

**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.**

**LAURA JESENIA DELGADO RODRIGUEZ
CHRISTIAN CAMILO RAMIREZ SANCHEZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA D.C.
2014**

**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.**

**LAURA JESENIA DELGADO RODRIGUEZ
CHRISTIAN CAMILO RAMIREZ SANCHEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIEROS
AMBIENTALES**

**DIRECTOR
JOHAN ALEXANDER ALVAREZ BERRIO
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA D.C.
2014**

NOTA DE ACEPTACIÓN.

Firma Director

Johan Alexander Álvarez Berrio.
Ingeniero Ambiental y Sanitario

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá D.C. Noviembre 19 de 2104

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, hermanos, sobrinos y a mi perro Figo que con su compañía y apoyo incondicional han contribuido a lograr la constancia y excelencia en la culminación de este proyecto

Laura Delgado Rodríguez

Dedico este trabajo a mis padres, abuelos por su apoyo moral y comprensión durante esta etapa para mi formación académica, a mis demás familiares que de una u otra manera contribuyeron en que lograra finalizar con éxito este proyecto.

Christian Camilo Ramírez Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, a nuestros padres y hermanos que con constancia e interés impulsaron cada día este objetivo.

Expresamos nuestro agradecimiento al Ingeniero Ambiental y Sanitario Johan Álvarez que nos proporcionó directrices y conocimientos sólidos para lograr la ejecución del proyecto y alcanzar los objetivos planteados, también a los docentes el Ingeniero Ronald Sierra y el Biólogo Marino Rafael Barragán por valiosos aportes que con su experiencia y conocimiento contribuyeron a la culminación de esta etapa.

A nuestros amigos, compañeros y futuros colegas por su apoyo moral y académico a lo largo de la carrera, les deseamos éxitos en los logros por alcanzar.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	18
1.1. Objetivo general	18
1.2. Objetivos específicos	18
2. MARCO DE REFERENCIA	19
2.1. Marco Contextual	19
2.1.1. Escenario.	19
2.1.2. Distribución de los establecimientos según su actividad económica..	20
2.1.3. Contaminación atmosférica.....	20
2.2. Marco Teórico.	21
2.2.1. El cromo.....	21
2.2.1.1. Usos del cromo.....	23
2.2.1.2. Efectos a la salud.	23
2.2.2. Método IO-3.1 EPA. Selección, preparación y extracción de material del filtro.....	24
2.2.2.1. Alcance.....	24
2.2.2.2. Selección del filtro.....	24
2.2.2.4. Análisis de filtros seleccionados	26
2.2.2.5. Extracción del material del filtro	26
2.2.3. Método IO 3.5. Determinación de metales en partículas utilizando plasma de acoplamiento inductivo.	28
2.2.3.1. Parámetros de Laboratorio.	28
2.2.3.2. Procedimiento.....	28
2.2.3.3. Cálculos.....	29
2.2.4. Análisis estadístico.....	30
2.2.4.1. Correlación y asesor estadístico SPSS.	30
2.2.4.2. Pruebas de Normalidad Shapiro - Wilk.....	31
2.2.4.3. Coeficiente de correlación lineal de Pearson.....	31
2.2.4.4. Coeficiente de correlación Spearman.....	32
2.2.4.5. Interpretación de la correlación.....	33
2.3. Marco Conceptual	33
2.4. Marco legal	37
3. DESARROLLO CENTRAL	40

3.1. Inventario de fuentes de contaminación.	40
3.1.1. Inventario Fuentes Fijas.	40
3.1.1.1. Análisis de Datos	45
3.1.2. Desarrollo de mapa de fuentes fijas y emisiones fugitivas.	45
3.1.3. Inventario de fuentes móviles.	47
3.1.3.1. Estimación de emisión de cromo por fuentes móviles	49
3.2. Monitoreo ambiental material particulado.	50
3.2.1. Calibración de Equipos Muestreadores.	51
3.2.2. Selección de los puntos de Muestreo.	52
3.2.3. Muestreo material particulado.	53
3.2.3.1. Cambio de Filtro.	53
3.3. Determinación de Material Particulado (PST y PM₁₀).	53
3.3.1. Pesaje de filtros.	53
3.3.2. Niveles de material particulado.	54
3.4. Análisis de la norma establecida para PST y PM₁₀.	55
3.4.1. Comparación entre las concentraciones de PM ₁₀ y niveles máximos permisibles a condiciones locales.	55
3.4.2. Comparación entre las concentraciones de PM ₁₀ y niveles máximos permisibles establecidos por la OMS.	56
3.4.3. Comparación entre las concentraciones de PST y niveles máximos permisibles a condiciones locales.	58
3.4.4. Índice de Calidad del Aire.	59
3.6. Correlación Estadística	62
3.6.1. Correlación Cromo, PST y PM ₁₀ con factores meteorológicos.	62
3.6.1.1. Correlación Cromo y PM ₁₀ IED Ricaurte con factores meteorológicos.	63
3.6.1.2. Correlación de PM ₁₀ y Cromo IED República Bolivariana con Factores Meteorológicos.	68
3.7. Análisis y Correlación de concentraciones de cromo con casos de enfermedades respiratorias.	72
3.7.1. Salud en grupos etarios.	72
3.7.1.1. Niños menores de 5 años.	73
3.7.1.2. Adultos mayores de 60 años.	73
3.7.2. Correlación concentraciones de cromo IED República Bolivariana y casos de ERA para niños menores de 5 años.	73
3.7.3. Correlación concentraciones de cromo IED República Bolivariana y casos de ERA para adultos mayores de 60 años.	74
3.7.4. Correlación concentraciones de cromo IED Ricaurte y casos de ERA para menores de 5 años.	75

3.7.5. Correlación con concentraciones de cromo IED Ricaurte y casos de ERA para mayores de 60 años.	76
3.8. Modelo dinámico calidad del aire.....	77
CONCLUSIONES.....	83
BIBLIOGRAFIA.....	86

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1 Localización geográfica localidad de Los Mártires.....	19
Ilustración 2 Toxicocinética del cromo.	22
Ilustración 3 Procedimiento de extracción Material Particulado.	27
Ilustración 4 Procedimiento para la determinación del metal por ICP/MS.....	29
Ilustración 5 Metodología Inventario Fuentes Fijas y Fugitivas.....	40
Ilustración 6 Red vial localidad de Los Mártires.	41
Ilustración 7 Mapa de fuentes de contaminación localidad de Los Mártires.	46
Ilustración 8 Equipos muestreadores PST y Hi-Vol PST y PM ₁₀	51
Ilustración 9 Localización estaciones de muestreo.	52
Ilustración 10 Rosa de vientos localidad Puente Aranda.	66
Ilustración 11 Ubicación geográfica estación de Puente Aranda.	67
Ilustración 12 Ejecución modelo calidad de aire.	78
Ilustración 13 Modelo en NetLogo con la concentración más baja de cromo en un periodo de exposición de 18 días.....	79
Ilustración 14 Demostración gráfica del comportamiento poblacional respecto al cromo en un tiempo de exposición de 18 días.	79
Ilustración 15 Modelo en NetLogo con la concentración más baja de cromo en un periodo de exposición de 6 meses.	80
Ilustración 16 Demostración gráfica del comportamiento poblacional respecto al cromo en un tiempo de exposición de 6 meses.	80
Ilustración 17 Modelo en NetLogo con la concentración más baja de cromo en un periodo de exposición de 1 año.....	81
Ilustración 18 Demostración gráfica del comportamiento poblacional respecto al cromo en un tiempo de exposición de 1 año.	82

