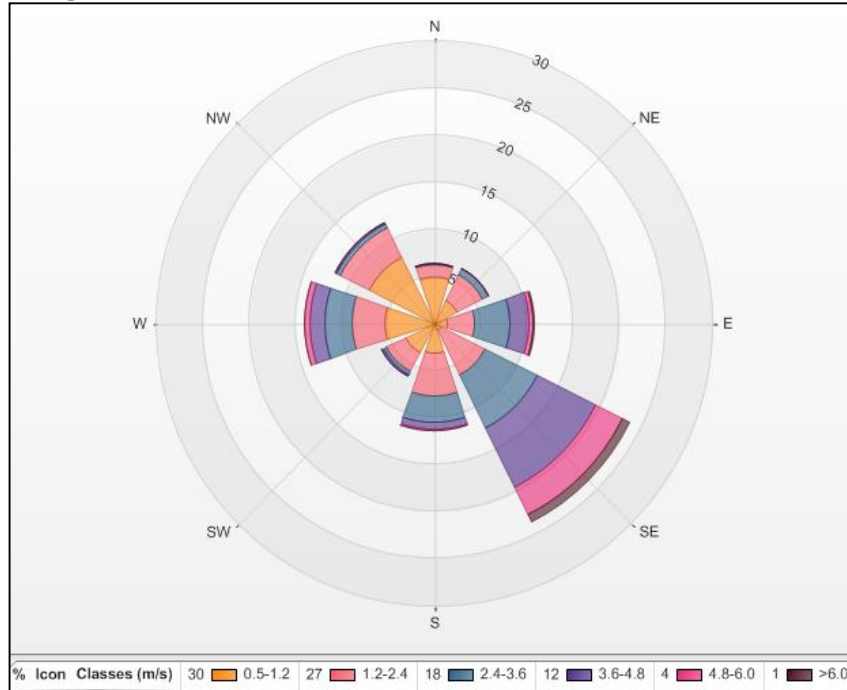
De acuerdo a la rosa de vientos de la localidad de Puente Aranda (Figura 8-3) los vientos que tienen incidencia en la localidad provienen del sureste, es decir desde la zona residencial de Santa Isabel dirigiéndose hacia el noroeste donde se encuentran los barrios Ricaurte y Paloquemao, lo que muestra que las concentraciones de PM_{10} tienden a continuar en la misma dirección, no obstante el sector de Santa Isabel es un sector cuyo flujo vehicular y el número de fuentes fijas es mucho menor en proporción comparado con los sectores en mención, los cuales tienen el mayor porcentaje de fuentes de emisión.

Según la gráfica de dirección y el coeficiente de Spearman no existe ninguna relación entre las variables, por lo que en la rosa de los vientos, los vientos vienen del sureste aproximadamente desde la zona residencial de Santa Isabel y se dirigen hacia el noroeste perteneciente a los barrios Ricaurte y Paloquemao, es decir que el PM_{10} y las concentraciones de Cromo no siguen esta tendencia o dirección haciendo que estos se dispersen en distintas direcciones de las corrientes de aire o que simplemente se mantienen en la atmosfera.

Lo anterior podría indicar que las concentraciones de PM_{10} se dispersan en distintas direcciones de las corrientes de aire o que simplemente se mantienen en la atmosfera;

claro está, que su comportamiento depende de la velocidad y dirección del viento según la época del año.

Figura 8-3 Rosa de vientos localidad Puente Aranda [68].



Para comprobar estadísticamente lo anteriormente expuesto, se aplicó la prueba de Spearman (Tabla 8-3), donde una vez más los coeficientes muestran que no hay una relación entre la dirección del viento y las concentraciones de PM₁₀ encontradas en el monitoreo atmosférico, la Figura 8-4 muestra la dispersión de los datos de PM₁₀ respecto a la dirección del viento.

Figura 8-4 Dispersión de los valores de PM₁₀ y dirección del viento

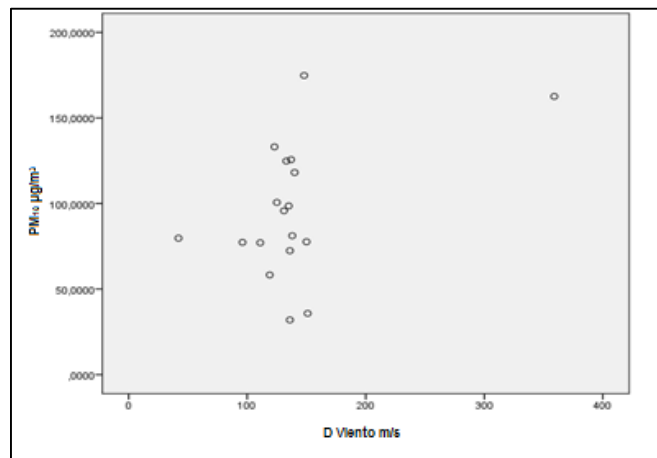


Tabla 8-3 Datos de correlación estadística de PM₁₀ con dirección del viento.

| Contaminante | Spearman | Dir. Viento. |
|------------------|---------------|--------------|
| PM ₁₀ | Coeficiente | 0,225 |
| | Significancia | 0,369 |

8.1.2 Correlación estadística de las concentraciones de PST con factores meteorológicos.

Debido a que variables como la temperatura, velocidad y dirección del viento pueden incidir sobre el comportamiento de las concentraciones de PM₁₀, es pertinente analizar estadísticamente la correlación existente entre las variables mencionadas y las concentraciones.

- Temperatura

Los valores de PST obtenidos son paramétricos o normalizados, lo que es puesto en evidencia en los datos de las últimas muestras pues fueron constantes (Tabla 8-4), esta normalidad se demuestra numéricamente con la prueba de Shapiro Wilk con un valor de 0,001 ($p < 0,05$)

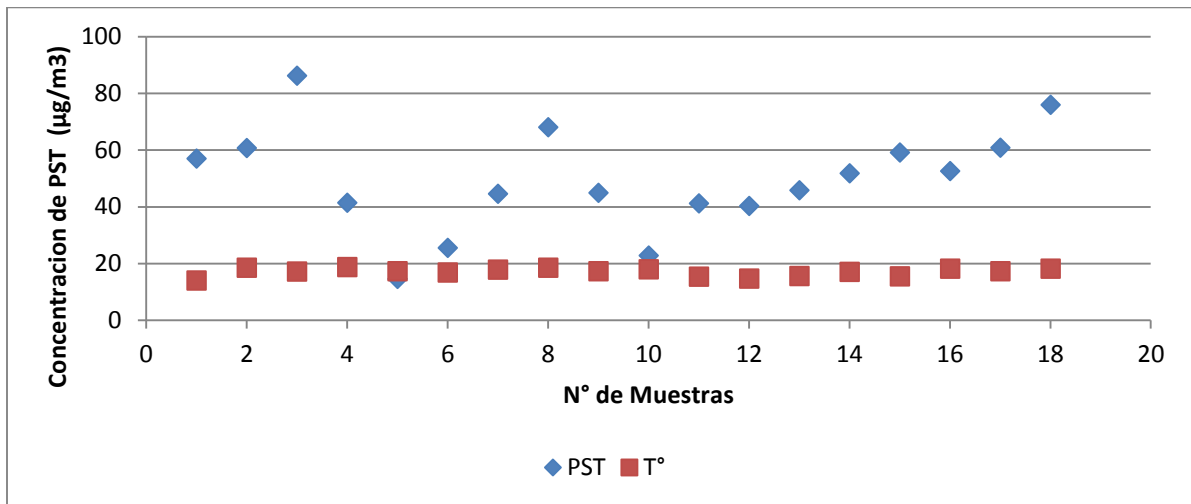
Tabla 8-4 Datos de correlación estadística de PST con Temperatura

| Contaminante | Pearson | Temperatura |
|--------------|---------------|-------------|
| PST | coeficiente | -0,158 |
| | Significancia | 0,53 |

En la Figura 8-5 es posible observar que la dispersión de los datos presenta una tendencia constante lo que indica que no existe relación entre estos, además se demuestra numéricamente por medio del coeficiente de Spearman que no existe relación ($p < 0,05$) entre las concentraciones de PST y la Temperatura.

Para identificar si existía una correlación entre se aplicó la prueba de Pearson, la cual muestra que no existe relación estadística entre las PST y la temperatura o que no hubo incidencia durante el periodo de muestreo.

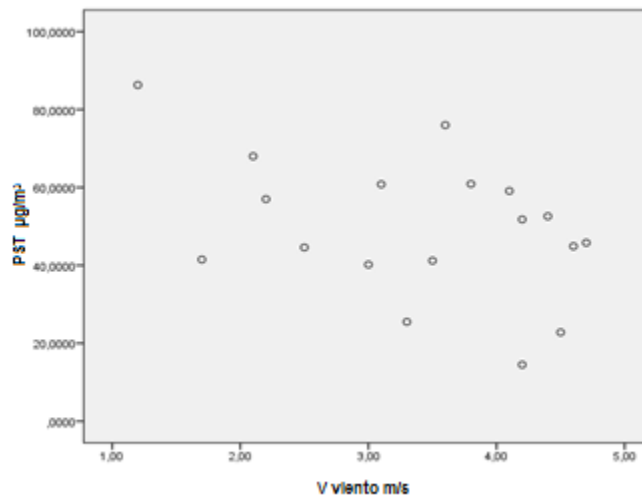
Figura 8-5 Dispersión de los valores de PST y temperatura



- Velocidad del viento

Los datos de dispersión de los valores de PST y velocidad de viento no presentan una relación o tendencia (Figura 8-6), comprobándose a través del coeficiente de Spearman (Tabla 8-5).

Figura 8-6 Dispersión de los valores de PST y velocidad de viento



De allí es posible inferir que la velocidad de los vientos durante el periodo de muestreo no fue un factor influyente en el comportamiento del material particulado ni tampoco un factor responsable del aumento o retención del mismo.

Tabla 8-5 Datos de correlación estadística de PST con velocidad de viento

| Contaminante | Pearson | V. viento |
|--------------|---------------|-----------|
| PST | coeficiente | -0,42 |
| | Significancia | 0,077 |

▪ Dirección del Viento

En la dispersión de los datos de dirección del viento (Figura 8-7) es posible observar que a pesar de que los datos de dirección fueron constantes durante el periodo de muestreo, las concentraciones de PST aumentaron significativamente, reafirmando lo que indica el coeficiente (Tabla 8-6), así mismo la rosa de vientos muestra que estos provienen del barrio Santafé sin tener influencia alguna en la dirección de transporte de las partículas de aire.

Figura 8-7 Dispersión de los valores de PST y dirección del viento

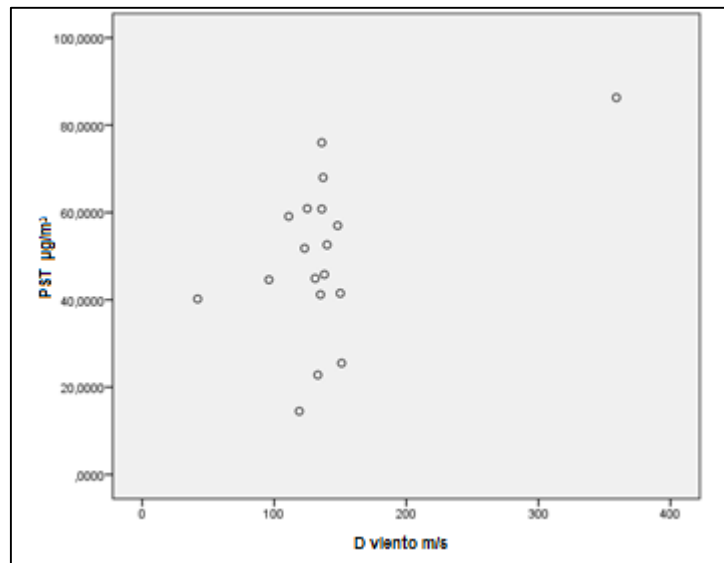


Tabla 8-6 Datos de correlación estadística de PST con dirección de viento

| Contaminante | Pearson | Dirección del viento |
|--------------|---------------|----------------------|
| PST | coeficiente | 0,49 |
| | Significancia | 0,037 |

En la dispersión de los datos de dirección del viento se puede observar que a pesar de que los datos de dirección se mantienen constantes el PST aumenta significativamente, afirmando lo que indica el coeficiente, además la rosa de vientos muestra que los vientos vendrían del Barrio Santafé aproximadamente, pero que estos no tienen ninguna influencia en la dirección de las partículas de aire.

8.2 Concentraciones de plomo, cadmio y cromo

Las concentraciones de metales encontradas registran valores muy bajos comparadas con las reportadas en otras zonas de la ciudad como en Puente Aranda en donde Hernandez y Perez (2006), reportan altas concentraciones de plomo ($5.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $10.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y de cromo ($0.05 - 1.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$), atribuidas a las emisiones de actividades de fundición secundaria de cobre, acero, plomo, aluminio y cinc; fabricación de artículos de vidrio; fundición secundaria de acero, cinc y aluminio. Sin embargo aclaran que en distintas actividades industriales se utilizan combustibles que generan emisiones de plomo y cromo, como el carbón, crudo y fuel oil [76].

En comparación con el estudio de Cárdenas (2003) donde se reportan concentraciones máximas de 1 y $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomo y de $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio para cromo; las concentraciones reportadas en Mártires son muy bajas; no obstante en ese estudio de los valores de plomo fueron atribuidos a la venta clandestina de gasolina de contrabando con alto contenido de plomo, aunque se concluye que este evento era aislado del comportamiento normal del contenido de metales en el aire [88].

Si se comparan las concentraciones reportadas en la presente investigación con las registradas en otros estudios en municipios cercanos, los valores también son bajos. Pachón (2004) reportó para los municipios de Sibaté y de Soacha, valores que oscilan entre los 0.556 y los $0.972 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para plomo y de 0.005 a $0.003 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para cromo; [77]. Probablemente los valores de los dos estudios distan mucho, ya que el número de fuentes que contribuyen a las emisiones de los metales pesados en cuestión, es inferior en la localidad de Los Mártires con respecto a la zona industrial de Soacha.

Así pues, las concentraciones de cadmio, cromo y plomo de la localidad se encuentran por debajo de valores reportados en otros estudios tanto a nivel nacional como internacional. Por ejemplo Ramesh et al. (2008) en India, evaluaron la concentración de metales en cinco ciudades de India donde encontraron valores mínimos para cadmio ($0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y cromo ($0,009 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más altos que los mínimos encontrados en la localidad [89]; mientras que para plomo ($003 \mu\text{g}/\text{m}^3$) la concentración es más baja que en Mártires.

8.3 Comparación de los resultados con la normatividad

8.3.1 Normas internacionales

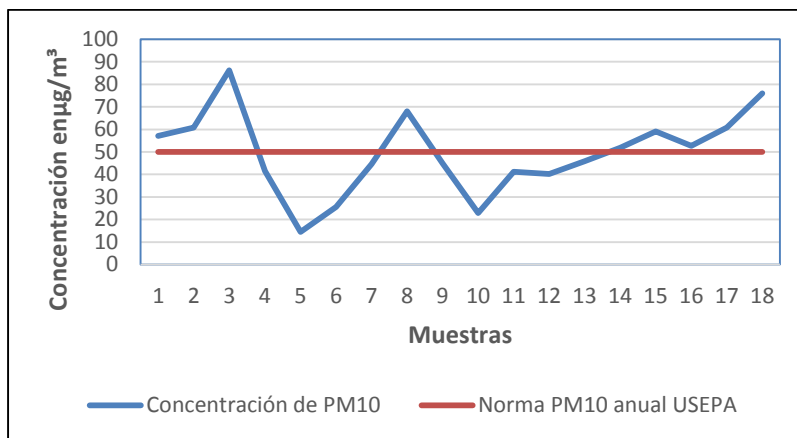
▪ Valores de PST

Las concentraciones de PST la comparación solo puede realizarse a nivel nacional, ya que la OMS, la USEPA y la UE, no cuentan con Niveles Límites Permisibles establecidos, estas organizaciones no consideran las partículas totales ya que solo las menores a 10 micras pueden atravesar la barrera alveolar y alcanzar circulación sanguínea para ser distribuidas [47].