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1 Distribución de los establecimientos según su actividad económica.	20
Gráfica 2 Proporción de fuentes de contaminación.....	44
Gráfica 3 Actividades industriales localidad de Los Mártires.	45
Gráfica 4 Concentración de PST y PM ₁₀ durante el periodo de muestreo	54
Gráfica 5 Comparación concentración PM ₁₀ con norma local anual y 24 horas. ..	55
Gráfica 6 Concentración media diaria PM ₁₀	56
Gráfica 7 Comparación concentración PM ₁₀ y norma tiempo de exposición anual y 24 horas OMS.	57
Gráfica 8 Comparación concentración PST y norma local anual y 24 horas.	58
Gráfica 9 Concentración media diaria PST.	59
Gráfica 10 Concentraciones de cromo en estaciones de muestreo.	61
Gráfica 11 Histograma de cromo IED Ricaurte.	63
Gráfica 12 Dispersión de PM ₁₀ IED Ricaurte y T°	64
Gráfica 13 Correlación de concentraciones de cromo IED Ricaurte y T°	64
Gráfica 14 Dispersión de PM ₁₀ y velocidad de viento	65
Gráfica 15 Correlación de concentraciones de cromo IED Ricaurte y velocidad del viento.....	65
Gráfica 16 Dispersión de PM ₁₀ y dirección del viento.....	66
Gráfica 17 Histograma cromo IED República Bolivariana.....	68
Gráfica 18 Dispersión de cromo IED República Bolivariana y T°	69
Gráfica 19 Correlación de concentraciones de cromo IED República Bolivariana y T°.....	69
Gráfica 20 Dispersión de PST y Velocidad de viento.....	70
Gráfica 21 Correlación de concentraciones de cromo IED República Bolivariana y velocidad del viento.....	71
Gráfica 22 Concentraciones PST y dirección del viento.	71
Gráfica 23 Primeras causas de consulta por ERA en hospitalización y urgencias en menores de 5 Años, localidad Los Mártires mes de Junio 2014.	73
Gráfica 24 Relación concentraciones cromo IED República Bolivariana y ERA niños menores a 5 Años.....	74

Gráfica 25 Relación concentraciones de cromo IED República Bolivariana y ERA adultos mayores a 60 años.	75
Gráfica 26 Relación concentraciones cromo IED Ricaurte y ERA niños menores a 5 años.....	76
Gráfica 27 Relación concentraciones Cromo IED Ricaurte y ERA Adultos mayores a 60 Años.	77

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tipos de filtro.	24
Tabla 2 Normativa calidad de aire.	37
Tabla 3 Niveles Máximos Permisibles Resolución 610/2010.	38
Tabla 4 Concentración media PM ₁₀ OMS.	38
Tabla 5 Marco Legal del Cromo.	39
Tabla 6 Clasificación industrias código CIIU.	43
Tabla 7 Clasificación de industrias por tipo de actividad industrial.	44
Tabla 8 Sistema vial Los Mártires.	47
Tabla 9 Volumen de vehículos por estación de aforo.	48
Tabla 10 Volumen total de vehículos que transitan en la localidad.	49
Tabla 11 Características de fuentes móviles.	49
Tabla 12 Estimación de emisiones de cromo por fuentes móviles.	50
Tabla 13 Características de Equipos Muestreadores.	51
Tabla 14 Periodo de muestreo material particulado (PST Y PM ₁₀).	53
Tabla 15 Condiciones de pesaje.	54
Tabla 16 Norma PM ₁₀ corregida a condiciones locales.	55
Tabla 17 Concentración media PM ₁₀ OMS.	57
Tabla 18 Norma PST corregida a condiciones locales.	58
Tabla 19 Clasificación de la calidad del aire.	60
Tabla 20 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk para cromo IED Ricaurte.	63
Tabla 21 Datos de correlación estadística de PM ₁₀ y cromo IED Ricaurte con temperatura.	64
Tabla 22 Datos de correlación estadística de PM ₁₀ y cromo IED Ricaurte con velocidad del viento.	65
Tabla 23 Datos de correlación estadística de PM ₁₀ y cromo IED Ricaurte con dirección del viento.	66
Tabla 24 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk.	68

Tabla 25 Datos de correlación estadística de PST y Cromo IED República Bolivariana con Temperatura	69
Tabla 26 Datos de correlación estadística de PM ₁₀ y cromo IED Ricaurte con velocidad del viento.....	70
Tabla 27 Datos de correlación estadística de PST y cromo IED Ricaurte con velocidad del viento.....	72
Tabla 28 Correlación concentraciones de cromo IED República Bolivariana y ERA en niños menores a 5 años	73
Tabla 29 Correlación concentraciones de cromo IED República Bolivariana y ERA en adultos mayores de 60 años	74
Tabla 30 Correlación concentraciones de cromo IED Ricaurte y ERA en niños menores a 5 años.....	75
Tabla 31 Correlación concentraciones de cromo IED Ricaurte y ERA en adultos mayores de 60 años	76
Tabla 32 Efecto en la salud por tiempo de exposición.	78

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1	90
ANEXO 2	90
ANEXO 3	90
ANEXO 4	90
ANEXO 5	90
ANEXO 6	90

RESUMEN

En la localidad de Los Mártires, se encuentran industrias de actividades litográficas, metalúrgicas, oxicorte, latonería y pintura que en su proceso generan emisiones de cromo liberadas a la atmósfera y afectan directamente a la población de la localidad expuesta, causando enfermedades respiratorias crónicas y agudas en los grupos vulnerables.

Teniendo en cuenta el efecto que puede causar a la población las emisiones generadas por las fuentes de contaminación se realizó un inventario de fuentes fijas y móviles a partir de la información suministrada por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), el Mapa de Industria y Ambiente (MIA) de la Secretaria Distrital de Salud (SDS) y los aforos ejecutados por la Secretaria de Movilidad de Bogotá (SDM) con el fin de identificar el área con mayor nivel de contaminación donde se ubicaron los puntos de muestreo, allí se monitoreó material particulado (PM_{10} y PST) cumpliendo los parámetros establecidos en el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del IDEAM, posteriormente se determinaron las concentraciones de cromo presentes en cada una de las muestras a partir de la metodología IO 3.1 e IO 3.5 de la EPA (Environment Agency Protection) y estas se correlacionaron con los casos de enfermedades respiratorias registradas en el boletín epidemiológico de la Empresa Social del Estado E.S.E Hospital Centro Oriente.

El análisis estadístico de las variables se ejecutó por el método de Spearman o Pearson según su distribución, con esto se evidenció que no existe relación entre las concentraciones de cromo y los casos de enfermedades respiratorias en la localidad y que además los factores meteorológicos no son variables influyentes en las trazas encontradas del metal tóxico, 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.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años gran parte de las investigaciones en calidad del aire, se han enfocado en la importancia que representa la investigación de la contaminación del aire y las consecuencias que esto conlleva. Temas como la emisión, la suspensión y el transporte de compuestos contaminantes a través de grandes distancias, el impacto que causan las trazas de metales identificados y su influencia en la salud humana, son hoy tópicos de interés global.

El cromo es un nutriente esencial para los seres humanos que promueve la acción de la insulina, pero los derivados del cromo son usualmente de origen antropogénico y constituyen un mayor riesgo para la salud [1]. El cromo se encuentra principalmente en emisiones de industrias de metalurgia, oxicorte, metalmecánica, latonería y pintura y litografías; la inhalación de este xenobiótico en altas concentraciones es una causa frecuente de enfermedades respiratorias en los seres humanos; entra al organismo por inhalación, si las partículas son suspendidas, en la parte superior del aparato respiratorio lo común es que estas sean expulsadas con la tos [1], si de lo contrario las partículas se depositan en el fondo de los pulmones pueden permanecer ahí el tiempo suficiente para ser absorbidas y distribuidas en el torrente sanguíneo pudiendo llegar a causar daño al ADN e incluso cáncer en los pulmones [2], disminuyendo notablemente la calidad de vida de la población, en especial la más vulnerable que corresponde a los niños menores de 5 años y los adultos mayores de 60 años.

El proceso de industrialización de la localidad de Los Mártires [3], ha contribuido al desarrollo de actividades que en su proceso emplean insumos que al ser procesados generan emisiones de material particulado que en casos específicos contiene trazas de cromo generado principalmente por industrias de galvanoplástica, talleres de mantenimiento, latonería y pintura, oxicorte y litografías. No obstante las fuentes móviles que transitan por las principales vías que conforman la red vial de la localidad, contribuyen al aumento de concentraciones de material particulado y trazas de este metal pesado.

Para determinar una posible solución a los problemas generados en la localidad por la presencia de cromo en el material particulado, es necesario identificar el estado en que se encuentra la atmósfera a través de la determinación de contaminantes, estas determinaciones deben ser hechas mediante técnicas analíticas específicas, confiables y reproducibles. Para ello se emplean diferentes técnicas de muestreo, con distintos métodos de análisis químicos, según el tipo y condición de cada contaminante.

Con esta investigación se analizan las concentraciones de cromo contenidas en material particulado en la localidad de Los Mártires, con muestras tomadas durante 18 días, los meses de Mayo y Junio de 2014 en puntos localizados estratégicamente gracias al inventario de fuentes fijas, para luego ser analizadas

en el laboratorio académico de la Universidad de la Salle; además, de realizar una correlación de estas concentraciones encontradas con los casos de enfermedades respiratorias en poblaciones sensibles registradas en la localidad.

Como resultado de la correlación entre las concentraciones de cromo y las enfermedades respiratorias agudas se determinó estadísticamente que no existe una correlación entre las variables, si bien las concentraciones de cromo detectadas durante el muestreo se encuentran por debajo de las normas internacionales establecidas por la EPA y la OMS, en el modelo de calidad del aire se demuestra gráficamente la teoría de exposición respuesta que afirma que la exposición a bajas concentraciones en largos periodos de tiempo genera efectos adversos sobre la salud, en este caso de los niños menores de 5 años, los adultos mayores de 60 años.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general.

Determinar las concentraciones de cromo presentes en el material particulado (TSP, PM₁₀) y correlacionarlas con los casos de enfermedades respiratorias en grupos sensibles de la localidad de Los Mártires.

1.2. Objetivos específicos.

- Realizar el inventario de fuentes de contaminación con la recopilación de información del Mapa de Industria y Ambiente (MIA) de la Secretaria Distrital de Salud (SDS) e información de la Secretaria de Movilidad (SDM).
- Realizar el muestreo de material particulado (PST-PM₁₀) según el protocolo de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).
- Determinar las concentraciones de cromo contenidas en material particulado de la localidad, mediante la metodología IO 3.1 y la IO 3.5 de la Environmental Protection Agency (EPA).
- Correlacionar las concentraciones de cromo presentes en el material particulado, con los casos de enfermedades respiratorias en poblaciones sensibles registradas en la localidad de Los Mártires.
- Diseñar un modelo dinámico con las concentraciones de cromo analizadas y su relación con la población.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Marco Contextual.

2.1.1. Escenario.

La localidad de Los Mártires, ubicada en la zona céntrica de la ciudad de Bogotá D.C, limita, al Norte, con la localidad de Teusaquillo; al sur, con la localidad de Antonio Nariño; al Oriente, con la localidad de Santa Fe, y al occidente, con la localidad de Puente Aranda. Los Mártires tiene una extensión total de 651 Hectáreas (Ha), de las cuales 10 corresponden a suelo protegido. En relación con los usos actuales del suelo, en la parte sur de la localidad predomina el uso residencial y en su costado norte predomina el uso comercial; la localidad tiene 2 Unidades de Planeación Zonal (UPZ), UPZ 37 Santa Isabel de tipo residencial consolidado y UPZ 102 La sabana, de tipo comercial [4].

Ilustración 1 Localización geográfica localidad de Los Mártires.



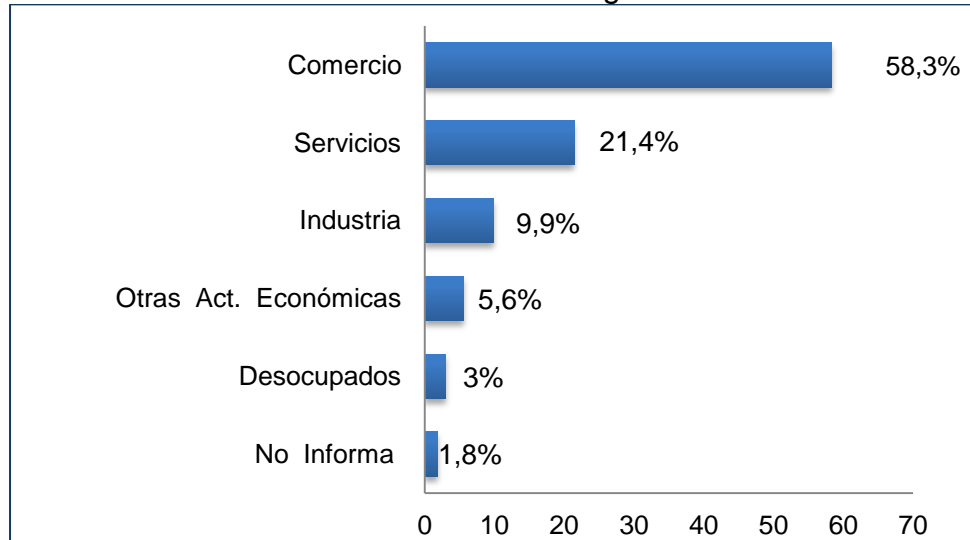
Fuente: [5].

La población de los Mártires para el 2013 fue de 98.450 personas, 49.520 hombres y 48.930 mujeres que representan el 1,3% de los habitantes del Distrito Capital, de acuerdo con las proyecciones de población del Censo General 2005 [6]. Es necesario hacer distinción sobre el tipo de población que se encuentra en la localidad, debido a que cuenta con una amplia actividad comercial e industrial, en su gran mayoría corresponde a población flotante, es decir, población que trabaja, comercia o estudia en el sector pero no habita en el mismo.

2.1.2. Distribución de los establecimientos según su actividad económica.

De acuerdo con la Secretaria Distrital de Planeación, de los 19.630 establecimientos económicos censados en el 2005 en la localidad de Los Mártires, el 9,9% se dedican a industria, el 58,3% a comercio, el 21,4% a servicios, el 5,6% a otras actividades y el 3,0% estaban desocupados [7].

Gráfica 1 Distribución de los establecimientos según su actividad económica.



Fuente: [7].

La UPZ Sabana con 1.460 establecimientos concentra el 85,3% y Santa Isabel con 252, el restante 14,7% del total de establecimientos que desarrollan sus actividades industriales en una unidad independiente [7].

2.1.3. Contaminación atmosférica.

Debido a la dirección del viento, la localidad recibe la polución proveniente de la Zona Industrial de Puente Aranda. Las concentraciones medias anuales de polución son de 91% [8], lo que se encuentra por encima del nivel permisible corregido a condiciones locales ($76,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), por lo cual esta constituye un grave riesgo para los habitantes de la localidad [8].