▪ Valores de PM₁₀

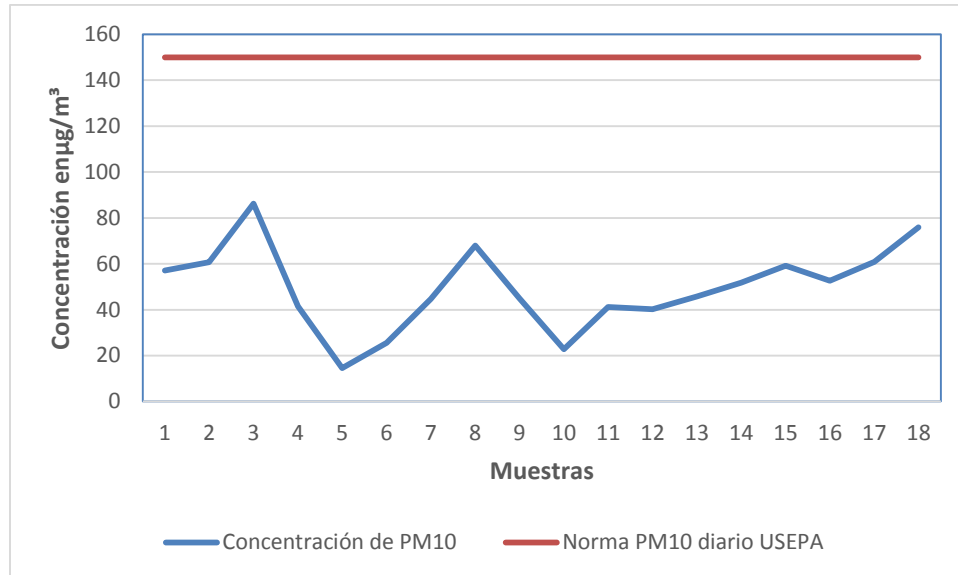
En la Figura 8-8 se observa el comportamiento de los valores de PM₁₀ de la localidad frente a la norma anual de la USEPA. El valor límite de PM₁₀ anual de la USEPA es igual la legislación nacional vigente, el 44,4% de las muestras recolectadas no cumple con las directrices de la agencia.

Figura 8-8 Comparación de las concentraciones de PM₁₀ anual con Niveles Límites Permisibles según la USEPA



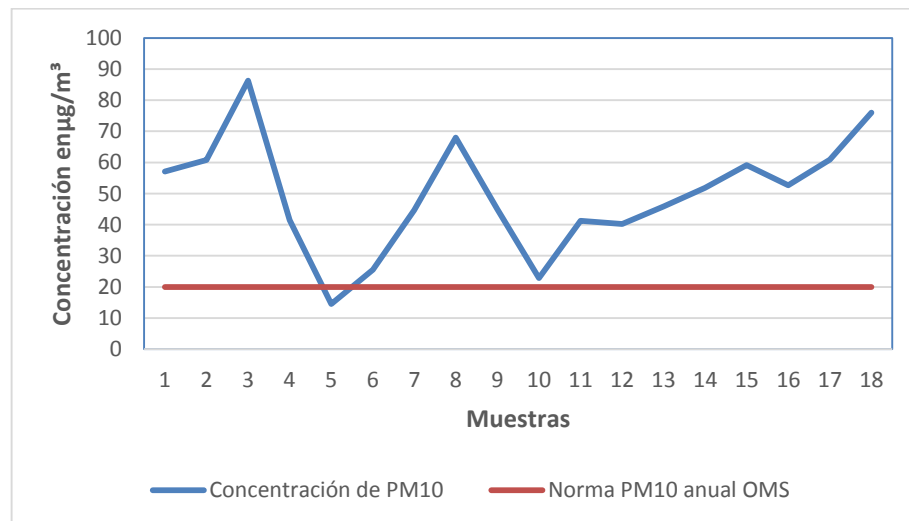
Para la exposición diaria los valores de la USEPA también son los mismos de la legislación nacional vigente, cabe resaltar que la diferencia radica en que en la norma local se pide la corrección de los valores establecidos con las condiciones locales mientras que en la USEPA los valores son estándar. En este caso en particular todas las concentraciones cumplen con los límites permisibles (Figura 8-9).

Figura 8-9 Comparación de las concentraciones de PM₁₀ diario con Niveles Límites Permisibles según la USEPA



La OMS establece un Nivel Limite Permissible mucho más restrictivo que la legislación nacional vigente y la USEPA, para el caso de la norma anual el valor establecido por la ONU (2005) es 2,5 veces menor al de ambas normatividades, lo que evidencia que tan solo una de las muestras recolectadas (Figura 8-10) cumple con las directrices de esta organización, quien ha establecido desde tiempo atrás que el superar estos niveles puede ser perjudicial para la salud de la población expuesta [2].

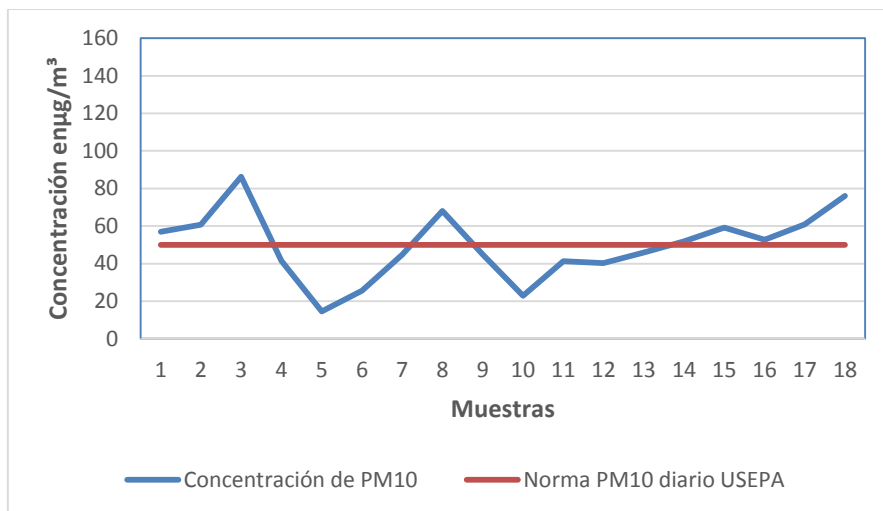
Figura 8-10 Comparación de las concentraciones de PM₁₀ anual con Niveles Límites Permisibles según la OMS



De la misma manera, para la norma diaria los valores límites permisibles de la OMS son

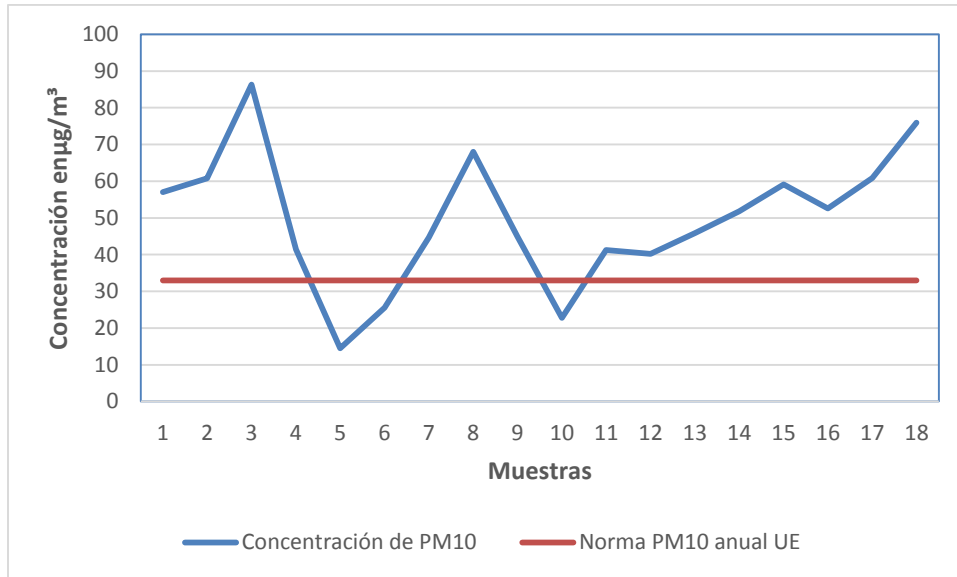
6 veces más restrictivos que el valor nacional, solo el 33,33% muestras cumplen con los valores recomendados; (Figura 8-11), el valor máximo encontrado supera la norma en un 172,564% mientras que el valor más bajo la cumple con un margen del 71% respecto a los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estipulados.

Figura 8-11 Comparación de las concentraciones de PM_{10} diaria con Niveles Límites Permisibles según la OMS



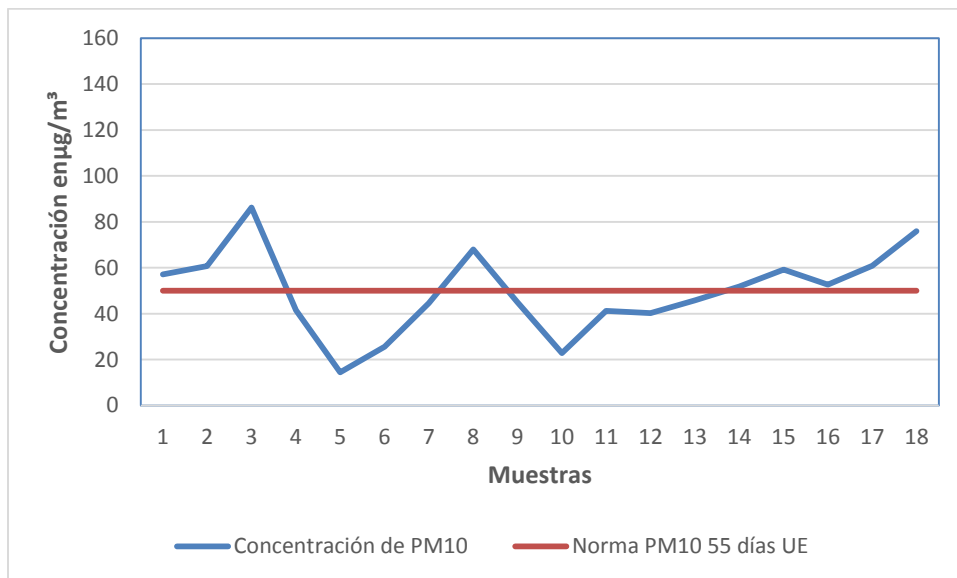
En la Figura 8-12 se comparan las concentraciones de PM_{10} con la norma de la UE. Para la exposición anual, los límites establecidos por este órgano legislativo se encuentran en un punto intermedio entre la OMS y la USEPA. Las concentraciones reportadas solo cumplen con los límites establecidos en un 16,6% de las muestras. El valor de concentración máxima reportado en la localidad supera esta directriz en un 261,45 % mientras que el valor mínimo la cumple en un 43,93%.

Figura 8-12 Comparación de las concentraciones de PM₁₀ anual con Niveles Límites Permisibles según la UE



La norma UE no tiene un valor límite diario para concentraciones de PM₁₀, cuenta con un valor que es el mismo de la USEPA y de Colombia para el valor diario pero se aplica para 55 días. El comportamiento de las concentraciones es idéntico al de los valores de norma diaria de la USEPA.

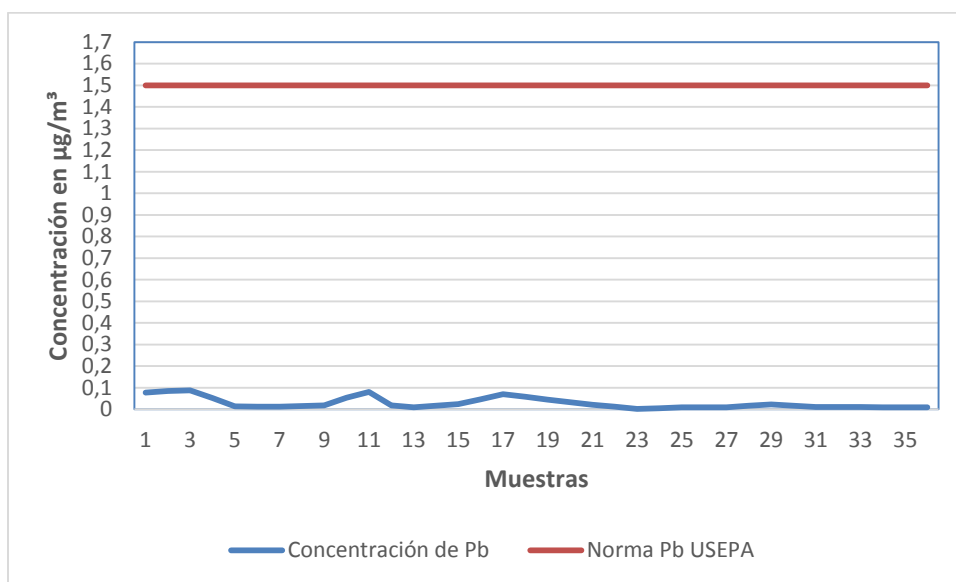
Figura 8-13 Comparación de las concentraciones de PM₁₀ para 55 días con Niveles Límites Permisibles según la UE



Valores de Plomo

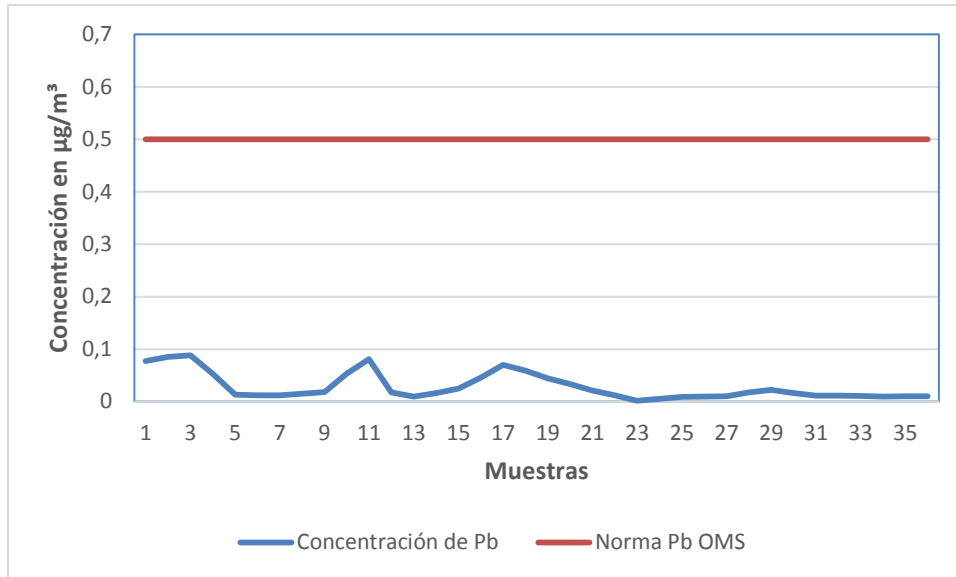
El valor límite de concentraciones de plomo establecido por la USEPA es trimestral, a diferencia de la OMS y la UE en donde es anual. En la Figura 8- se visualiza que todas las muestras cumplen con este límite. Las concentraciones reportadas durante el estudio son muy bajas en comparación con los límites de la USEPA.

Figura 8-14 Comparación de las concentraciones de plomo trimestral con los Niveles Límites Permisibles según la USEPA



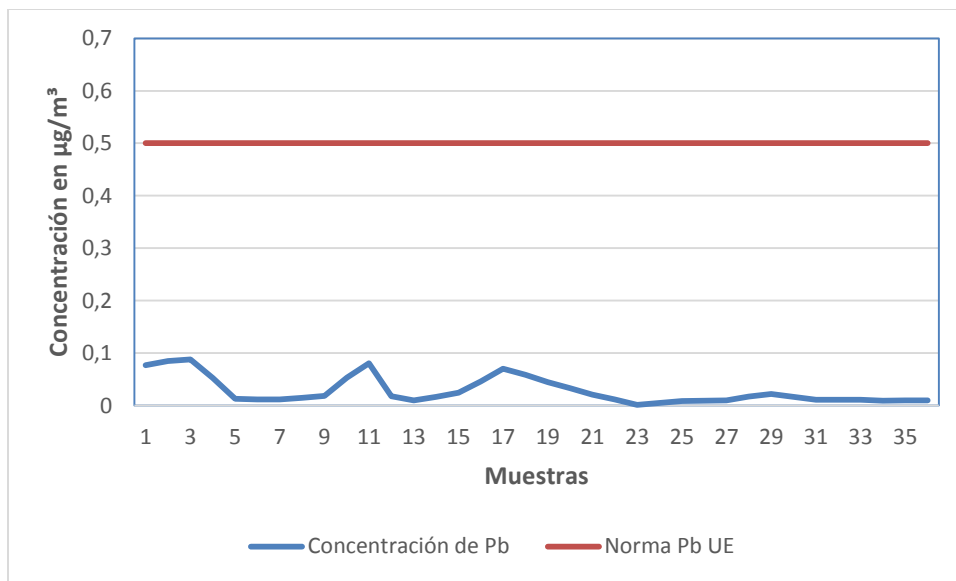
En un análisis del comportamiento de las concentraciones de las concentraciones de Plomo frente a la norma de la OMS, es posible evidenciar lo mismo que en la norma trimestral de la USEPA. Aunque el valor límite es mucho menor, las concentraciones no lo superan ningún día (Figura.8-15).

Figura 8-15 Comparación de las concentraciones de plomo anual con los Niveles Límites Permisibles según la OMS



Como el límite establecido por la UE y la OMS es el mismo la Figura 8-16 muestra un comportamiento idéntico a la de la OMS.