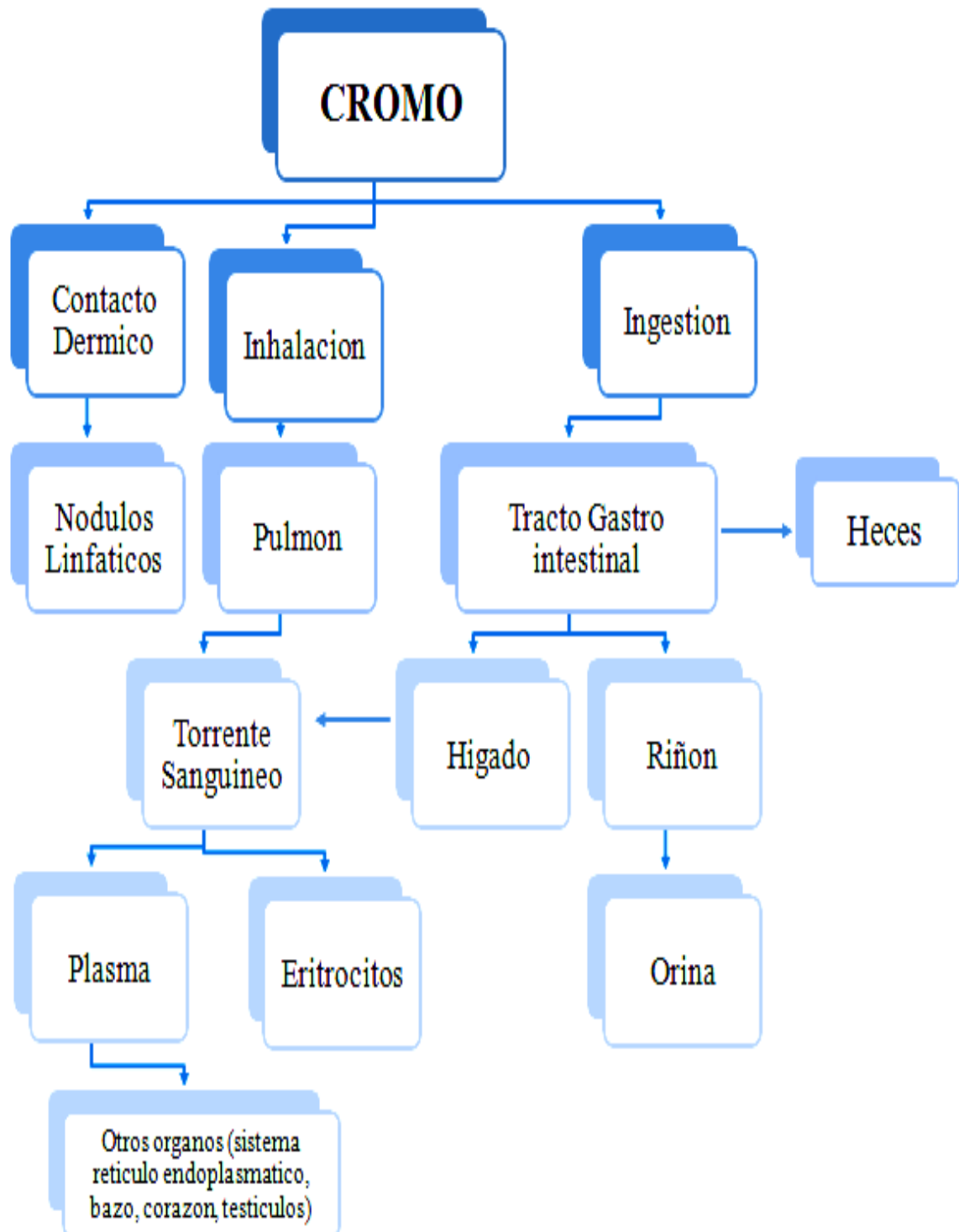
Adicionalmente, existe un porcentaje importante de la localidad destinado al uso industrial, dentro del cual se ubican fábricas que emiten por chimeneas gran cantidad de material particulado y partículas volátiles que sobrepasan el límite permitido, recuperadores y habitantes de calle que al quemar diversos tipos de residuos sólidos contribuyen con la contaminación del aire [8].

2.2. Marco Teórico.

2.2.1. El cromo.

El cromo es el sexto elemento en abundancia sobre la corteza terrestre [9] aunque éste existe en varios estados de oxidación, el cero (0), el trivalente (III) y el hexavalente (IV) son los estados más importantes en el medio ambiente y en los productos comerciales. La mayoría del cromo presente en la naturaleza se encuentra en forma trivalente como Cr^{3+} y está presente en los materiales biológicos, asociado fuertemente a proteínas y ácidos nucleicos [10], es considerado un elemento traza esencial en humanos y animales y tiene una función importante en el metabolismo de la insulina. Las principales vías de absorción las constituyen: contacto dérmico, ingestión e inhalación, por ambas vías los compuestos de cromo (III) se absorben del orden del 0.1 al 1.2%, mientras que el cromo (VI) aproximadamente en un 2% [11]. La manera en que el ser humano puede obtener este elemento por ingestión es a través del consumo de alimentos con alto contenido en cromo [12] [13] [14] y por inhalación a través del sistema respiratorio siendo ésta la vía de absorción más importante ya que facilita la distribución en el torrente sanguíneo y de allí a los eritrocitos y plasma pasando posteriormente a otros órganos, en la ilustración 2 se observa la toxicocinética del cromo.

Ilustración 2 Toxicocinética del cromo.



Fuente: [11].

2.2.1.1. Usos del cromo.

La producción de cromo en el mundo se concentra en unas pocas regiones. De los 16,4 millones de toneladas producidas en todo el mundo, 15.376 millones de toneladas se producen en siete países: África del Sur, India, Kazajistán, Zimbabwe, Finlandia, Brasil y Turquía. Aunque los Estados Unidos no es un productor primario significativo de cromo, es uno de los principales importadores del mundo y productores de compuestos de cromo, con aproximadamente 3.400 instalaciones que producen 170.000 toneladas de compuestos que contienen cromo. Estos se utilizan en conservación de la madera (52%), el curtido de cuero (13%), acabado de metales (13%), pigmentos de la pintura (12%) y otras aplicaciones [15].

El cromo es un metal pesado de la primera serie de metales de transición, a lo que se debe sus principales propiedades químicas y bioquímicas, en sus formas (III) y (VI) entran al ambiente principalmente partir de fuentes estacionarias, las emisiones atmosféricas de este xenobiótico son generadas principalmente por la industria química, metalúrgica, galvanizadora, litográfica, talleres de mantenimiento, latonería y pintura.

2.2.1.2. Efectos a la salud.

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. Las únicas formas de importancia toxicológica son el cromo (III) y el cromo (IV). Las exposiciones causadas por el uso de cromatos generan un riesgo elevado de enfermedades respiratorias entre estas se encuentra la fibrosis, perforación del tabique nasal, el desarrollo de los pólipos nasales y cáncer de pulmón [9] [16] [17] [18], ciertas formas de cromo (VI) son conocidas como carcinógenas respiratorias además de que inducen daños en el ADN al ser promovido a través de varios procesos mecánicos como la reducción metabólica intracelular de cromo (VI) y la producción de los derivados capaces de interactuar con el ADN para producir efectos genotóxicos y mutagénicos.