Figura 8-16 Comparación de las concentraciones de plomo anual con los Niveles Límites Permisibles según la UE

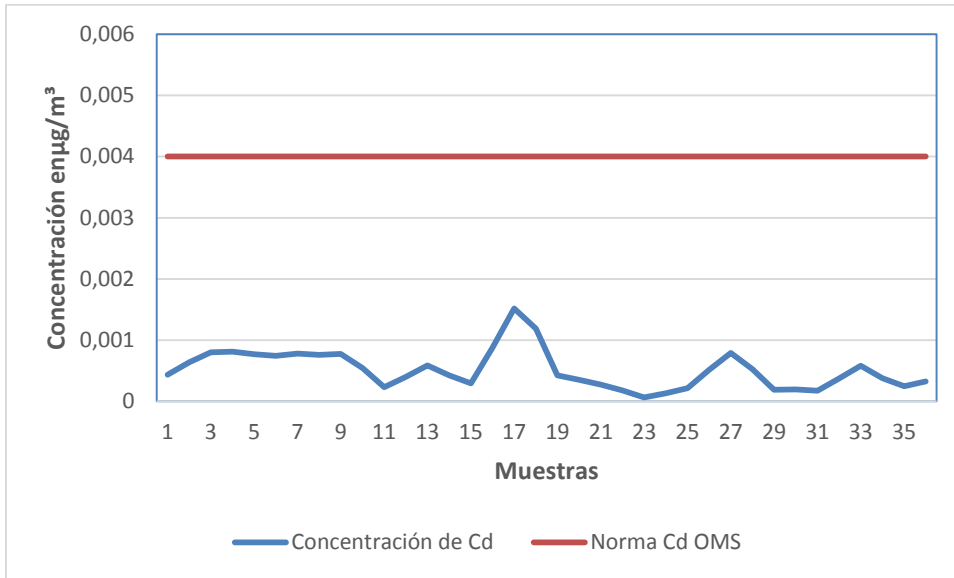


▪ **Valores de Cd**

La USEPA no tiene norma establecida para las concentraciones de cadmio en aire, en cambio la OMS y la UE tienen el mismo valor límite para una exposición anual. En la figura 8-17 se presentan las concentraciones reportadas en el estudio versus las normas de las

dos organizaciones. Los valores hallados son demasiado bajos respecto a ambas normas, por lo que las concentraciones no alcanzan a superar siquiera los $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

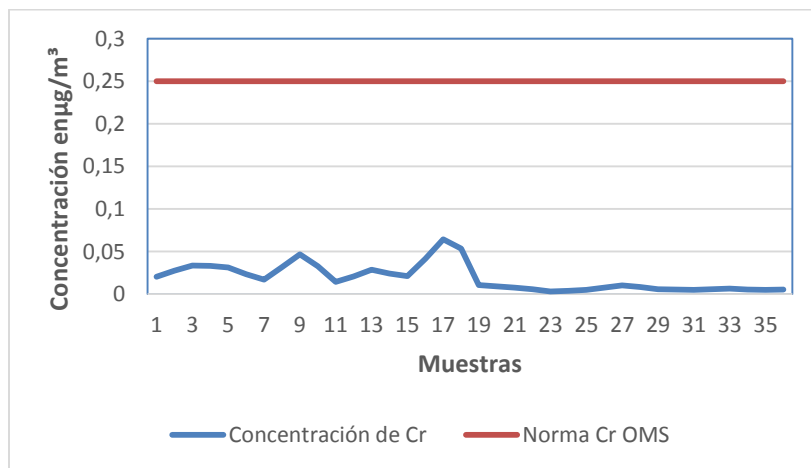
Figura 8-17 Comparación de las concentraciones de cadmio anual con los Niveles Límites Permisibles según la OMS y la UE



▪ Valores Cr

Solo la OMS cuenta con valor límite para el cromo en aire. Este valor corresponde a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un periodo de exposición anual. Ninguna de las muestras reportadas supera este nivel, las concentraciones son muy bajas y no superan si quiera los $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 8-18)

Figura 8-18 Comparación de las concentraciones de cromo anual con los Niveles Límites Permisibles según la OMS

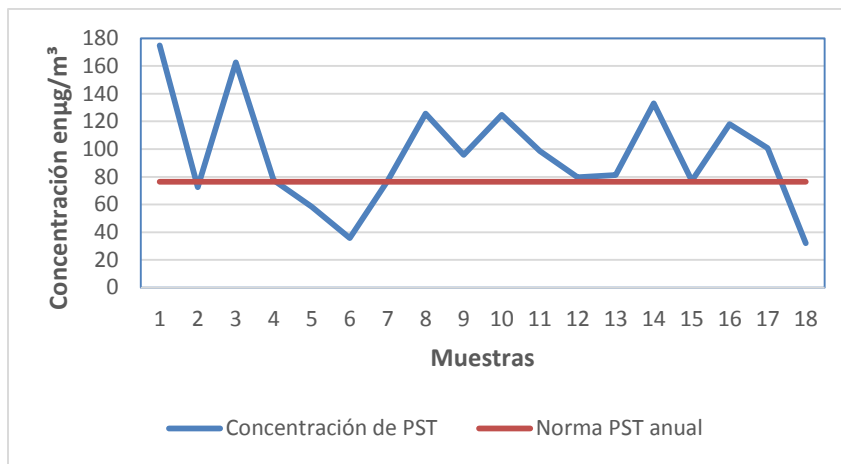


8.3.2 Normas nacionales

▪ Valores para PST

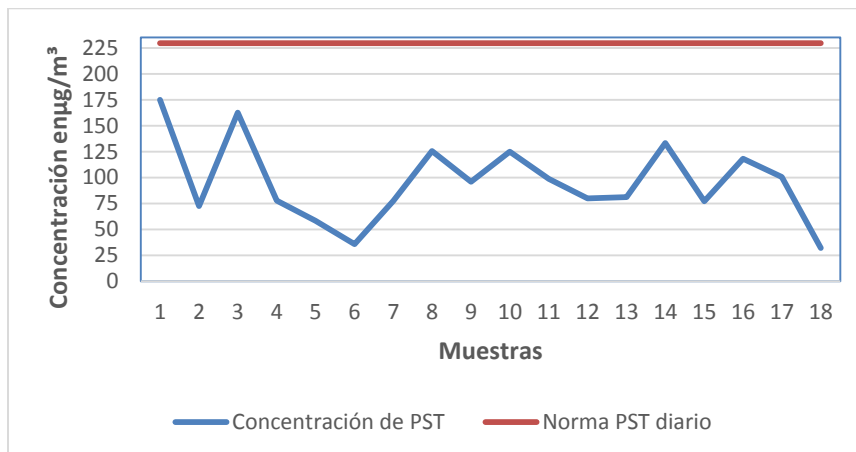
Con los niveles máximos permisibles corregidos a condiciones locales de la Resolución 610 de 2010, para las concentraciones de PST anuales reportadas, solo tres valores cumplen la norma (16,66%), corresponden a los de los días de muestreo 2, 6 y 18. El valor máximo reportado la excede en 228,49%. La comparación de los valores reportados con la norma local puede verse en la figura 8-19.

Figura 8-19 Comparación de las concentraciones de PST anual con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010



La norma local diaria para PST tiene un comportamiento inverso al que presenta la de anual, ya que se evidencia según la Figura 8-20 un cumplimiento del 100% respecto a los límites establecidos en la legislación vigente, para los límites corregidos por condiciones locales

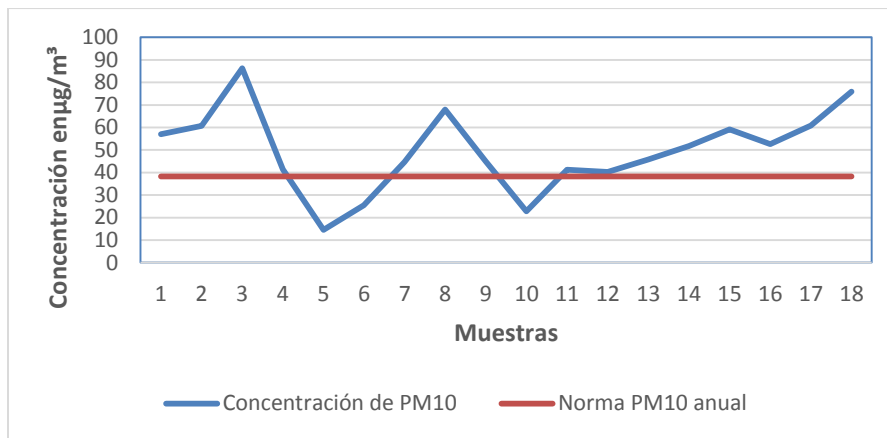
Figura 8-20 Comparación de las concentraciones de PST diario con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010



Valores para PM₁₀

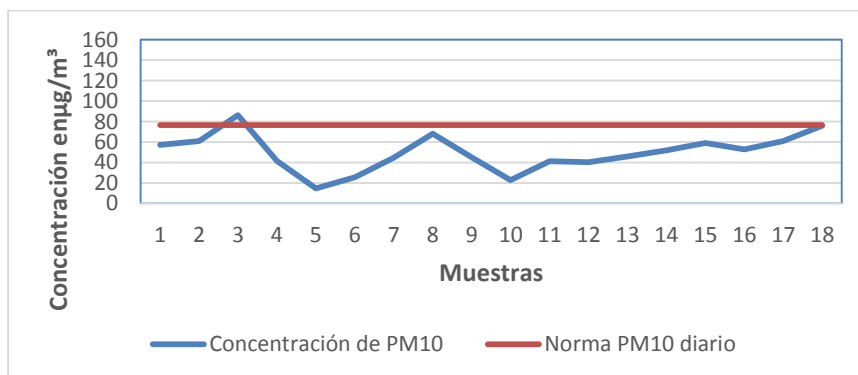
Aunque el valor límite establecido en la legislación nacional para PM₁₀ anual es igual al de la USEPA, sin embargo, al hacer la corrección por condiciones locales este valor se acerca al de la UE. En la Figura 8-21 es posible observar el comportamiento de los valores reportados durante el muestreo en la localidad de Los Mártires. Solo el 16,66% de las muestras cumple con la norma, además, la concentración máxima reportada la excede en un 225,57%

Figura 8-21 Comparación de las concentraciones de PM₁₀ anual con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010



Para el caso del tiempo de exposición diario de PM₁₀ el comportamiento de los valores encontrados es inverso al de la exposición anual. Solo una de las concentraciones no cumple con la norma local, excediéndola en un 12,67%, el valor de la muestra correspondiente al día 18 solo la cumple por un margen de 0,69% (Figura.8-22)

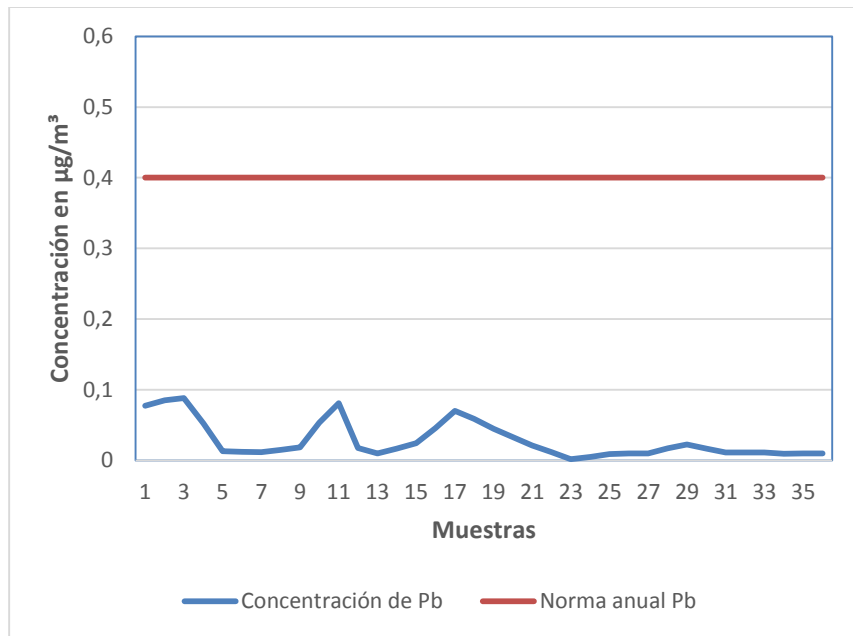
Figura 8-22 Comparación de las concentraciones de PM₁₀ diario con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010



▪ Valores para Plomo

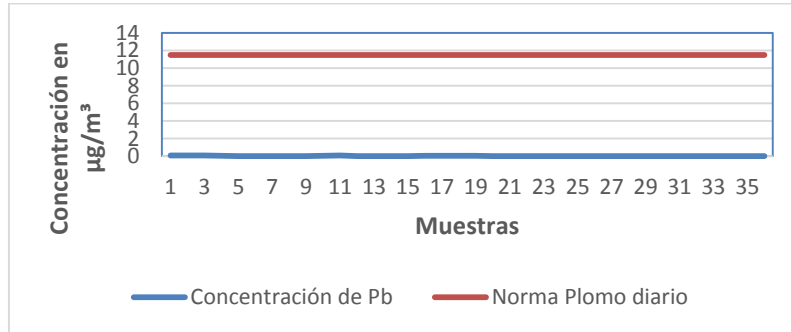
La legislación colombiana tiene el mismo nivel límite permisible que la Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea para las concentraciones de plomo en material particulado, para un tiempo de exposición anual, no obstante al llevar a cabo la corrección de la norma este valor se hace más restrictivo, aun así, el comportamiento de las muestras es el mismo (Figura 8-23). Se cumple con la legislación por un amplio margen, dadas las bajas concentraciones del metal presentes en el material particulado

Figura 8-23 Comparación de las concentraciones de plomo anual con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010



El caso del valor límite diario no difiere mucho del anual, por el contrario se comporta de la misma manera, dado que el valor establecido es mucho más alto que el anual (Figura 8-24). Aunque el valor diario de la Resolución 601 de 2006 es el mismo trimestral de la USEPA, referido ya, en el numeral anterior; su valor es más restrictivo por la corrección a condiciones locales.

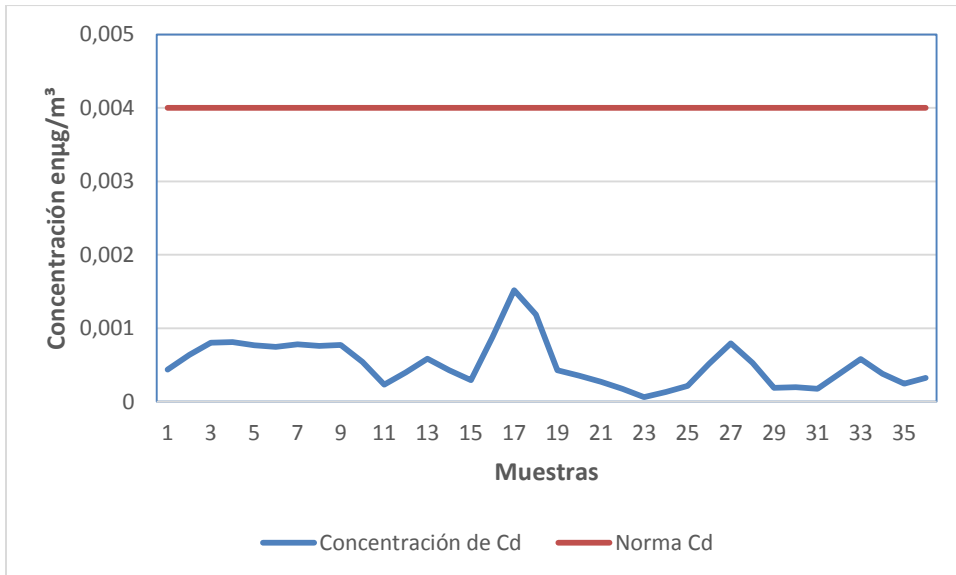
Figura 8-24 Comparación de las concentraciones de plomo diario con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010



▪ **Valores para Cadmio**

Al igual que para plomo, la normatividad en Colombia tiene el mismo nivel límite permisible que la Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea para las concentraciones de cadmio en material particulado, para un tiempo de exposición anual. Sin embargo, al llevar a cabo la corrección de la norma este valor se hace más restrictivo; aun así, el comportamiento de las muestras es el mismo (Figura 8-25). Se cumple con la legislación por un amplio margen, dadas las bajas concentraciones del metal presentes en el material particulado

Figura 8-25 Comparación de las concentraciones de cadmio anual con los Niveles Límites Permisibles según la Resolución 610 de 2010



8.4 Índice de calidad del aire

De acuerdo con los datos de concentraciones de PM₁₀ registrados por la SDA, el ICA anual para la localidad es de 71.2 (Hospital Centro Oriente E.S.E., 2014), ubicándose en la franja de regular. Esto indica que la calidad del aire en la localidad es aceptable, sin embargo, algunas de las personas que son inusualmente sensibles, pueden presentar síntomas moderados; por lo que se recomienda limitar los esfuerzos prolongados al aire libre. Este valor adquiere una connotación relevante, dado que la localidad cuenta con una alta población en los grupos etarios sensibles, es decir, menores de 5 años y adultos mayores de 60.