Las lesiones genéticas producidas por la reducción intracelular de cromo (VI) incluyen aductos de ADN, rupturas de la cadena de ADN, bases oxidadas, replicación del ADN y la transcripción disfuncional, los puestos de control del ciclo celular aberrante, los mecanismos de reparación del ADN desreguladas, la inestabilidad, respuestas inflamatorias, y la interrupción de importantes redes de genes reguladores responsables de la balanza de la supervivencia y muerte celular [16].

2.2.2. Método IO-3.1 EPA. Selección, preparación y extracción de material del filtro.

2.2.2.1. Alcance.

Esta metodología consiste en la selección de los medios de filtro, la numeración y pre-campo de pesada de tara de filtros, pesaje de filtros después del muestreo de campo, selección de extracción por microondas o ácido caliente, y el análisis de metales por ICP, FAA, ICP / MS o GFAA [19].

2.2.2.2. Selección del filtro.

En general, el filtro depende de la finalidad de la prueba. Para cualquier prueba estándar, se especificará el medio apropiado. Sin embargo, es importante ser consciente de características de ciertos filtros que pueden afectar la selección y el uso.

En el muestreo de alto volumen (Hi-Vol), son de uso general cuatro tipos de material de filtro para capturar PST. Entre ellos los de fibra de celulosa, fibra de cuarzo o de vidrio, fibra mezclada, y los tipos de filtros de membrana. La selección de un filtro depende de variables tales como el contenido de metal de fondo, la formación de artefactos, y la afinidad por la humedad [19]. La característica básica de los tipos de material de filtro utilizados en gran volumen se resume en la Tabla 1.

Tabla 1 Tipos de filtro.

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^{2-} 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• Bueno con la extracción.• Eficiencia en la retención de metales.

<p style="text-align: center;">Filtro Sintético</p>	<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.
<p style="text-align: center;">Filtros de membrana de fibra (gel seco de ésteres de celulosa)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Frágil; requiere almohadilla de soporte durante el muestreo. • Alta caída de presión. • Bajo residuo cuando incinera.

Fuente: [19].

Además existen otras características importantes en la selección de filtro como:

- **Eficiencia de muestreo de partículas.** Los filtros deben eliminar más del 99% de PST dibujado a través de ellos, independientemente de su tamaño de partícula o las tasas de flujo.
- **Estabilidad mecánica.** Los filtros deben ser lo suficientemente fuertes como para minimizar las fugas durante el muestreo y use durante el manejo.
- **Estabilidad química.** Los filtros no deben reaccionar químicamente con el PST atrapado.
- **Estabilidad de temperatura.** Los filtros deben mantener su porosidad y la estructura durante el muestreo.
- **Corrección de Blanco.** Los filtros no deben contener altas concentraciones de analitos o compuesto objetivo [19].

El filtro de fibra de cuarzo es el más ampliamente utilizado para la determinación de la carga masiva. La estabilidad del peso con respecto a la humedad es una característica atractiva. Los filtros de fibra de cuarzo proporcionan una alta eficiencia y recogen las partículas en suspensión de prácticamente cualquier tamaño y descripción [19]. Las características típicas de los filtros de fibra de cuarzo son:

- Un contenido de alta pureza.
- Aglutinante de por debajo de 5% (cero para los tipos sin aglomerante).
- Espesor de aproximadamente 0,5 mm.

- Una superficie sin poros.
- 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), como se determinó por ASTM-D2986, *Método de Evaluación de Aire Ensayo de Medios por la monodisperso DOP (dioctil Ftalato) prueba de humo* [19].

El material particulado recolectado en filtros de fibra de cuarzo puede ser analizado por muchos electores. Si el análisis químico se prevé, se deben usar filtros sin aglomerante. El vidrio es un producto comercial que contiene generalmente prueba de materiales contaminantes; por lo tanto, se deben hacer correcciones de fondo apropiadas [19].

2.2.2.4. Análisis de filtros seleccionados

Una vez comprados, todos los filtros deben ser inspeccionados visualmente en busca de defectos, y los filtros defectuosos deben ser rechazados si se encuentra alguno. Los lotes de filtros que contienen numerosos defectos deben ser devueltos al proveedor [19].

Los siguientes son los defectos específicos que se deben buscar:

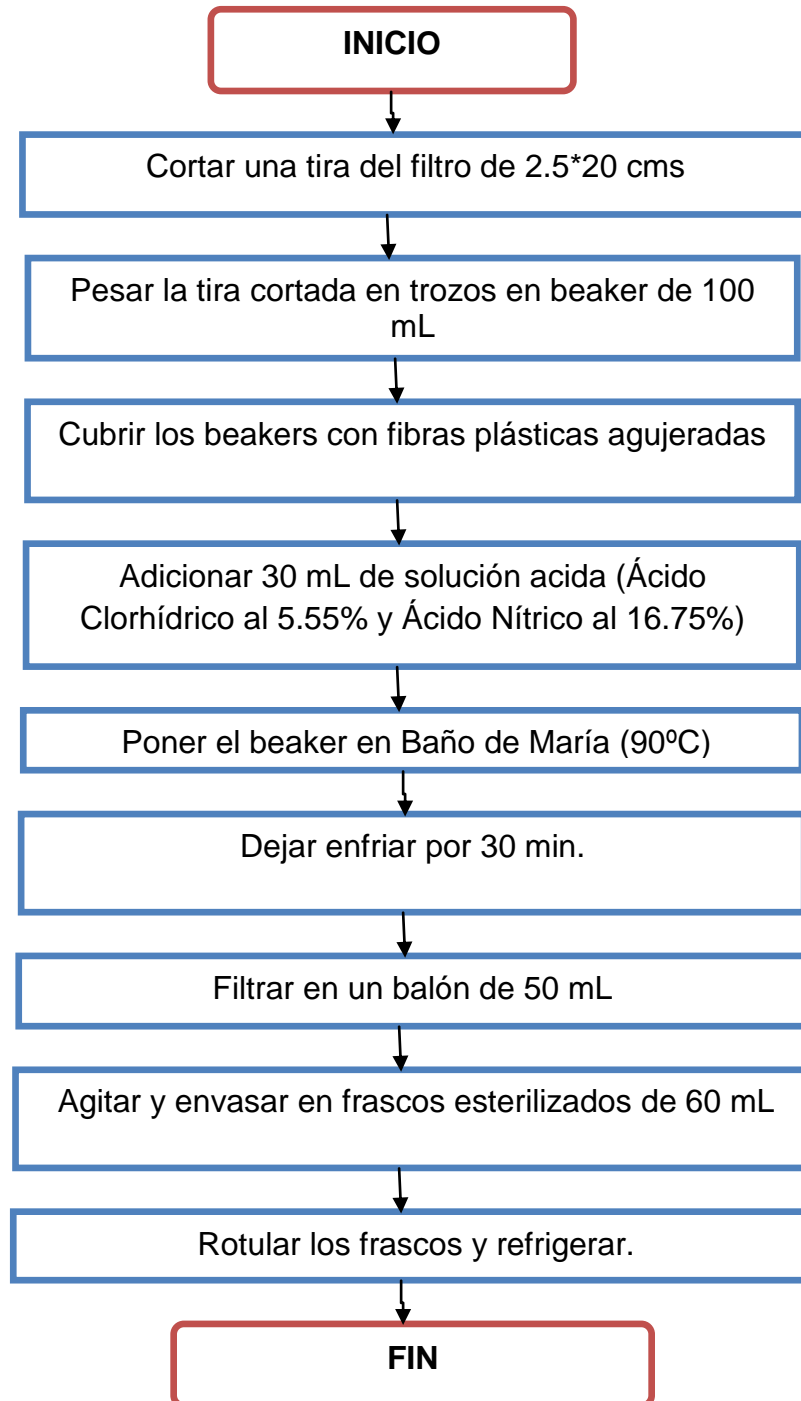
- **Estenopeica.** Un pequeño agujero que aparece como un punto brillante claro y evidente a la luz cuando se examina sobre una mesa de luz o en la pantalla, o como una mancha oscura cuando se ve a través de una superficie de color negro.
- **El material suelto.** Cualquier material o partículas de suciedad adicional sueltos en el filtro que debe ser cepillado antes de que se pesa el filtro.
- **La decoloración.** Cualquier decoloración visible evidente que podría ser evidencia de un contaminante.
- **Falta de uniformidad en filtro.** Cualquier falta de uniformidad visible en la apariencia del filtro, cuando se identifica más de una mesa de luz o superficie de color negro que pudiera indicar gradaciones en la porosidad a través de la faz de la filtrar.