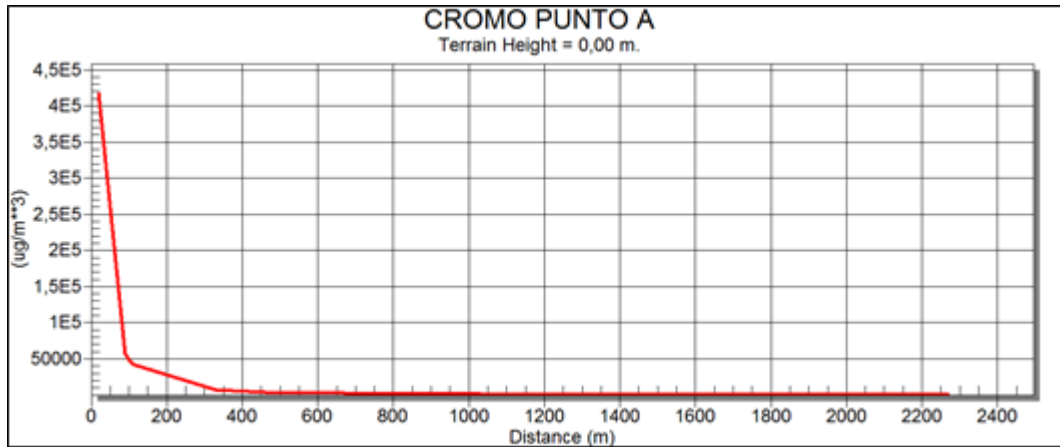
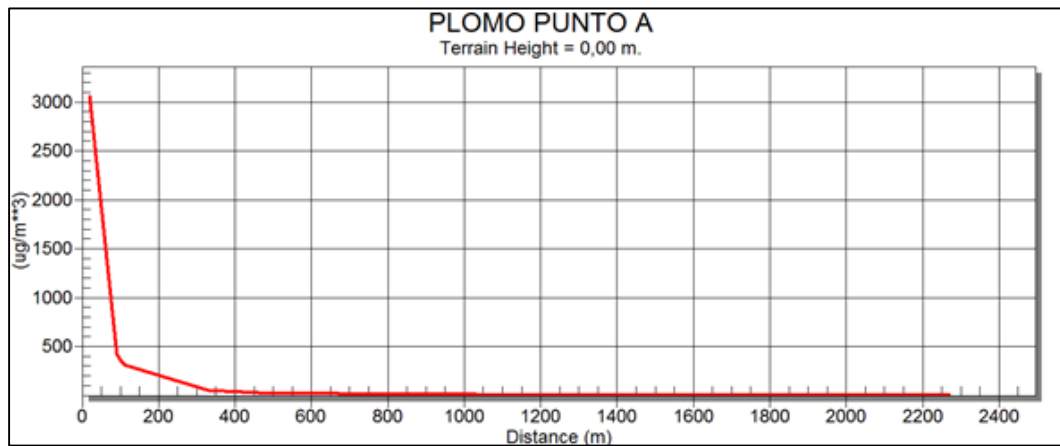
Para un periodo de 24 horas la clasificación del ICA es de 142.4, lo que la ubica en la franja de desfavorable, quiere decir que no solo los inusualmente sensibles pueden presentar efectos en la salud sino también quienes pertenecen a los grupos sensibles. [85]. Es decir que los niños y niñas menores de 12 años que tienen antecedentes de enfermedades respiratorias como asma o síndrome bronco obstructivo recurrente y los adultos mayores de 60 años con antecedentes de EPOC (asma, enfisema), fumadores y población que labora o hace ejercicio al aire libre en el sector tienen una mayor probabilidad de presentar síntomas respiratorios; así como de desarrollar posibles enfermedades cardiovasculares [85]

8.5 Modelo Environmental Lakes

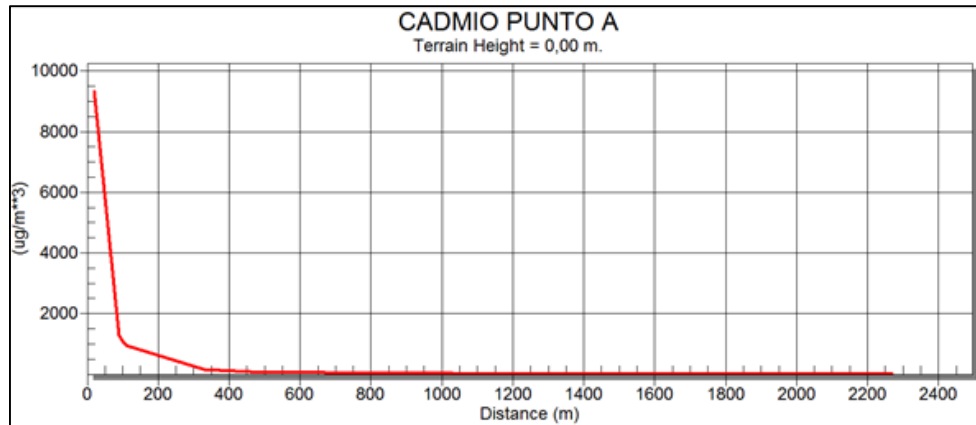
Estación de monitoreo A

En las Figuras 8-27 y 8-28 se presentan las gráficas del modelo para la dispersión de las concentraciones de cromo y plomo en la estación de monitoreo de la IED Ricaurte. En ambas gráficas, los valores descienden drásticamente en los 100 metros más próximos a la estación de monitoreo, mientras que entre los 100 y los 400 metros lo hacen paulatinamente hasta observarse que no hay presencia del metal.

A pesar de que gráficamente el comportamiento es igual, la escala de las concentraciones varía, debido a que los valores de las mismas son diferentes, sin embargo tomando en cuenta que las trazas de metales hallados están de una manera u otra ligadas a la concentración de PM₁₀, es posible deducir que su comportamiento resulte similar, máxime cuando las condiciones meteorológicas inciden en la forma en que son dispersos y por ende, en el alcance que tienen.

Figura 8-26. Dispersión de cromo para receptores estación A**Figura 8-27 Dispersión de plomo para receptores estación A**

Para el cadmio la gráfica presenta el mismo comportamiento del cromo (Figura 8-29), no obstante la escala de concentraciones varía, esto quiere decir que en términos generales las concentraciones del metal tienden a precipitarse rápidamente en distancias cercanas al punto de monitoreo, esto se debe principalmente a que son muy bajas, como se evidenció al compararlo con la normatividad, es probable que en otros escenarios, es decir, con condiciones meteorológicas desfavorables puedan alcanzar distancias mayores.

Figura 8-28 Dispersión de cadmio para receptores estación A

Los datos modelados son coherentes, si se tiene en cuenta que otros estudios sugieren [89] que las concentraciones de Cd y Cr varían de acuerdo a la proximidad del receptor a la fuente de emisión, máxime cuando generalmente muestran dependencia lineal del PM_{10} indicando que su presencia depende de las fuentes que contribuyen a la emisión, tanto de PM_{10} como de metales traza [90].

8.5.1 Estación de monitoreo B

Para la estación de monitoreo de la IED República Bolivariana de Venezuela el comportamiento de las gráficas de cromo (Figura 8-30) y cadmio (Figura 8-31) es idéntico, varía únicamente en la escala de las concentraciones. A pesar de este comportamiento tienen una diferencia marcada frente a las de la estación A, ya que las concentraciones descienden drásticamente hasta los 500 metros, a partir de allí el descenso es menos marcado hasta 1000 metros en donde empieza a disminuir con una pendiente menos pronunciada pero con un alcance cercano a los 2 kilómetros.

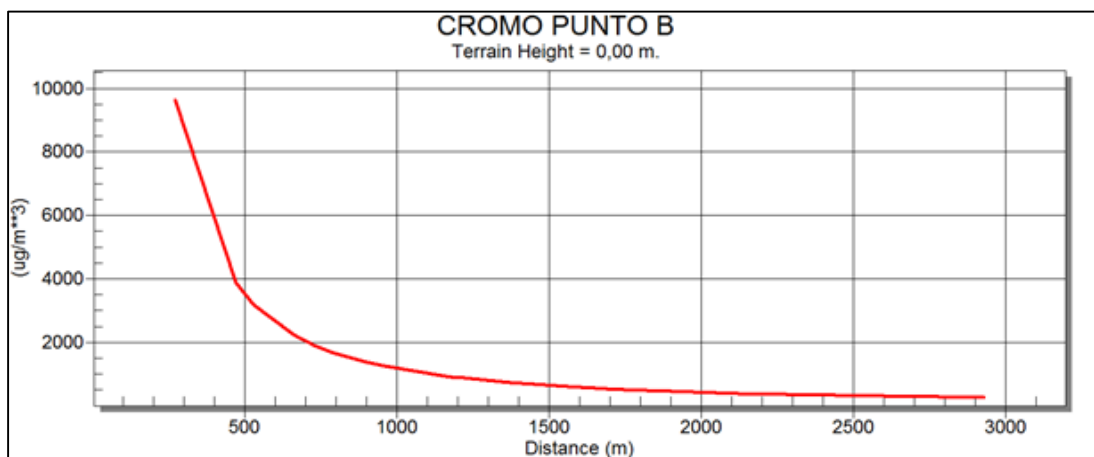
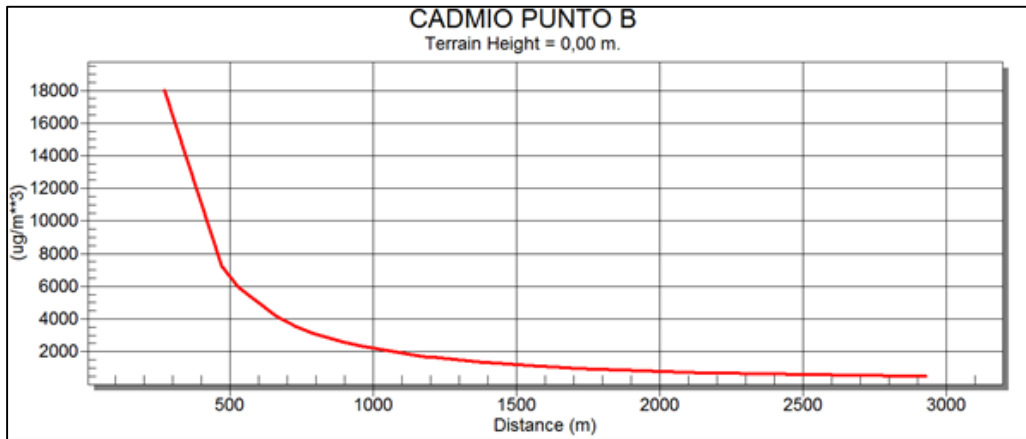
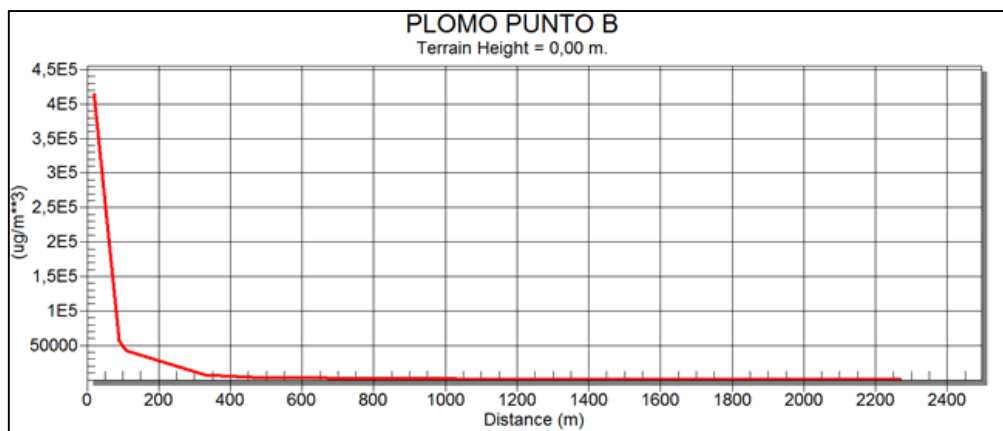
Figura 8-29 Dispersión de cromo para receptores estación B

Figura 8-30 Dispersión de cadmio para receptores estación B

Este comportamiento obedece a que en cercanías a la estación se encuentran más fuentes emisoras que en la estación A, lo que supondría que con velocidades de viento altas los metales pueden alcanzar distancias más largas.

En el caso del plomo el comportamiento es idéntico al de la estación de monitoreo A, el metal disminuye en un área cercana a los 100 metros, a partir de allí y hasta los 400 metros la pendiente es menos pronunciada hasta que las concentraciones llegan al valor mínimo (Figura 8-32)

Figura 8-31 Dispersión de plomo para receptores estación B

Este comportamiento puede estar relacionado con el hecho de que la mayoría de las fuentes que aportan a las emisiones de plomo en la localidad son fugitivas, y no se consideran como aportantes continuas, generalmente en las zonas donde existen operaciones industriales importantes, la influencia de estas en la determinación de las concentraciones ambientales de plomo es muy importante [90]. Al observar el

comportamiento del plomo frente al cadmio y el cromo, los datos arrojados por el modelo sugieren que no se originan de una fuente común.

9. Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

Aunque las concentraciones de los metales halladas en el monitoreo cumplen ampliamente la normatividad ambiental nacional e internacional, cobra importancia su vigilancia y monitoreo ya que la mayoría de estos puede ser transportados largas distancias en la atmósfera para ser depositado sobre la superficie del suelo o del agua, con una incidencia sobre la salud de la población expuesta; en especial en los grupos etarios sensibles.

Este modelo es un aporte en el análisis de escenarios de recepción de contaminantes atmosféricos de interés toxicológico, en especial en una localidad que adolece de vigilancia directa de la calidad del aire por parte de la red de monitoreo de la autoridad ambiental distrital. Aunque los escenarios planteados no evidencian aparentemente una problemática en donde las concentraciones superen valores de referencia; el principio toxicológico que señala un efecto tóxico aun cuando se está expuesto a bajas pero periodos largos de exposición cobra relevancia de acuerdo a las características de la población expuesta en el sector y los usos del suelo.

Las concentraciones de metales reportadas por el modelo muestran un alcance reducido hasta los receptores más cercanos, es posible que al igual que en estudios similares, las concentraciones de plomo varíen de acuerdo a la proximidad del receptor a la fuente de emisión, posiblemente porque precipiten muy cerca de las fuentes de emisión, en gran medida porque pueden tener una dependencia lineal del PM_{10} evidenciando que su presencia en el material particulado depende de las fuentes que contribuyen a la emisión de ambos.

El cadmio y el cromo tienen un alcance más pronunciado a los receptores a diferencia de lo reportado para el plomo lo que sugiere que su comportamiento puede estar ligado al hecho de que no se originen de una fuente común. Esta situación incidiría a que su transporte fuese más prolongado, haciendo que tengan alcances hasta de casi 2,5 kilómetros, aunque en concentraciones demasiado bajas, que no alcanzan a sobrepasar los Niveles Límites Permisibles de la legislación nacional e internacional vigente

9.2 Recomendaciones

Se recomienda desarrollar investigaciones futuras que contemplen un periodo de monitoreo más largo; sin salirse de los lineamientos establecidos en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del IDEAM, un periodo más largo permitiría

estimar una correlación significativa entre las concentraciones de material particulado (PM_{10} y PST) y los metales pesados, de tal forma que se analizará además una posible relación con efectos sobre la salud a través de un estudio epidemiológico que permita establecer una posible relación entre exposición y enfermedad.

Aunque los niveles de las concentraciones no superan los límites, puede considerarse la ejecución de muestreos, con equipos muestreadores de alto flujo $PM_{2.5}$; a nivel intra y extra mural, que permitan establecer concentraciones en los lugares con mayor número de personas expuestas, como hospitales, centros educativos y demás. La localidad se caracteriza por una gran presencia de instituciones educativas, jardines infantiles y hogares geriátricos que albergan una cantidad importante de personas pertenecientes a grupos sensibles.