2.2.2.5. Extracción del material del filtro

Después de que se ha obtenido el material particulado el filtro es cortado en una tira que consiste en una novena parte del filtro general. Como lo establece 40CFR50, Apéndice B, titulada "Determinación de Plomo en partículas en suspensión recogidas de aire ambiente. [19].

Para la extracción de metales pesados de los filtros de las muestras recolectadas durante el monitoreo en la localidad de Los Mártires, se establece el procedimiento señalado en la Ilustración 3. [19].

Ilustración 3 Procedimiento de extracción Material Particulado.



Fuente: Los Autores.

Luego del corte y preparación de las disoluciones estos son digeridos usando un microondas o una técnica de extracción de ácido caliente; estos extractos son analizados mediante ICP. Los resultados se multiplican por un factor de 9 para obtener el peso total en gramos total real de cada metal que se encuentra en todo el filtro 8" x 10". Con base en el análisis de un filtro en blanco, la concentración de metal de fondo puede ser restado de la concentración total de metal para llegar a un valor neto. Por lo tanto, los resultados analíticos representan el peso total que se encuentra en el filtro 8" x 10", pero no representa el volumen de aire muestreado. "El procedimiento para la extracción de microondas es basado en un método desarrollado por la EPA titulado *Microondas Extracción de Filtros de fibra de vidrio*. [19]

2.2.3. Método IO 3.5. Determinación de metales en partículas utilizando plasma de acoplamiento inductivo.

Describe la determinación de múltiples elementos traza por Plasma de acoplamiento inductivo/Espectrómetro de Masas ICP / MS. El material de las muestras en solución se introduce por nebulización neumática en un plasma de radiofrecuencia donde los procesos de transferencia de energía causan desolvatación, la atomización y la ionización [20].

Los iones se extraen 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 mínimo de 1 unidad de masa atómica (uma) del pico a 5% de la altura de pico, los iones transmitidos a través del cuádruple son registrados por un multiplicador de electrones o detector de Faraday y la información de iones es procesada por un sistema de manipulación de datos [20].

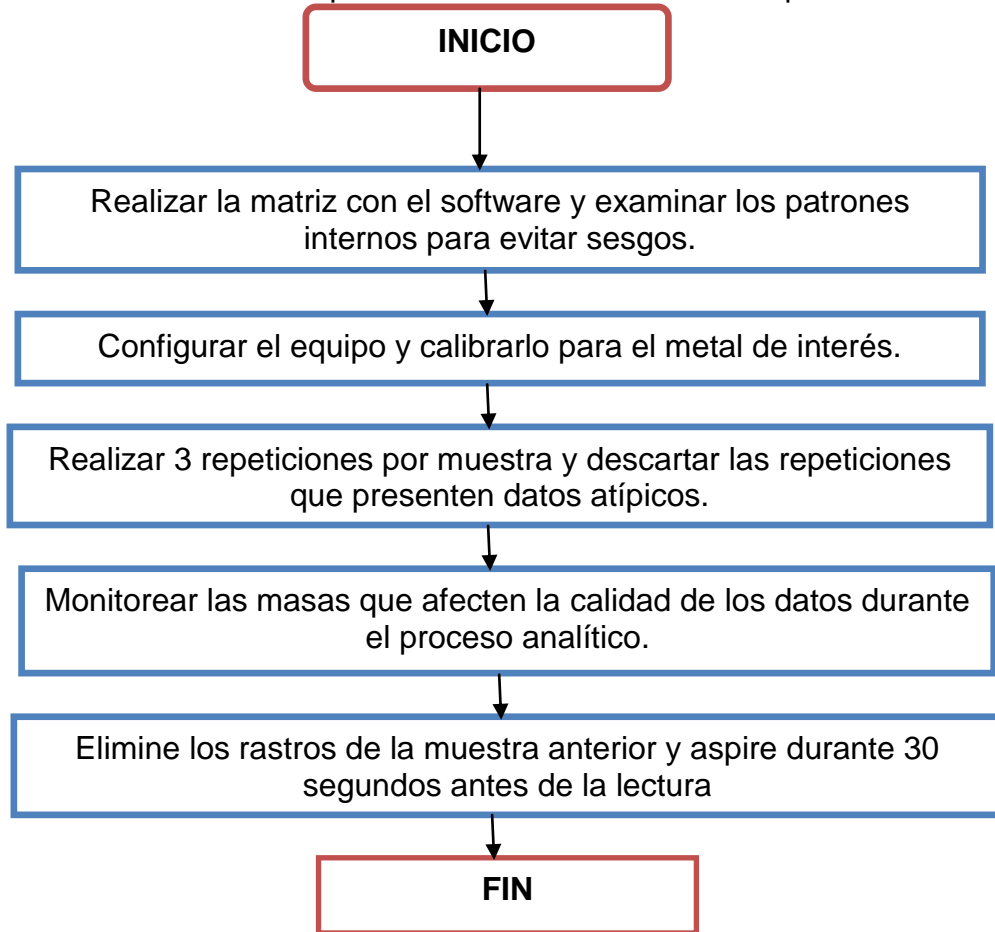
2.2.3.1. Parámetros de Laboratorio.

- Para determinar los elementos a nivel de trazas, la contaminación y la pérdida son de consideración primordial.
- Se debe utilizar un área de trabajo de laboratorio limpia designada para el manejo de muestras de elementos traza.
- Todo el material de laboratorio reutilizable (vidrio, cuarzo, polietileno, teflón, etc.), incluyendo el recipiente de la muestra, se debe limpiar antes de su uso.
- Lavar con detergente de calidad de laboratorio y agua posteriormente empapar durante 4 h en una mezcla de ácido nítrico diluido y ácido clorhídrico. Luego debe ser enjuagada con agua ASTM tipo I y secada al horno [20].

2.2.3.2. Procedimiento.

- La determinación del metal por ICP/MS presentada en la ilustración 4 se debe realizar una vez ejecutado el procedimiento presentado en la ilustración 3.

Ilustración 4 Procedimiento para la determinación del metal por ICP/MS.



Fuente: Los Autores.

2.2.3.3. Cálculos

Ecuaciones elementales para los cálculos de datos.

- Para determinar el volumen de aire muestreado, corregido a condiciones referencia según EPA se emplea la ecuación (1).

$$V_{std} = V_s * \left(\frac{T_{std}}{T_m}\right) * \left(\frac{P_{bar}}{P_{std}}\right) \quad (1)$$

Dónde:

V_{std} =volumen de aire ambiente muestreado en condiciones de referencia, m^3 .

V_s =volumen de aire ambiente arrastrado a través del muestreador, m^3 .

T_{std} =temperatura absoluta EPA-referencia, 298°K.