A. Anexo: Pesaje de filtros y calibración de equipos

En la tabla A1 se presentan los pesos de los filtros previos al muestreo

Tabla A-1 Pesaje de filtros previo al muestreo

| Número de Filtro | Estación IED Ricaurte sede B | | | Número de Filtro | IED República Bolivariana de Venezuela Sede A | | |
|------------------|------------------------------|-------------|---------|------------------|---|-------------|---------|
| | Peso 24 H (g) | Peso 1H (g) | % Error | | Peso 24 H (g) | peso 1H (g) | % Error |
| 1 | 4,3199 | 4,3199 | 0,000% | 1 | 4,3265 | 4,3267 | 0,005% |
| 2 | 4,3828 | 4,3824 | 0,009% | 2 | 4,3257 | 4,3267 | 0,023% |
| 3 | 4,3769 | 4,3772 | 0,005% | 3 | 4,3397 | 4,3391 | 0,014% |
| 4 | 4,3802 | 4,3800 | 0,005% | 4 | 4,3465 | 4,3460 | 0,012% |
| 5 | 4,3813 | 4,3818 | 0,011% | 5 | 4,3339 | 4,3340 | 0,003% |
| 6 | 4,3835 | 4,3829 | 0,014% | 6 | 4,3430 | 4,3429 | 0,003% |
| 7 | 4,3778 | 4,3780 | 0,005% | 7 | 4,3380 | 4,3378 | 0,005% |
| 8 | 4,3679 | 4,3676 | 0,007% | 8 | 4,3500 | 4,3502 | 0,004% |
| 9 | 4,3679 | 4,3674 | 0,010% | 9 | 4,3246 | 4,3244 | 0,004% |
| 10 | 4,3611 | 4,3634 | 0,053% | 10 | 4,3381 | 4,3390 | 0,021% |
| 11 | 4,3541 | 4,3535 | 0,014% | 11 | 4,3466 | 4,3472 | 0,014% |
| 12 | 4,3588 | 4,3537 | 0,117% | 12 | 4,3393 | 4,3397 | 0,009% |
| 13 | 4,3302 | 4,3389 | 0,201% | 13 | 4,3469 | 4,3472 | 0,006% |
| 14 | 4,3021 | 4,3004 | 0,040% | 14 | 4,3385 | 4,3380 | 0,012% |
| 15 | 4,3488 | 4,3541 | 0,122% | 15 | 4,3124 | 4,3121 | 0,007% |

| | | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|----|--------|--------|--------|
| 16 | 4,3343 | 4,3322 | 0,048% | 16 | 4,3202 | 4,3206 | 0,009% |
| 17 | 4,3267 | 4,3282 | 0,035% | 17 | 4,3170 | 4,3172 | 0,005% |
| 18 | 4,3178 | 4,3180 | 0,005% | 18 | 4,2920 | 4,2912 | 0,019% |

PROTOCOLO DE CALIBRACION DE EQUIPOS

La calibración de los equipos se realizó in situ, mediante el método establecido por el Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental del IDEAM (2005), con el procedimiento de la Tabla

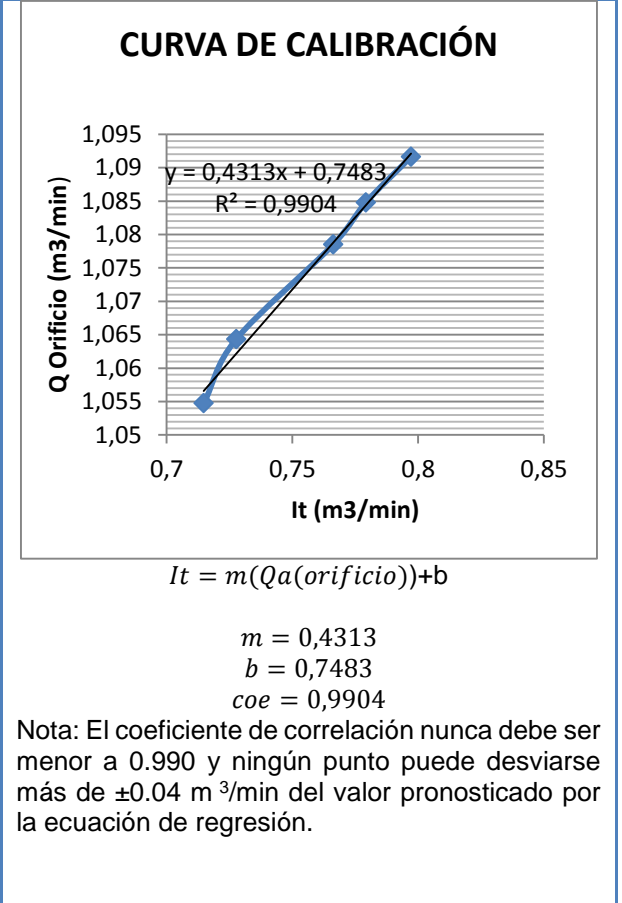
Tabla A-2. Procedimiento para la calibración de equipos PM₁₀ y PST [49]

| FICHA DE PROTOCOLO DE CALIBRACIÓN | |
|-----------------------------------|--|
| 1 | Registre la temperatura ambiente promedio en la cercanía del equipo muestreador. |
| 2 | Registre la presión barométrica |
| 3 | Instale un filtro limpio y opere el equipo durante 5 minutos para establecer equilibrio térmico antes de la calibración. |
| 4 | Apague el equipo y retire el filtro |
| 5 | Desconecte el motor del controlador de flujo y conéctelo directamente a una fuente de energía estable. |
| 6 | Coloque el kit de calibración. |
| 7 | Encienda nuevamente el equipo y asegúrese de que no existan fugas en el sistema. |
| 8 | Apague el equipo y conecte el manómetro diferencial con rango de 0 – 8 in de agua a la toma de presión del kit de calibración. |
| 9 | Conecte el manómetro diferencial con rango de 0 – 18 in de agua a la derivación de presión que se encuentra en la parte inferior de la carcasa del motor. |
| 10 | Registre el valor del manómetro del tipo de resistencia de flujo variable, desde una máxima hasta una mínima abertura. Se requieren por lo menos cuatro ratas de flujo de calibración y por lo menos tres valores deberán estar dentro del rango aceptable de flujo (1.02 a 1.24 m ³ /min para muestreadores de PM ₁₀). |
| Construcción Curva de Calibración | |
| 11 | <p>Calcule la rata de flujo a condiciones reales a través del calibrador para cada punto utilizando la siguiente ecuación:</p> $Qa = \frac{(\Delta H * \frac{Ta}{Pa})^{1/2} - b}{m}$ <p>En donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qa (orificio) = Caudal real a través del calibrador (m³/min). • ΔH = Caída de presión a través del calibrador (mm o in de agua), si la medida se encuentra expresada en mm se debe convertir a in dividiendo por 2.54. • Pa = Presión barométrica (mm Hg). • Ta = Temperatura ambiente (K). • m = Pendiente de la relación de calibración del orificio. |

| | | |
|--|---|---|
| | <p>Calcule el valor de la carta record transformada (It) para cada punto utilizando la siguiente ecuación:</p> | <ul style="list-style-type: none"> • b = Intercepción de la relación de calibración del orificio. <p>Factor de conversión</p> $mm \text{ de agua} * \frac{1 \text{ pulg de agua}}{2,54mm \text{ de agua}}$ $Qa1 = \frac{(2,8346 * \frac{289,65}{770,89})^{1/2} - 0,015}{0,989} = 1,028M3/min$ $It = \left(\frac{I(tamb + 30)}{pamb} \right)^{0,5}$ <p>donde</p> <ul style="list-style-type: none"> • It = Lectura transformada de la carta record. • I = Lectura de la carta record de flujo • Pa = Presión barométrica (mm Hg). • Ta = Temperatura ambiente (K). $It = \left(\frac{1,238m3/min(289,65K+30)}{770,89mmH20} \right)^{0,5} = 0,797188$ |
|--|---|---|

Construir la curva de calibración del equipo

12 graficando el caudal a condiciones reales (Q a (orificio)) en el eje x, contra la lectura de presión transformada del manómetro del muestreador (ΔP_{ext}) en el eje y. Calcular la pendiente, el intercepto y el coeficiente de correlación de la curva:



Procedimiento de ajuste del controlador de flujo (Determinación del Set Point)

| | | |
|----|--|---|
| 13 | Calcule y registre en el formato de calibración el valor del Set Point del manómetro (o la lectura del registrador de flujo) utilizando la siguiente ecuación: | $SSP = * (1,13m + b) * \frac{Pa^{0,5}}{(Ta + 30)}$ <p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • SSP = lectura del set point del muestreador (mm de agua). • Pa = Presión barométrica (mm Hg). • Ta = Temperatura ambiente (K). • m = Pendiente de la relación de calibración del orificio. • b = Intercepto de la relación de calibración del orificio. <p>Nota: El valor de 1.13 m³/min corresponde al valor ideal del flujo de muestreo.</p> $SSP = * (1,13(0,4313) + 0,7483) * \frac{770,893^{0,5}}{(289,65 + 30)}$ <p>SSP = 1,9189419</p> |
| 14 | Verifique que el motor se encuentre conectado al controlador de flujo y que se encuentre conectado el manómetro diferencial al puerto de presión de la carcasa del motor | |
| 15 | Instale un filtro limpio (en un casete de filtro) de acuerdo a las instrucciones del fabricante (si se utiliza un registrador de flujo cuantitativamente, instale una carta record limpia y verifique que el registrador esté en cero, es decir que el lapicero permanezca en el círculo más interno de la carta). | |
| 16 | Encienda el equipo y permita que se caliente durante 3 a 5 minutos hasta que esté a la temperatura de operación. | |
| 17 | Siguiendo las instrucciones del fabricante ajuste el controlador de flujo hasta que la lectura en el manómetro indique el valor calculado del SSP. | |
| 18 | Verifique que el controlador de flujo mantenga la rata de flujo por al menos 10 minutos. Apague el muestreador, que a partir de ahora está listo para el siguiente día de muestreo. | |

Las Tablas A3 y A4 presentan los datos de calibración de los equipos PM₁₀ y PST.

Tabla A-3. Datos de calibración equipo PM₁₀

| | |
|--|--|
| Lugar de calibración: IED Ricaurte sede B | Fecha: 28 de mayo del 2014 |
| Responsable: Ing. Johan Álvarez Berrio | Identificación de equipos: Hi-vol. PM ₁₀ , con controlador de flujo másico y registrador de flujo. |

| No de Puntos | ΔH In H ₂ O | Qa1,02- 1,24(m ³ /min) | L (m ³ /min) | L (m ³ /min) | % Diferencia (basada en flujo ideal a 1,13 m ³ /min) |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------|--|
| 1 | 7,2 | 1,02833463 | 0,7971883 | 1,238 | 10,16 |
| 2 | 8 | 1,08477966 | 0,779158255 | 1,21 | 4,522 |
| 3 | 7,5 | 1,04985178 | 0,766279606 | 1,19 | 8,015 |
| 4 | 7 | 1,01373889 | 0,7276436 | 1,13 | 11,62 |
| 5 | 8,1 | 1,09163297 | 0,714765011 | 1,11 | 3,83673 |
| Datos | | | | | |
| Presión ambiente (mm H₂O) | | | 770,893 | | |
| Temperatura ambiente (K) | | | 289,65 | | |
| M | | | 0,989 | | |
| B | | | 0,015 | | |
| SSP (in H₂O) | | | 1,9189419 | | |
| SSP (mm H₂O) | | | 4,87411268 | | |

Tabla A-4 Datos de calibración equipo PST

| Lugar de calibración: IED República Bolivariana de Venezuela | | | | Fecha: 28 de mayo del 2014 | |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---|--|
| Responsable: Carolina Martínez | | | | Identificación de equipos: TSP con controlador de flujo másico y registrador de flujo. | |
| No de Puntos | ΔH In H ₂ O | Qa1,02- 1,24(m ³ /min) | L (m ³ /min) | L (m ³ /min) | % Diferencia (basada en flujo ideal a 1,13 m ³ /min) |
| 1 | 2 | 1,3210032 | 1,26468469 | 1,38 | 2 |

| | | | | | |
|---|--------|-----------|------------|------|--------|
| 2 | 1,9266 | 1,333168 | 1,23608116 | 1,1 | 1,9266 |
| 3 | 1,8516 | 1,346008 | 1,21565007 | 1,21 | 1,8516 |
| 4 | 1,775 | 1,3742708 | 1,15435679 | 1,3 | 1,775 |
| 5 | 1,7416 | 1,3900025 | 1,13392569 | 1,13 | 1,7416 |
| Datos | | | | | |
| Presión ambiente (mm H₂O) | | | 770,893 | | |
| Temperatura ambiente (K) | | | 289,65 | | |
| M | | | 0,989 | | |
| B | | | 0,015 | | |
| SSP (in H₂O) | | | 1,9189419 | | |
| SSP (mm H₂O) | | | 4,87411268 | | |

B. Anexo: Informe de laboratorio análisis de elementos traza

En el documento que se presenta a continuación se muestran los resultados del análisis de elementos traza en los filtros de PM₁₀ y PST en la determinación de los metales pesados.

FECHA: 26 DE JULIO DE 2014
LEAET011

CODIGOINFORME:

INFORMACION GENERAL.

DATOS DEL LABORATORIO.

| | |
|-----------------------|--|
| Nombre o razón social | Laboratorio especializado en análisis de elementos traza (LEAET) - Universidad de la Salle – Laboratorio Acreditado IDEAM |
| NIT | 860.015.542-6 |
| Dirección | Carrera 2 N 10-70 Bogotá, D.C, Piso -1. |
| Teléfono | P.B.X.: 353 53 60 Ext. 2545 - Fax: 286 83 90 |
| E-mail | calondoño@lasalle.edu.co pbaracaldo84@unisalle.edu.co |

DATOS DEL CLIENTE.

| | |
|---|---|
| Nombre o razón social | Johan Álvarez; Carlos Mogollón |
| NIT | N/A |
| Dirección | Carrera 50 # 145ª 43 |
| Teléfono | 3108710184 |
| E-mail | dianacadena@usantotomas.edu.co ; andrerora@usantotomas.edu.co |
| Nombre de contacto | Johan Álvarez |
| Estudio contratado (sitio y fechas de muestreo) | Estudio Independiente – Tesis de Grado |

CONTENIDO DEL DOCUMENTO:

| | | |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| NÚMERO DE PAGINAS DEL INFORME | NÚMERO DE PAGINAS DE ANEXOS | NÚMERO DE PAGINAS TOTAL DEL INFORME |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|

| | | |
|---|----|----|
| 4 | 14 | 18 |
|---|----|----|

DECLARACIONES:

- *En Este documento se presenta fielmente los resultados de las mediciones realizadas a los ítems relacionados bajo las condiciones específicas del ensayo.*
- *Este documento solo se puede reproducir totalmente con autorización escrita del director de laboratorio LEAET.*

OBJETIVO DEL CONTRATO.

Análisis de Cadmio (Cd), en Filtros de material particulado PM₁₀ y PST.

DESCRIPCION DEL LUGAR DE MUESTREO.

EL muestreo fue efectuado por las estudiantes Andrea Roa y Diana, en donde se reciben treinta y seis (36) muestras, dos (2) blancos dando un total de treinta y ocho (38) muestras, las culés son registran como pesos finales:

Tabla B-5. Código de Muestras Y Peso Final, De Cada Estación De Muestreo

| CONCENTRACIONES DE REPUBLICA | | CONCEN / PST | CONCENTRACIONES DE RICAURTE | | CONCEN / PM ₁₀ |
|------------------------------|-------------|--------------|-----------------------------|-------------|---------------------------|
| A1 | 0,000426881 | 57,03380589 | B1 | 0,000526812 | 174,8083972 |
| A2 | 0,000395744 | 60,77348066 | B2 | 0,000402757 | 72,41534989 |
| A3 | 0,000353564 | 86,28164642 | B3 | 0,000190892 | 162,565445 |
| A4 | 0,00035356 | 41,450485 | B4 | 0,000264133 | 77,64786014 |
| A5 | 0,000272868 | 14,49738834 | B5 | 0,000195998 | 58,2729805 |
| A6 | 0,000205907 | 25,53418803 | B6 | 0,000185183 | 35,78506937 |
| A7 | 0,000177673 | 44,61512396 | B7 | 0,000175388 | 77,31290513 |
| A8 | 0,000203625 | 68,02380555 | B8 | 0,000107054 | 125,629265 |
| A9 | 6,4119E-05 | 44,92745807 | B9 | 0,000374607 | 95,7730812 |
| A10 | 8,09482E-05 | 22,80773025 | B10 | 0,000339562 | 124,8049922 |

| | | | | | |
|-----|-------------|-------------|-----|-------------|-------------|
| A11 | 0,000133654 | 41,2365443 | B11 | 0,000580986 | 98,58998557 |
| A12 | 0,0002013 | 40,23269722 | B12 | 0,000400341 | 79,74089792 |
| A13 | 0,000214661 | 45,84257206 | B13 | 0,000379696 | 81,19158879 |
| A14 | 0,000346744 | 51,79573513 | B14 | 0,000477137 | 133,1258645 |
| A15 | 0,000514434 | 59,14223794 | B15 | 0,000246822 | 77,07199032 |
| A16 | 0,000583995 | 52,62335226 | B16 | 0,000219195 | 118,1262729 |
| A17 | 0,000792676 | 60,86173923 | B17 | 0,00032468 | 100,6376812 |
| A18 | 0,00049419 | 75,97330367 | B18 | 0,000592309 | 31,9655934 |

PLAN Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO.