T_m =temperatura ambiente media.

P_{bar} =presión barométrica durante la condición de medición de muestreo, mm Hg.
 P_{std} =EPA-referencia de presión barométrica, 760 mm Hg.

- Para determinar la concentración de metal en la muestra de aire se emplea la ecuación (2).

$$C_{Metal} = \frac{\left[\left(\frac{\mu g \text{ Metal}}{mL} \right) * (\text{Volumen de digestión} * 9 - F_m) \right]}{V_{std}} \quad (2)$$

Dónde:

C=concentración, mg de metal/m³.

Gramos de metal/mL=Concentración Metal.

Volumen de extracto final (mL)/tira=volumen total de extracción de muestras de procedimiento de extracción.

F_m =concentración media de los filtros en blanco, g.

V_{std} =volumen de aire estándar tira a través del filtro m³ (25EC y 760 mm Hg) [20].

2.2.4. Análisis estadístico.

La estadística inferencial permite hacer estimación de una característica de la población o toma de decisiones con respecto a la misma, basada solo en los resultados obtenidos de la muestra, en ella se analizan datos con el objetivo de identificar características o concluir acerca de una población. Es decir que la estadística inferencial se aplica para llegar a conclusiones acerca de un conjunto de datos numéricos, es decir a un subconjunto de la población al que se le llama muestra [21].

Los campos de actuación de la estadística inferencial son:

- Muestreo.
- Estimación de parámetros.
- Contraste de hipótesis.

2.2.4.1. Correlación y asesor estadístico SPSS.

Los asesores estadísticos de la actualidad, procesan grandes bases de datos, en periodos de tiempo cortos, es por esto que se recomienda el uso de los mismos para optimizar el tiempo del que dispone el investigador para el análisis de los datos. Se propone el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (SPSS) y los pasos a seguir en el asesor: [22]

- I. Crear la base de datos
- II. Aplicar la prueba de normalidad Shapiro Wilk.

- III. Asignar las variables en los ejes X y Y.
- IV. Realizar un gráfico de dispersión Simple
- V. Realizar el cálculo del coeficiente de correlación Pearson o Spearman
- VI. Analizar.

2.2.4.2. Pruebas de Normalidad Shapiro - Wilk.

La prueba de Shapiro-Wilk se basa en estudiar el ajuste de los datos sobre un gráfico probabilístico en el que cada dato es un punto, cuyo valor de abscisa es el valor observado de probabilidad para un valor determinado de la variable y el de ordenada el valor esperado de probabilidad.

El estadístico W de Shapiro-Wilk mide la fuerza del ajuste con una recta. Cuanto mayor sea este estadístico mayor desacuerdo habrá con la recta de normalidad, por lo que podremos rechazar la hipótesis nula. La prueba de Shapiro-Wilk está considerada como la prueba más potente para muestra inferiores a 30 casos. Para efectuarla se calcula la media y la varianza muestral, S^2 , y se ordenan las observaciones de menor a mayor. Con esta prueba se calculan las diferencias entre: el primer dato y el último dato; el segundo y el penúltimo; el tercero y el antepenúltimo, etc. y se corrigen con unos coeficientes tabulados por Shapiro y Wilk [23].

Para hallar el estadístico de prueba se utiliza la ecuación (3):

$$W = \frac{D^2}{nS^2} \quad (3)$$

Dónde:

D=es la suma de las diferencias corregidas.

Se rechazará la hipótesis nula de normalidad si el estadístico W es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño muestral y el nivel de significación dado [23].

2.2.4.3. Coeficiente de correlación lineal de Pearson.

El coeficiente de correlación de Pearson, es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. Esto significa que puede haber variables fuertemente relacionadas, pero no de forma lineal, en cuyo caso no procede a aplicarse la correlación de Pearson.

Es un índice de fácil ejecución e interpretación, oscila entre -1 y $+1$. No obstante ha de indicarse que la magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación de $+1$ como de -1 . En el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa [24].

- Fórmula utilizada

El coeficiente de correlación hace referencia a la media de los productos cruzados de las puntuaciones estandarizadas de X y de Y. Esta fórmula reúne algunas

propiedades que la hacen preferible a otras. A operar con puntuaciones estandarizadas es un índice libre de escala de medida. Se halla por la siguiente ecuación [24]:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} \quad (4)$$

Una vez calculado el valor del coeficiente de correlación interesa determinar si tal valor obtenido muestra que las variables X y Y están relacionadas en realidad o tan solo presentan dicha relación como consecuencia del azar. Es decir, nos preguntamos por la significancia de dicho coeficiente de correlación.

Un coeficiente de correlación se dice que es significativo si se puede afirmar, con una cierta probabilidad, que es diferente de cero. Más estrictamente, en términos estadísticos, preguntarse por la significancia de un cierto coeficiente de correlación no es otra cosa que preguntarse por la probabilidad de que tal coeficiente proceda de una población cuyo valor sea de cero. A este respecto, como siempre, tendremos dos hipótesis posibles:

$H_0: r_{xy}=0 \Rightarrow$ El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuya correlación es cero ($\rho = 0$).

$H_1: r_{xy} \neq 0 \Rightarrow$ El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuyo coeficiente de correlación es distinto de cero ($\rho \neq 0$) [24].

2.2.4.4. Coeficiente de correlación Spearman.

Spearman (Rho de Spearman). Este coeficiente es una medida de asociación lineal que utiliza los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos. Existen dos métodos para calcular el coeficiente de correlación de los rangos: uno, señalado por Spearman y otro, por Kendall. El r de Spearman llamado también rho de Spearman es más fácil de calcular que el de Kendall [22].

El coeficiente de correlación no debe utilizarse para comparar dos métodos que intentan medir el mismo evento, como por ejemplo dos instrumentos que miden la saturación de oxígeno en sangre. El coeficiente de correlación mide el grado de asociación entre dos cantidades, pero no mira el nivel de acuerdo o concordancia. Si los instrumentos de medida miden sistemáticamente cantidades diferentes uno del otro, la correlación puede ser 1 y su concordancia ser nula. El coeficiente de correlación de Spearman es recomendable utilizarlo cuando los datos presentan valores extremos, ya que dichos valores afectan mucho el coeficiente de correlación de Pearson, o ante distribuciones no normales. No está afectada por los cambios en las unidades de medida Spearman. [22].

2.2.4.5. Interpretación de la correlación

En la interpretación de la prueba estadística correlación de Spearman, es necesario tener en cuenta el objetivo de la investigación que se define en primera instancia y la relevancia de estas relaciones en el fenómeno que se estudia, no depende en nuestras conclusiones solamente de la cifra matemática obtenida, sino basarnos en experiencias científicas del tema de investigación, para evitar que interfiera la casualidad. La explicación de un coeficiente de correlación como medida de la intensidad de la relación lineal entre dos variables es puramente matemática y libre de cualquier implicación de causa-efecto. El hecho de que las dos variables tiendan a crecer o decrecer juntas no indica que la una tenga un efecto directo o indirecto sobre la otra. Ambas pueden estar influidas por otras variables de modo que se origine una fuerte relación matemática. La interpretación de Rho depende principalmente de los detalles de la investigación y la experiencia propia en el tema de estudio. La experiencia previa sirve generalmente como base de comparación para determinar si un coeficiente de correlación es digno de ser mencionado [22].

La correlación más usada es en la que el coeficiente de correlación oscila entre -1 y 1 , el valor 0 que indica que no existe asociación lineal entre las dos variables en estudio [22].