Las muestras de filtros, fueron muestreadas por los estudiantes ya mencionados. Las muestras de filtros fueron pesadas y extraídas del material del filtro para el análisis de elementos inorgánicos de acuerdo al método USEPA I03.1 y el expuesto en *Anal. Chem.* 1983, 55, 1553-1557, y posteriormente se completaron a volumen (25 ml) y se leyeron en espectrofotómetros de emisión mediante plasma ICP.

MÉTODOS Y EQUIPOS DE MUESTREO UTILIZADOS.

Las muestras fueron tomadas en campo por los estudiantes mencionados.; se analizaron un total de (18) muestras y un (1) blanco, correspondientes a filtros de Fuentes Fijas.

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS EN LABORATORIO.

La técnica analítica empleada para el análisis de filtros fue el método USEPA IO3.1; la digestión preparación y extracción del material del filtro para el análisis de elementos inorgánicos de acuerdo al método USEPA IO3.1 y el expuesto en *Anal. Chem.* 1983, 55, 1553-1557 y el equipo empleado fue el espectrofotómetro de plasma ICAP 6300 y método validado internamente TLA003.

Tabla B-6. Resultados de análisis

| MUESTRAS | Cd (mg/L) | Cr (mg/L) | Pb (mg/L) | Cd (µg/g) | Cr (µg/g) | Pb (µg/g) |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Blanco | 0,0001 | -0,0034 | 0,0030 | - | - | - |
| A1 | 0,0025 | 0,1117 | 0,4394 | 2,4130 | 112,1552 | 425,3665 |
| A3 | 0,0045 | 0,1828 | 0,4943 | 3,8974 | 162,1884 | 427,9735 |
| A5 | 0,0044 | 0,1719 | 0,0763 | 13,2004 | 536,2047 | 224,3407 |
| A7 | 0,0036 | 0,0743 | 0,0567 | 10,1098 | 219,8510 | 152,1310 |
| A9 | 0,0039 | 0,2269 | 0,0933 | 8,0907 | 486,2381 | 190,6263 |
| A11 | 0,0014 | 0,0751 | 0,4472 | 2,3637 | 144,6048 | 818,6877 |
| A13 | 0,0030 | 0,1392 | 0,0510 | 7,2055 | 354,2558 | 119,2139 |

| | | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|
| A15 | 0,0017 | 0,1131 | 0,1378 | 3,7895 | 273,4735 | 316,5364 |
| A17 | 0,0089 | 0,3707 | 0,4108 | 15,0594 | 639,0977 | 696,6426 |
| B1 | 0,0048 | 0,1119 | 0,4916 | 7,4847 | 183,9503 | 779,4745 |
| B3 | 0,0031 | 0,0828 | 0,2356 | 3,1105 | 88,2385 | 238,0395 |
| B5 | 0,0009 | 0,0350 | 0,0214 | 4,4210 | 216,5955 | 103,7213 |
| B7 | 0,0021 | 0,0421 | 0,0878 | 4,8114 | 107,9392 | 201,1386 |
| B9 | 0,0082 | 0,1007 | 0,1056 | 17,6429 | 225,1510 | 221,8731 |
| B11 | 0,0021 | 0,0567 | 0,2416 | 4,6288 | 136,2400 | 540,8501 |
| B13 | 0,0020 | 0,0526 | 0,1248 | 3,8256 | 110,6429 | 240,4878 |
| B15 | 0,0072 | 0,0766 | 0,1367 | 9,8233 | 110,6033 | 184,9391 |
| B17 | 0,0022 | 0,0407 | 0,0883 | 4,0558 | 82,9343 | 160,6230 |

Los datos de concentración están reportados sobre la base del peso del filtro. Además se llevó a una solución final de 25 mL y no fue necesario realizar ningún tipo de dilución.

Para calcular la masa de partículas se procedió a emplear la ecuación presentada a continuación de acuerdo a lo estipulado en el protocolo TLA Versión 03- LEAET.

$$\mu\text{g metal} = \frac{A \times B \times C \times 1000}{D}$$

En donde:

A= contenido del metal reportado en equipo (mg/L)

B= Volumen final de la muestra (L)

C= peso del filtro (g)

D= peso de la tira (g)

Tabla B-7. Concentración de metales

| MUESTRAS | Resultado Cd (µg) - blanco | Resultado Cr (µg)- blanco | Resultados Pb (µg) - blanco |
|----------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Blanco | | | |
| A1 | 0,3941 | 18,3161 | 69,4666 |
| A3 | 0,7366 | 30,6536 | 80,887 |
| A5 | 0,6904 | 28,0435 | 11,733 |
| A7 | 0,6632 | 14,4222 | 9,9798 |
| A9 | 0,6966 | 41,8651 | 16,4129 |

| | | | |
|-----|--------|---------|---------|
| A11 | 0,2099 | 12,8409 | 72,6995 |
| A13 | 0,5008 | 24,6208 | 8,2854 |
| A15 | 0,2414 | 17,4203 | 20,1634 |
| A17 | 1,3072 | 55,4737 | 60,4686 |
| B1 | 0,7829 | 19,2412 | 81,533 |
| B3 | 0,5098 | 14,4623 | 39,0147 |
| B5 | 0,1203 | 5,8914 | 2,8212 |
| B7 | 0,3801 | 8,5272 | 15,89 |
| B9 | 1,4697 | 18,7551 | 18,482 |
| B11 | 0,3458 | 10,1771 | 40,4015 |
| B13 | 0,3164 | 9,1502 | 19,8883 |
| B15 | 1,0187 | 11,4696 | 19,1782 |
| B17 | 0,4388 | 8,9735 | 17,3794 |

INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

De acuerdo a los resultados anteriormente presentados, se puede observar que las concentraciones de Cd expresadas en mg/L son inferiores a 0,005 excepto en las muestras A17, B9 y B15, lo cual indica que los resultados de Cd para las demás muestras se encuentran por debajo del límite de detección.

Para el Cr, se observa que la mayor concentración se encuentra en la muestra A17 y finalmente para el Pb se encuentran las mayores concentraciones respecto a los otros dos metales evaluados para todas las muestras en general, sin dejar de lado que la mayor concentración nuevamente se encuentra en la muestra A17.

DESVIACION, ADICION O EXCLUSIONES EN ESTE INFORME

FIRMA
DIRECTOR DE LABORATORIO
 Fecha: 26/07/14



FIRMA
PAULA VICTORIA BARACALDO

ANALISTA DE LABORATORIO

Fecha: 26/07/14

La presentación del informe de resultados termina en esta línea.

ANEXOS**ANÁLISIS DE Cd, Cr y Pb**

Author:

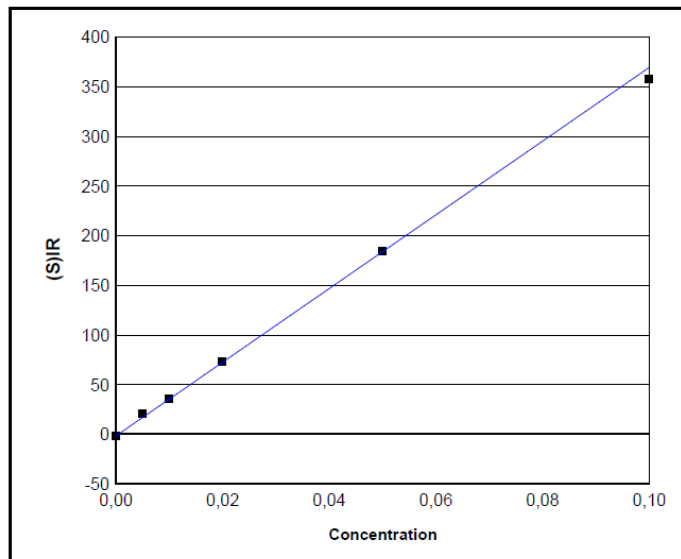
PAULA VICTORIA BARACALDO CAMACHO

Published:

23/07/2014 8:06:09

Method Name:

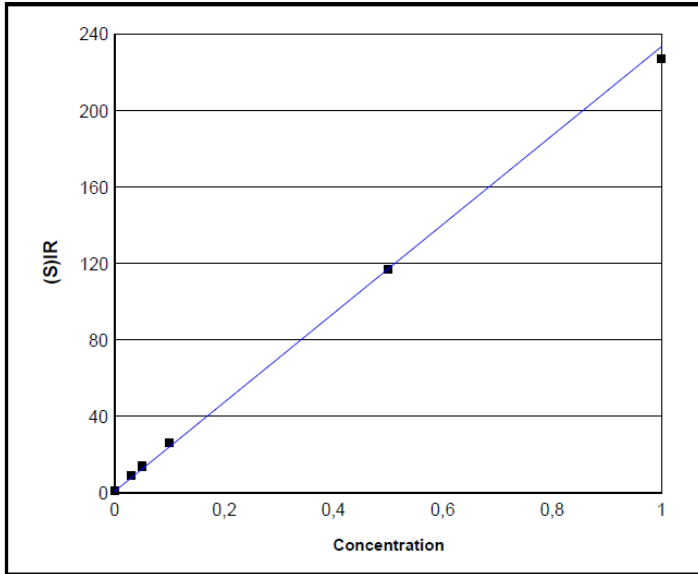
LiastesisCdPbCr (1)

ESTÁNDAR DE CUANTIFICACIÓN BAJA (SCB) Y ESTÁNDAR DE CUANTIFICACIÓN ALTA (SCA):

| | | |
|----------------------|---------------------|---------------------|
| Element Name: | Cd | |
| Element Wavelength: | Cd 226.502 nm | |
| Concentration Units: | ppm | |
| Date of Calibration: | 22/07/2014 16:21:31 | |
| Date of Fit: | 22/07/2014 16:21:31 | |
| Type of Fit: | Linear | |
| Correlation: | 0,9975 | |
| A0 (Offset): | -1,861 | |
| A1 (Gain): | 3.711 | |
| A2 (Curvature): | 0,0000 | |
| n (Exponent): | 1,000 | |
| | Reslope | QC Normalize |
| Slope: | 1,000 | Slope factor: 1,000 |
| Y Int: | 0,0000 | Offset: 0,0000 |

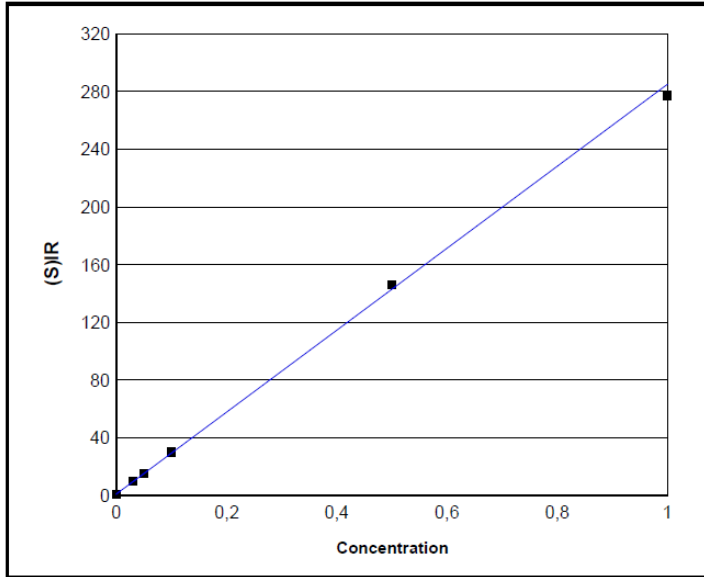
| Standard Name | Stated | Found | Diff | % Diff | (S)IR | Stddev | Emphasis |
|---------------|----------|-------------|--------------|---------|--------|---------|----------|
| Blanco | 0,0000 | 0,000000000 | -0,000002106 | 0,0000 | -1,869 | 0,7662 | 1 |
| Control Baja | 0,005000 | 0,010000 | 0,002122 | 42,45 | 24,57 | 0,8750 | 1 |
| CalibPatrón-1 | 0,005000 | 0,000000 | -0,00001591 | -0,3182 | 16,64 | 0,2206 | 1 |
| CalibPatrón-2 | 0,01000 | 0,01000 | 0,00008541 | 0,8541 | 35,57 | 0,6046 | 1 |
| CalibPatrón-3 | 0,02000 | 0,02000 | 0,0001744 | 0,8720 | 73,01 | 0,07201 | 1 |
| CalibPatrón-4 | 0,05000 | 0,05000 | 0,002550 | 5,101 | 193,2 | 0,5141 | 1 |

| | | | | | | | |
|---------------|---------|---------|-----------|--------|-------|-------|---|
| CalibPatrón-5 | 0,1000 | 0,10000 | -0,002996 | -2,996 | 358,2 | 1,956 | 1 |
| Control Alta | 0,05000 | 0,05000 | -0,001920 | -3,841 | 176,6 | 1,703 | 1 |



| | | | |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|--------|
| Element Name: | Cr | | |
| Element Wavelength: | Cr 283.563 nm | | |
| Concentration Units: | ppm | | |
| Date of Calibration: | 22/07/2014 16:21:31 | | |
| Date of Fit: | 22/07/2014 16:21:31 | | |
| Type of Fit: | Linear | | |
| Correlation: | 0,9979 | | |
| A0 (Offset): | 0,9225 | | |
| A1 (Gain): | 232,6 | | |
| A2 (Curvature): | 0,0000 | | |
| n (Exponent): | 1,000 | | |
| | | | |
| Reslope | QC Normalize | | |
| Slope: | 1,000 | Slope factor: | 1,000 |
| Y Int: | 0,0000 | Offset: | 0,0000 |

| Standard Name | Stated | Found | Diff | % Diff | (S)IR | Stddev | Emphasis |
|---------------|---------|------------|-------------|--------|--------|--------|----------|
| Blanco | 0,0000 | 0,00000000 | -0,00001870 | 0,0000 | 0,9182 | 1,011 | 1 |
| Control Baja | 0,03000 | 0,04000 | 0,01054 | 35,14 | 10,35 | 1,401 | 1 |
| CalibPatrón-1 | 0,03000 | 0,03000 | 0,001936 | 6,452 | 8,350 | 0,2678 | 1 |
| CalibPatrón-2 | 0,05000 | 0,06000 | 0,006717 | 13,43 | 14,11 | 1,715 | 1 |
| CalibPatrón-3 | 0,1000 | 0,1100 | 0,01045 | 10,45 | 26,61 | 1,279 | 1 |
| CalibPatrón-4 | 0,5000 | 0,5200 | 0,02427 | 4,854 | 122,9 | 4,519 | 1 |
| CalibPatrón-5 | 1,000 | 0,9700 | -0,02799 | -2,799 | 227,0 | 1,105 | 1 |
| Control Alta | 0,5000 | 0,4700 | -0,02592 | -5,184 | 111,2 | 1,291 | 1 |



| | | |
|----------------------|---------------------|---------------------|
| Element Name: | Pb | |
| Element Wavelength: | Pb 220.353 nm | |
| Concentration Units: | ppm | |
| Date of Calibration: | 22/07/2014 16:21:31 | |
| Date of Fit: | 22/07/2014 16:21:31 | |
| Type of Fit: | Linear | |
| Correlation: | 0,9987 | |
| A0 (Offset): | 0,9020 | |
| A1 (Gain): | 284,2 | |
| A2 (Curvature): | 0,0000 | |
| n (Exponent): | 1,000 | |
| | Reslope | QC Normalize |
| Slope: | 1,000 | Slope factor: 1,000 |
| Y Int: | 0,0000 | Offset: 0,0000 |

| Standard Name | Stated | Found | Diff | % Diff | (S)IR | Stddev | Emphasis |
|---------------|---------|-------------|--------------|---------|--------|--------|----------|
| Blanco | 0,0000 | 0,000000000 | -0,000004237 | 0,0000 | 0,9008 | 0,5905 | 1 |
| Control Baja | 0,03000 | 0,03000 | 0,004793 | 15,98 | 10,79 | 0,8050 | 1 |
| CalibPatrón-1 | | 0,03000 | -0,001556 | -5,187 | 8,985 | 0,4038 | 1 |
| CalibPatrón-2 | 0,05000 | 0,05000 | -0,0004143 | -0,8286 | 14,99 | 0,7123 | 1 |
| CalibPatrón-3 | 0,1000 | 0,1000 | 0,002481 | 2,481 | 30,02 | 0,5322 | 1 |
| CalibPatrón-4 | 0,5000 | 0,5400 | 0,04064 | 8,127 | 154,5 | 0,4504 | 1 |
| CalibPatrón-5 | 1,000 | 0,9700 | -0,02743 | -2,743 | 277,3 | 2,401 | 1 |
| Control Alta | 0,5000 | 0,4800 | -0,01851 | -3,701 | 137,7 | 1,685 | 1 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| Blanco | 22/07/2014 15:59:43 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|-------------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 9,75E-05 | -0,00398756 | 0,00165734 |
| Std Dev: | 0,000206121 | 0,00443129 | 0,00206715 |
| %RSD: | 211,33 | 111,128 | 124,727 |
| Repeat: 1 | 0,000325207 | -0,00454564 | 0,00356807 |

| | | | |
|------------------|---------------|-------------|--------------|
| Repeat: 2 | 4,37829e-005 | 0,000696337 | 0,00194091 |
| Repeat: 3 | -7,63847e-005 | -0,00811338 | -0,000536956 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| Control Baja | 22/07/2014 16:02:25 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | Z ***** | Z ***** | Z ***** |
| Std Dev: | ---- | ---- | ---- |
| %RSD: | ---- | ---- | ---- |
| Repeat: 1 | Z ---- | Z ---- | Z ---- |
| Repeat: 2 | Z ---- | Z ---- | Z ---- |
| Repeat: 3 | Z ---- | Z ---- | Z ---- |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| CalibPatrón-1 | 22/07/2014 16:05:07 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00349937 | 0,0236348 | 0,0245261 |
| Std Dev: | 4,1716e-005 | 0,000851772 | 0,00122494 |
| %RSD: | 1,1921 | 3,60389 | 4,99443 |
| Repeat: 1 | 0,00348149 | 0,0231144 | 0,0259235 |
| Repeat: 2 | 0,00354705 | 0,0231722 | 0,0240168 |
| Repeat: 3 | 0,00346957 | 0,0246177 | 0,023638 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| CalibPatrón-2 | 22/07/2014 16:07:51 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00832948 | 0,0469446 | 0,0470454 |
| Std Dev: | 0,000134519 | 0,00610193 | 0,00237792 |
| %RSD: | 1,61497 | 12,9982 | 5,05453 |
| Repeat: 1 | 0,00846522 | 0,0474135 | 0,0493237 |
| Repeat: 2 | 0,00832701 | 0,0406217 | 0,044579 |
| Repeat: 3 | 0,00819622 | 0,0527985 | 0,0472336 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| CalibPatrón-3 | 22/07/2014 16:10:34 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,0181793 | 0,0940167 | 0,0999117 |
| Std Dev: | 1,74834e-005 | 0,00468106 | 0,0018258 |
| %RSD: | 0,0961718 | 4,97896 | 1,82741 |
| Repeat: 1 | 0,0181592 | 0,0935787 | 0,0979704 |
| Repeat: 2 | 0,0181885 | 0,08957 | 0,10017 |
| Repeat: 3 | 0,0181904 | 0,0989014 | 0,101594 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| CalibPatrón-4 | 22/07/2014 16:13:19 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,0496112 | 0,459305 | 0,527287 |
| Std Dev: | 0,000130759 | 0,0170225 | 0,00154599 |
| %RSD: | 0,263567 | 3,70614 | 0,293196 |
| Repeat: 1 | 0,0496829 | 0,475417 | 0,526796 |

| | | | |
|------------------|-----------|----------|----------|
| Repeat: 2 | 0,0496905 | 0,441499 | 0,526047 |
| Repeat: 3 | 0,0494603 | 0,461 | 0,529019 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| CalibPatrón-5 | 22/07/2014 16:16:04 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,0919753 | 0,903363 | 0,913422 |
| Std Dev: | 0,000499591 | 0,00441526 | 0,00793654 |
| %RSD: | 0,54318 | 0,488758 | 0,86888 |
| Repeat: 1 | 0,0925347 | 0,901595 | 0,922101 |
| Repeat: 2 | 0,0918174 | 0,908389 | 0,906533 |
| Repeat: 3 | 0,0915737 | 0,900106 | 0,911633 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| Control Alta | 22/07/2014 16:18:50 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,0475983 | 0,466999 | 0,476337 |
| Std Dev: | 0,00045418 | 0,00546898 | 0,00586544 |
| %RSD: | 0,954193 | 1,17109 | 1,23136 |
| Repeat: 1 | 0,0477237 | 0,470215 | 0,482993 |
| Repeat: 2 | 0,0479767 | 0,460685 | 0,474094 |
| Repeat: 3 | 0,0470947 | 0,470099 | 0,471925 |

LECTURA DE MUESTRAS

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| Blanco | 22/07/2014 16:21:34 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|-------------------------|---------------|-------------|--------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 6,93E-05 | -0,0033931 | 0,00299191 |
| Std Dev: | 7,21829e-005 | 0,00361269 | 0,0029229 |
| %RSD: | 104,119 | 106,472 | 97,6933 |
| Repeat: 1 | 7,76024e-005 | -0,00503721 | 0,005858 |
| Repeat: 2 | -6,63635e-006 | -0,0058913 | 1,53362e-005 |
| Repeat: 3 | 0,000137016 | 0,000749228 | 0,0031024 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| A1 | 22/07/2014 16:24:15 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|-------------------------|-------------|-----------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00254502 | 0,111675 | 0,439406 |
| Std Dev: | 0,000173561 | 0,0082177 | 0,00389333 |
| %RSD: | 6,81963 | 7,35858 | 0,886044 |
| Repeat: 1 | 0,00245166 | 0,103799 | 0,43779 |
| Repeat: 2 | 0,00243811 | 0,120196 | 0,436581 |
| Repeat: 3 | 0,00274527 | 0,11103 | 0,443847 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| A3 | 22/07/2014 16:26:56 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|-------------------------|-------------|------------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,0045434 | 0,182796 | 0,494297 |
| Std Dev: | 0,000222824 | 0,00927654 | 0,00377272 |
| %RSD: | 4,90435 | 5,07481 | 0,763248 |
| Repeat: 1 | 0,00471987 | 0,193506 | 0,498313 |
| Repeat: 2 | 0,00429301 | 0,177284 | 0,493752 |

Repeat: 3 0,00461732 0,177597 0,490828

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| A5 | 22/07/2014 16:29:38 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|------------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00438462 | 0,171897 | 0,0763309 |
| Std Dev: | 0,000101829 | 0,00769671 | 0,00422137 |
| %RSD: | 2,32241 | 4,47752 | 5,53035 |
| Repeat: 1 | 0,00432698 | 0,167317 | 0,0798937 |
| Repeat: 2 | 0,00432469 | 0,180783 | 0,0716686 |
| Repeat: 3 | 0,0045022 | 0,16759 | 0,0774304 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| A7 | 22/07/2014 16:32:20 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|------------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00364113 | 0,074281 | 0,0567403 |
| Std Dev: | 0,000289946 | 0,00450786 | 0,00283732 |
| %RSD: | 7,96309 | 6,06866 | 5,00054 |
| Repeat: 1 | 0,00341349 | 0,0716686 | 0,0558474 |
| Repeat: 2 | 0,00396756 | 0,0716882 | 0,0599167 |
| Repeat: 3 | 0,00354233 | 0,0794862 | 0,0544569 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| A9 | 22/07/2014 16:35:02 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|------------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00390153 | 0,226919 | 0,0932842 |
| Std Dev: | 0,000390538 | 0,00446999 | 0,00371265 |
| %RSD: | 10,0099 | 1,96986 | 3,97993 |
| Repeat: 1 | 0,00381537 | 0,225773 | 0,0923451 |
| Repeat: 2 | 0,00432796 | 0,231851 | 0,0901313 |
| Repeat: 3 | 0,00356127 | 0,223134 | 0,0973763 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| A11 | 22/07/2014 16:37:44 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|------------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00135185 | 0,0750693 | 0,447211 |
| Std Dev: | 0,000186518 | 0,00166388 | 0,00456409 |
| %RSD: | 13,7972 | 2,21646 | 1,02057 |
| Repeat: 1 | 0,0011394 | 0,0732712 | 0,448424 |
| Repeat: 2 | 0,0014887 | 0,0765546 | 0,442163 |
| Repeat: 3 | 0,00142746 | 0,075382 | 0,451045 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| A13 | 22/07/2014 16:40:26 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|------------|-------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00296921 | 0,13918 | 0,0509705 |
| Std Dev: | 0,000122485 | 0,00559669 | 0,000619629 |
| %RSD: | 4,12518 | 4,02119 | 1,21566 |
| Repeat: 1 | 0,0030495 | 0,133349 | 0,0508675 |
| Repeat: 2 | 0,0030299 | 0,139682 | 0,0504089 |

Repeat: 3 0,00282823 0,144509 0,0516352

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| A15 | 22/07/2014 16:43:08 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,0016834 | 0,113089 | 0,137816 |
| Std Dev: | 0,000180213 | 0,00340673 | 0,00223439 |
| %RSD: | 10,7053 | 3,01244 | 1,62129 |
| Repeat: 1 | 0,00189041 | 0,113727 | 0,13927 |
| Repeat: 2 | 0,00159827 | 0,109408 | 0,138935 |
| Repeat: 3 | 0,00156153 | 0,116131 | 0,135243 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| A17 | 22/07/2014 16:45:50 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00888512 | 0,370737 | 0,410809 |
| Std Dev: | 0,000172872 | 0,00549701 | 0,00390592 |
| %RSD: | 1,94564 | 1,48273 | 0,950787 |
| Repeat: 1 | 0,0086885 | 0,369773 | 0,414228 |
| Repeat: 2 | 0,0090133 | 0,365786 | 0,411647 |
| Repeat: 3 | 0,00895354 | 0,376652 | 0,406552 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| B1 | 22/07/2014 16:48:32 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|------------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00476108 | 0,111916 | 0,491605 |
| Std Dev: | 0,000113152 | 0,00715666 | 0,00265769 |
| %RSD: | 2,37659 | 6,39466 | 0,540614 |
| Repeat: 1 | 0,0048719 | 0,116932 | 0,494325 |
| Repeat: 2 | 0,0047656 | 0,115095 | 0,491474 |
| Repeat: 3 | 0,00464574 | 0,103721 | 0,489015 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| B3 | 22/07/2014 16:51:15 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|------------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00310894 | 0,0828347 | 0,235607 |
| Std Dev: | 0,000173991 | 0,00489546 | 0,00450583 |
| %RSD: | 5,59648 | 5,90991 | 1,91244 |
| Repeat: 1 | 0,0030624 | 0,0783331 | 0,240776 |
| Repeat: 2 | 0,00330147 | 0,0821246 | 0,233535 |
| Repeat: 3 | 0,00296295 | 0,0880465 | 0,232509 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| B5 | 22/07/2014 16:53:56 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|------------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,000852378 | 0,0349715 | 0,0213636 |
| Std Dev: | 0,000162128 | 0,00525792 | 0,00240926 |
| %RSD: | 19,0207 | 15,0349 | 11,2774 |
| Repeat: 1 | 0,0010393 | 0,0334992 | 0,021018 |
| Repeat: 2 | 0,000767899 | 0,0306067 | 0,023927 |

Repeat: 3 0,000749936 0,0408087 0,0191458

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| B7 | 22/07/2014 16:56:38 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|-----------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00209856 | 0,0421311 | 0,0878237 |
| Std Dev: | 0,000245223 | 0,0060588 | 0,00197644 |
| %RSD: | 11,6853 | 14,3808 | 2,25047 |
| Repeat: 1 | 0,00226208 | 0,0489194 | 0,0867061 |
| Repeat: 2 | 0,0018166 | 0,0402028 | 0,0901057 |
| Repeat: 3 | 0,00221701 | 0,0372712 | 0,0866592 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| B9 | 22/07/2014 16:59:20 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|-------------|------------|-------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00822898 | 0,100737 | 0,105606 |
| Std Dev: | 0,000260731 | 0,00161995 | 0,000724203 |
| %RSD: | 3,16844 | 1,6081 | 0,685758 |
| Repeat: 1 | 0,00852913 | 0,099851 | 0,106211 |
| Repeat: 2 | 0,00809933 | 0,102607 | 0,104804 |
| Repeat: 3 | 0,0080585 | 0,0997533 | 0,105803 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|-------------|---------------------|-------------------|
| B11 | 22/07/2014 17:02:03 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|--------------------|--------|--------|--------|
|--------------------|--------|--------|--------|

| | | | |
|-------------------------|--------------|-----------|------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00211113 | 0,0567044 | 0,241569 |
| Std Dev: | 9,32202e-005 | 0,0039194 | 0,00300323 |
| %RSD: | 4,41565 | 6,91198 | 1,24322 |
| Repeat: 1 | 0,00203672 | 0,0525351 | 0,24444 |
| Repeat: 2 | 0,0022157 | 0,0572647 | 0,238449 |
| Repeat: 3 | 0,00208098 | 0,0603136 | 0,241819 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| B13 | 22/07/2014 17:04:45 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00200646 | 0,0526328 | 0,124767 |
| Std Dev: | 0,000175682 | 0,00329633 | 0,00184099 |
| %RSD: | 8,75582 | 6,26289 | 1,47554 |
| Repeat: 1 | 0,00219708 | 0,049838 | 0,126783 |
| Repeat: 2 | 0,00185105 | 0,056268 | 0,123174 |
| Repeat: 3 | 0,00197124 | 0,0517924 | 0,124345 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| B15 | 22/07/2014 17:07:28 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00716989 | 0,0765546 | 0,136672 |
| Std Dev: | 0,00032696 | 0,0145044 | 0,00180746 |
| %RSD: | 4,56018 | 18,9465 | 1,32248 |
| Repeat: 1 | 0,00739535 | 0,059825 | 0,138528 |
| Repeat: 2 | 0,0067949 | 0,0856035 | 0,134917 |
| Repeat: 3 | 0,00731941 | 0,0842354 | 0,136572 |

| Sample Name | Acquisition Date | Correction Factor |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| B17 | 22/07/2014 17:10:10 | 1,00 |

Concentration

| Element/Wavelength | Cd2265 | Cr2835 | Pb2203 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Units: | ppm | ppm | ppm |
| Avg. of Repeats: | 0,00222392 | 0,0406653 | 0,088322 |
| Std Dev: | 0,000102979 | 0,00296247 | 0,00146521 |
| %RSD: | 4,63053 | 7,28499 | 1,65894 |
| Repeat: 1 | 0,00211641 | 0,0414536 | 0,0883292 |
| Repeat: 2 | 0,00223366 | 0,0431539 | 0,0897837 |
| Repeat: 3 | 0,00232168 | 0,0373885 | 0,0868533 |

Bibliografía

- [1] Iniciativa del aire limpio en las américas, «Informe de aceptación de Bogotá,» Bogotá, 2002.
- [2] Clean Air Institute, «La calidad del aire en América Latina: Una visión panorámica,» Washington D.C., 2013.
- [3] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en américa latina y el caribe, 2010.
- [4] I. Romieu, F. Meneses, S. Ruiz, J. J. Sienra, J. Huerta, M. C. White y R. A. Etzel, «Effects of air Pollution on the Respiratory Health of Asthmatic Children Living in Mexico City,» *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 154, nº 2, pp. 300 - 7, 1996.
- [5] Environmental Protection Agency, *Air Quality Index.*, 2003.
- [6] G. Aristizabal, Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en población infantil de Puente Aranda. Informe final, Bogotá, 1997, p. 99.
- [7] L. C. Blanco Becerra, *Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud*, Bogotá D.C: Universidad de La Salle, 2003.
- [8] PLANAIRES, «Informe Anual,» Bogotá, 2000.
- [9] Agency for Toxic Substances and Disease Registry, División de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQs TM, Estados Unidos, 2012.
- [10] Agency for Toxic Substances and Disease Registry, «Resumen de Salud Pública Cadmio,» Estados Unidos, 2012.
- [11] A. Ramírez, «Toxicología del Cadmio: Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos,» San Marcos, 2012.
- [12] A. Adreucci, E. Mocevic, B. A. Jonson, A. Giwercman, Y. Lundberg, G. Toft, T. Lundh, D. Bizarro, I. Olmer y J. P. Bonde, «Cadmium may impair prostate function as measured by

- prostate specific antigen in semen: A cross-sectional study among European and Inuit men,» *Reproductive Toxicology*, vol. 53, pp. 33 - 38, 2015.
- [13] M. M. Braga, T. Dick, D. L. de Oliveira, A. Scopel Guerra, B. H. M. Mussulini, D. O. de Souza y J. B. T. da Rocha, «Evaluation of zinc effect on cadmium action in lipid peroxidation and metallothionein levels in the brain,» 2015.
- [14] IARC, «List of classifications,» Paris, 2012.
- [15] Organización de Naciones Unidas, «Draft final review of scientific information on cadmium,» 2008.
- [16] L. Albert, «Metales,» de *Curso básico de toxicología ambiental*, México D.F., Limusa, 2005, pp. 205 - 229.
- [17] A. Masoud y v. G. Cornelis, «Using a toxicokinetics approach to explain the effect of soil pH on cadmium bioavailability to *Folsomia candida*,» *Environmental Pollution*, vol. 180, pp. 122 - 130, Septiembre 2013.
- [18] B. Pernía, A. de Sousa, R. E. Reyes Gil y M. Castrillo, «Biomarcadores de contaminación por Cadmio en las plantas,» *Interciencia*, vol. 33, pp. 112 - 119, 2008.
- [19] J. Ubillus Limo, Estudio sobre la presencia de plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003, Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2003.
- [20] M. M. Acosta de Armas y J. X. Montilla Peña, Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y analisis de impactos ambientales en la subcuenca del Río Bogotá, Bogotá: Universidad de la Salle, 2011.
- [21] Servicio Agrícola y Ganadero de Chile, Criterios de Calidad de Suelos y Aguas de Riego, Santiago de Chile: SAG, 2006.
- [22] A. Ramírez, «El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo,» *Anales de la Facultad de Medicina*, vol. 66, nº 1, pp. 57-70, 2005.
- [23] E. Mariano, «Fundación Iberoamericana de Seguridad y Salud Ocupacional,» 9 Abril 2010. [En línea]. Available: http://www.fisoweb.org/Opciones/biblioteca_ampliacion.aspx?id=2786&tc=6. [Último acceso: 21 Mayo 2015].
- [24] A. Padilla Magunazelaia, A. Martínez Castillo y N. Rodríguez, Protocolos de vigilancia sanitaria específica: Plomo, País Vasco: Solana e Hijos Artes Gráficas, S.A., 1999.

- [25] A. Padilla, N. Rodriguez y A. Martinez, *Protocolos de vigilancia sanitaria específica: Plomo*, País Vasco: Ministerio de Sanidad y Consumo, 1999.
- [26] M. M. Valdivia Infantas, «Intoxicación por plomo,» *Revista Sociedad Peruana de Medicina Interna*, vol. 18, nº 1, pp. 22-27, 2005.
- [27] T.-L. Pan, P.-W. Wang, S. A. Al- Suwayeh, C.-C. Chen y J.-Y. Fang, «Skin toxicology of lead species evaluated by their permeability and proteomic profiles: A comparison of organic and inorganic lead,» *Toxicology Letters*, vol. 197, pp. 19-28, 2010.
- [28] I. Sandhya, S. Caesar y V. A., «Lead toxicity: An overview of prevalence in Indians,» *Clinica Chimica Acta*, 2015.
- [29] M. Villada , A. M. Hansen y V. M. Afferden, «MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE ADSORCIÓN DE CADMIO Y PLOMO A DIFERENTES VOLÚMENES DEL LAGO DE CHAPALA, MÉXICO,» de *XVIII CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA, At SAN LUIS POTOSÍ*, San Luis Potosí, 2015.
- [30] Organización de Naciones Unidas. Programa Ambiental, «Key scientific findings for lead: an excerpt from Final review of scientific information,» UNEP, 2010.
- [31] F. Bautista Zuñiga, *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*, Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán, 1999.
- [32] R. Anderson, «Chromium as an essential nutrient for humans,» *Regul Toxicol Pharmacol*, pp. 35 - 41, 1997.
- [33] J. M. Tellez, M. Carvajal Rosx y A. M. Gaitán , «ASPECTOS TOXICOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA UTILIZACIÓN DEL CROMO EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE CURTIEMBRES,» *Revista Facultad de Medicina Universidad Nacional de Colombia*, vol. 52, nº 1, pp. 50 - 61, 2004.
- [34] Departamento del Interior de EE.UU y US Geological Survey, «Mineral Commodity Summaries,» 2004.
- [35] L. Albert, «Cromo,» de *Curso Básico de Toxicología Ambiental*, Xalapa, Noriega Editores, 2002, pp. 227-246.
- [36] Agency for Toxic Substances and Disease Registry, «Resumen de salud pública cromo,» ASTDR, Estados Unidos, 2012.
- [37] G. Gil Tocados, A. Manrique Plaza y J. Fernandez Vozmediano, «Dermatitis de contacto por cemento: toxicocinética del cromo y derivados. Fuentes de exposicion,» *Actualidad Dermatológica*, pp. 359-370, 2004.

-
- [38] S. De Flora, «Threshold mechanisms and site specificity in chromium (VI),» *Carcinogenesis*, vol. 21, nº 4, pp. 533-541, 2000.
- [39] D. M. Proctor, M. Suh, S. L. Campleman y C. M. Thompson, «Assesment of the mode of action for hexavalent chromium-induced lung cancer following inhalation exposures,» *Toxicology*, vol. 325, pp. 160- 179, 2014.
- [40] K. Nickens, S. Patierno y S. Ceryar, «Chromium genotoxicity: A double-edged sword,» *Chemico-Biological Interactions*, vol. 188, nº 2, pp. 276 - 288, 5 Noviembre 2010.
- [41] P. Russo, A. Catassi, A. Cesario, A. Imperatori, N. Rotolo, M. Fini, P. Granone y L. Dominionni, «Molecular mechanisms of hexavalent chromium–induced apoptosis in human bronchoalveolar cells,» *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, vol. 33, pp. 589-600, 2005.
- [42] C. M. Thompson, L. C. Haws, M. A. Harris, N. M. Gatto y D. M. Proctor, «Application of the U.S. EPA Mode of Action Framework for Purposes of Guiding Future Research: A Case Study Involving the Oral Carcinogenicity of Hexavalent Chromium,» *Toxicological Sciences*, vol. 119, nº 1, pp. 20-40, 2011.
- [43] I. Acosta, M. G. Moctezuma-Zárate y C. G. y. X. Rodríguez., «Bioadsorción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa Celular de *Cryptococcus neoformans* y *Helminthosporium sp.*,» *Scielo*, vol. 16, pp. 11-15, 2005.
- [44] M. R. Carter, B. J. Gaudet c, D. R. Stauffer, T. S. White y S. L. Brantley, «Using soil records with atmospheric dispersion modeling to investigate the effects of clean air regulations on 60 years of manganese deposition the effects of clean air regulations on 60 years of manganese deposition,» *Science direct*, pp. 50-58, 2015.
- [45] J. O.Nriagu y E. Nieboer, *Enviroments, chromium in the natural & human*, WILEY.
- [46] L. A. Albert, *Crhomium*, 2012.
- [47] A. A. Khan, M. Muthukrishnan y B. Guha, «Anwar Ali Khan*, M. Muthukrishnan, B.K. Guha,» *Scienst Direct*, 2009.
- [48] Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro, «calidaddelairequeretaro.com,» 2009. [En línea].
- [49] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, «Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad de aire,» K-2 INGENIERIA LTDA , Bogotá, 2007.

- [50] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental,» IDEAM, Colombia, 2005.
- [51] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, «Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire,» Bogotá, 2007.
- [52] RedAire, «Protocolo para el muestreo de partículas totales (PST) utilizando el equipo muestreador de alto volumen HI-Vol.,» Bogota, N.d.
- [53] Environmental Protection Agency, «Compendium Method IO-3.1 Selection, preparation and extraction of filter material.,» EPA, EE.UU, 1999.
- [54] Environmental Protection Agency, «Compendium Method IO-3.1 Selection, preparation and extraction of filter material.,» EE.UU, 1999.
- [55] Environmental Protection Agency, «Determination of metals in ambient particulate matter using inductively coupled plasma/mass spectrometry (ICP/MS).,» Center for Environmental Research Information., Cincinnati., 1999.
- [56] C. R. Hadlock, *Mathematical Modeling in the Environment*, The Mathematical Association of America, 1998, p. 332.
- [57] Environmental Protection Agency, *Guía del usuario del modelo screen 3*, North Carolina: EPA, 2000.
- [58] Environmental Protection Agency, «Red de Transferencia de Tecnología, Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA), para la frontera entre EE. UU. - México,» 2015. [En línea]. Available: http://www3.epa.gov/ttn/catc1/cica/airq_s.html#3.
- [59] Environmental Protection Agency, «United States Environmental Protection Agency,» 1990. [En línea]. Available: <http://www3.epa.gov/ttn/naaqs/>.
- [60] Agencia Europea de Medio Ambiente, «La legislación europea en relación con el aire. La contaminación atmosférica no es la misma en todas partes.,» *Señales – Vivir en un clima cambiante*, 2013.
- [61] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *Resolución 610 del 24 de marzo de 2010*, Bogotá D.C., 2010.
- [62] Alcaldía Local de Los Mártires, «Plan de desarrollo local 2008-2012,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.integracionsocial.gov.co/>. [Último acceso: 3 Marzo 2014].
- [63] Alcaldía Mayor de Bogotá, «PLAN AMBIENTAL LOCAL - PAL LOCALIDAD DE LOS MÁRTIRES,» Bogotá, 2013- 2016.

-
- [64] Bogotá mi ciudad , «bogotamiciudad.com,» Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://bogotamiciudad.com/MapasBogota/MapasDeBogota.aspx?Loc=14&Barrio=0&Nivel=14&Tipo=#mapa>.
- [65] Hospital Centro Oriente II Nivel E.S.E., «Diagnóstico Local con Participación Social Localidad Los Mártires,» Bogotá, 2012.
- [66] Secretaría Distrital de Planeación, «Bogotá Ciudad de Estadísticas. Proyecciones de población por localidades para Bogotá 2016 - 2020,» Bogotá D.C, 2015.
- [67] Secretaría Distrital de Habitat, «Diagnóstico localidad de Los Mártires sector habitat,» Bogotá, 2011.
- [68] Hospital Centro Oriente II Nivel E.S.E, «Boletín Epidemiológico Mensual de la relación entre Calidad de Aire, Ruido y Salud,» Bogota, 2014.
- [69] Secretaría Distrital de Ambiente., «Informe Trimestral de Calidad de Aire de Bogotá.,» Bogotá D.C., 2010.
- [70] Instituto de Desarrollo Urbano, Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD), Bogotá D.C.: IDU, 2006.
- [71] D. P. Cadena y A. P. Roa, *Determinación de las concentraciones de cadmio presentes en el material particulado (TSP, PM10), y correlación con los casos de enfermedades respiratorias en los grupos etarios sensibles de la localidad de Los Mártires.,* Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2014.
- [72] Secretaria Distrital de Planeación., «Diagnostico de los Aspectos, fisicos demograficos y socioeconomicos,» Bogotá D.C., 2009.
- [73] Alcaldía Mayor de Bogotá, «DIAGNÓSTICO LOCAL CON PARTICIPACIÓN SOCIAL 2011 LOCALIDAD 14 - LOS MÁRTIRES,» Bogotá, 2011.
- [74] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2007 - 2010,» IDEAM, Bogotá D.C., 2012.
- [75] República de Colombia, *Ministerio de Salud y Protección Social,* Bogotá D.C.: Ministerio de Salud y Protección Social, 2012.
- [76] Hospital Centro Oriente II Nivel E.S.E, «Plan Ambiental Local de Salud Ambiental Los Mártres,» Bogotá D.C., 2012.
- [77] L. Hernandez Hernandez y L. F. Perez Fadul , *Determinación de metales pesados en partículas respirables e identificación de fuentes de emisión, a partir de un monitoreo*

- atmosférico en la Localidad de Puente Aranda, Bogotá, Bogotá D.C.: Universidad de La Salle, 2006.*
- [78] J. E. Pachon, *Estudio exploratorio de la concentración de sustancias peligrosas en partículas respirables de cuatro municipios de Cundinamarca.*, Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- [79] Secretaría Distrital de Ambiente, «www.ambientebogota.gov.co,» 2 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://ambientebogota.gov.co/red-de-calidad-del-aire>. [Último acceso: 2 Noviembre 2015].
- [80] L. Delgado Rodriguez, C. Ramírez Sanchez y J. Alvarez Berrio, *Determinación de las concentraciones de cromo presentes en muestras de material particulado (TSP, PM10), y correlación con los casos de enfermedades respiratorias en grupos sensibles de la localidad de Los Mártires.*, Bucaramanga, Santander, 2015.
- [81] Secretaría Distrital de Movilidad, «Monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte de Bogotá D.C, para la intersección Av. Calle 6 con Av. Carrera 27,» Bogotá D.C., 2014.
- [82] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, «Determinación de Material Particulado por el método gravimétrico para la matriz de aire,» Bogotá D.C., 2010.
- [83] M. A. Sogorb Sánchez y E. Vilanova Gisbert, *Técnicas analíticas de contaminantes químicos. Aplicaciones toxicológicas medioambientales y alimentarias.*, Ediciones Diaz de Santos, 2004, pp. 12 - 13; 112 - 113.
- [84] S. C. Martínez Mejía y J. E. Mejía Palacio, *Determinación de las concentraciones de plomo presentes en el material particulado (TSP, PM10), y correlacion con los casos de enfermedades respiratorias en grupos etarios sensibles de la localidad de Los Mártires.*, Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás, 2014.
- [85] Thermo Scientific, «Equipo de Analisis Elemental,» ND. [En línea]. Available: <http://www.instruquimica.com/contenidos/ae.htm>. [Último acceso: 11 8 2014].
- [86] Sistema de monitoreo atmosférico Ciudad de México, «Aire df,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.aire.df.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnml=&dc=%27Zw==>. [Último acceso: 23 Mayo 2015].
- [87] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, «Área Metropolitana del Valle de Aburrá,» 8 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/ica.aspx>.

-
- [88] Ministerio de Minas y Energía, Atlas de viento y energía eólica de Colombia, Bogotá D.C.: UPME, 2006.
- [89] C. Cárdenas, *Estudio exploratorio de la exposición de trabajadores ambulantes a las emisiones vehiculares en inmediaciones de la Universidad Nacional de Colombia*, Bogotá D.C., 2003.
- [90] . S. Ramesh, B. S. C. , N. M.P.S. y B. S. K. , «Metals concentration associated with respirable particulate matter (PM10),» *Journal of Environmental Biology*, vol. 29, nº 1, pp. 63-68, Enero 2008.
- [91] R. Mohanraj, P. A. Azeez y T. Priscilla, «Heavy metals in Airborne Particulate Matter of Urban,» *Environmental contamination and toxicology*, vol. 47, pp. 162 - 167, 2004.
- [92] L.D.J, *Medicina Laboral y Ambiental, El Manual Moderno*, 1999.
- [93] American Conference of Governmental Industrial Hygienist, «Threshold limit values and biologic exposure indices,» Cincinnati , 2000.
- [94] A. Verduyse, «Hazardous metals in human toxicology,» *Techniques and instrumentation in analytical chemistry*, pp. 61 - 63, 253 - 277, 1984.
- [95] Y. A. y. Q. Kalid, «Chromium its role in diabetes and heart disease,» *Elements in health disease*, pp. 261 - 266, 1987.
- [96] H. P. y. R. A. Anderson, «Chromium update: Examining recent literature,» pp. 509-512, 1997-1998.
- [97] J. W. Rosson, K. Foster y R. Walton, «Hair concentrations in adult insulin-treated diabetics,» *Clin Chim*, pp. 299-304, 1979.
- [98] E. Plunkett, *Handbook of industrial toxicology*, Publishing Chemistry, 1976.
- [99] C. D. Klaasen, L. J. Casarett y J. Doull, *Casarett and Doull's toxicology : the basic science of poisons*, 8 ed., C. D. Klaasen, Ed., New York: Mac Graw-Hill, 2013.
- [100] Secretaria Distrital de Salud., «Mapa de Industria y Ambiente,» Bogotá D.C..
- [101] Agencia Ambiental Europea, «Guía de Métodos de medición y Factores de emisión fuentes móviles,» España, 2000.
- [102] S. Wilbur, H. Albadin y M. Fay, *Toxicological Profile for Chromium*, Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012.

- [103] A. L. Rusanov, A. V. Smirnova, A. A. Poromov, K. A. Fomicheva, N. G. Luzgina y A. G. Majouga, «Effects of cadmium chloride on the functional state of human intestinal cells,» *Toxicology in vitro*, vol. 29, pp. 1006 - 1011, 2015.
- [104] OSHA, «Chemical Sampling Information,» Washington, DC, 2015.
- [105] bogotamiciudad.com, «bogotamiciudad.com,» 14 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.bogotamiciudad.com/MapasBogota/MapasDeBogota.aspx?Loc=14&Barrio=0&Nivel=14&Tipo=#mapa>.
- [106] Organización Mundial de la Salud., «Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.,» OMS, Washington D.C., 2005.
- [107] M. Repetto Jiménez y G. Repetto Kuhn, *Toxicología Fundamental*, cuarta ed., Díaz de Santos, 2009, p. 28.
- [108] A. Ferrer Dufol, «Intoxicación por Metales,» *Scielo*, 2003.
- [109] Nathan Lepora, *The elements Chromium*, Marshall Cavendish, 2006.
- [110] H. T. N. D. B. P. B. Dhal, «Chemical and microbial remediation of hexavalent chromium from contaminated soil and mining/metallurgical solid waste: A review,» *ELSEVIER*, p. 20, 28 January 2013.
- [111] A. K. Shankera, C. Cervantes, H. Loza-Tavera y S. Avudainayagam, «Chromium toxicity in plants,» *Science Direct*.
- [112] Alcaldía Mayor de Bogotá, «PLAN AMBIENTAL LOCAL - PAL LOCALIDAD DE LOS MÁRTIRES,» Bogotá, 2013- 2016.