2.3. Marco Conceptual

Bioacumulación: Aumento progresivo de la cantidad de una sustancia en un organismo o parte de él, como consecuencia de que el ritmo de absorción supera la capacidad del organismo para eliminar la sustancia [25].

Carcinógeno: Agente físico, químico o biológico capaz de incrementar la incidencia de neoplasias malignas [25].

Coefficiente de correlación: Estadístico que cuantifica la correlación. Sus valores están comprendidos entre -1 y 1 . [22]

Concentración: Cantidad de una sustancia, expresada en peso o en moles, por unidad de peso o volumen del medio en que se encuentra ($C=mg/Kg$; $C=mg/L$) [25].

Concentración media ponderada en el tiempo (TLV-TWA): Es el valor límite establecido para una jornada normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral de 40 horas, al que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin manifestar efectos adversos [25].

Contaminación Atmosférica: Presencia de concentraciones de contaminantes en la atmósfera por encima de los estándares fijados en las normas ambientales en largos periodos de exposición, es uno de los principales problemas

ambientales; el deterioro de la calidad del aire ha propiciado que se incrementen los efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente [26].

Cromo: Es un elemento que se encuentra naturalmente en rocas, animales, plantas y en el suelo, en donde existe en combinación con otros elementos para formar varios compuestos. Las tres formas principales del cromo son cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos [27].

Emisiones Fugitivas: Es la suma de emisiones provenientes de descargas accidentales, fugas de equipos, pérdidas en la carga de tanques, quema en antorcha, fugas en ductos, pérdidas en almacenamiento, venteo, y todas las demás emisiones directas excepto aquellas debidas al uso de combustibles [28].

Enfermedades Respiratorias: Trastornos que afectan los pulmones, tales como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), infecciones como gripe, neumonía y tuberculosis, cáncer de pulmón y muchos otros problemas respiratorios [29].

Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA): Conjunto de infecciones del aparato respiratorio causado por microorganismos virales, bacterianos y otros, con un periodo inferior a 15 días, con la presencia de uno o más síntomas o signos clínicos como: tos, congestión nasal, dolor de garganta, dolor de oído, disfonía, respiración ruidosa, dificultad respiratoria, los que pueden o no estar acompañados de fiebre [30].

Epidemiología Descriptiva: Estudio de la presentación de enfermedades o alteraciones de la salud en una población, incluyendo observaciones generales sobre las relaciones de la enfermedad con características como edad, sexo, raza, ocupación, clase social, localización geográfica, estas se agrupan en individuos, tiempo y lugar [25].

Fuentes Fijas: Fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa. Un contaminante es un fenómeno físico, puede ser una sustancia, un elemento en estado sólido, líquido o gaseoso, causante de efectos adversos en el medio ambiente, a los recursos naturales renovables y a la salud humana que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire por causa de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas [31].

Material Particulado: Partículas sólidas o líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas son lo suficientemente grandes detectables a simple vista como hollín o humo negro. Otros son tan pequeños que pueden ser detectados sólo con un microscopio electrónico. Debido a que las partículas se originan a partir de una

variedad de fuentes móviles y fijas, sus propiedades químicas y composiciones físicas varían ampliamente [32].

Metales Pesados: Son aquellos metales con gravedad específica $> 5 \text{ g/cm}^3$ asociados con contaminación y toxicidad potencial [33].

Modelo NetLogo: Es un entorno de programación que permite la simulación de fenómenos naturales y sociales. NetLogo es particularmente útil para modelar sistemas complejos que evolucionan en el tiempo. Los implementadores de modelos pueden dar instrucciones a cientos o miles de agentes para que todos ellos operen de manera independiente, entre sí y con el entorno. [34]

Monitoreo Ambiental: Determinación sistemática, continua o repetida, de sustancias en el ambiente, para evaluar la exposición y el riesgo, por comparación con apropiados valores de referencia basados en el conocimiento de las relaciones probables entre la exposición ambiental y los efectos adversos resultantes [25].

PM₁₀: Estándar para la medición de la cantidad de materia sólida o líquida suspendida en la atmósfera, incluye partículas con un diámetro de 10 micrómetros o menos, las cuales generan efectos sobre la respiración y el sistema respiratorio, daños en el tejido pulmonar, cáncer y muerte prematura. Es en estas se suspenden en mayor proporción metales pesados [35].

PST: Mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición, dependiendo fundamentalmente de su origen. El tamaño de las partículas suspendidas varía desde 0.005 hasta 100 micras de diámetro aerodinámico [36].

Registro Individual de Prestación de Servicios de Salud (RIPS): Conjunto de datos mínimos que el Sistema General de Seguridad Social en Salud requiere para los procesos de dirección, regulación y control para el servicio.

Estos datos identifican las actividades de salud que realizan las IPS o profesionales independientes de salud, siendo una de las fuentes principales de información de servicios, demanda y oferta de los servicios en Bogotá.

A través de los RIPS, podemos obtener perfiles epidemiológicos, frecuencia de usos y costos de servicios, demanda atendida, seguimiento a contratos y para la toma de decisiones. Esta última nos permite identificar las necesidades de servicios, de recursos, políticas en salud y seguimiento a la gestión institucional entre otros [37].

Toxicocinética: Expresión en términos matemáticos de los procesos que experimenta una sustancia tóxica en su tránsito por el cuerpo (captación, absorción, distribución, biotransformación y eliminación) [25].

Xenobiótico: Cualquier sustancia que interactúa con un organismo y que no es uno de sus componentes naturales [25].

2.4. Marco legal.

Se establecen las normas de medidas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire en el territorio nacional y local.

Tabla 2 Normativa calidad de aire.

Norma, Decreto o Resolución	Año	Temática/Contempla	Ente Regulador
Decreto 948	1995	Reglamento de protección y control de la calidad del aire.	Ministerio del Medio Ambiente.
Decreto 174	2006	Medidas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del Aire en el Distrito Capital	Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA).
Decreto 417	2006	Medidas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire en el Distrito Capital	Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA).
Resolución 619	1997	Establece parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Resolución 909	2008	Normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Resolución 610	2010	Modifica la Res. 601 de 2006 Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Fuente: Los Autores.

La Resolución 610 del 2010 del MAVDT establece niveles máximos permisibles de PM₁₀ y PST para todo el territorio nacional en condiciones de referencia y la Organización Mundial de la Salud establece los niveles máximos de exposición para PM₁₀ a nivel global como se presenta en las tablas 3 y 4.

Tabla 3 Niveles Máximos Permisibles Resolución 610/2010.

Resolución 610 del 2010.		
Contaminante Criterio	Nivel Máximo Permissible (µg/m³)	Tiempo de Exposición
PST	100	Anual
	300	24 Horas
PM₁₀	50	Anual
	100	24 Horas

Fuente: [38].

Tabla 4 Concentración media PM₁₀ OMS.

Organización Mundial de la Salud.		
Contaminante Criterio	Concentración Media (µg/m³)	Tiempo de Exposición
PM₁₀	20	Anual
	50	24 Horas

Fuente: [39].

Para el estudio realizado no se encontró normatividad pertinente a nivel nacional para el contaminante analizado. Por lo tanto se contemplan los niveles máximos permisibles que recomienda la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (EPA) y la Organización Mundial de la Salud OMS para el contaminante con efectos carcinogénicos, como el cromo, los cuales se describen en la Tabla 5.

Tabla 5 Marco Legal del Cromo.

MARCO LEGAL		
ENTE REGULADOR	ESTABLECE	NIVELES PERMISIBLES
EPA Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.	Implementa la Ley de Aire Limpio de 1970. El cual establece programas de permisos para limitar la cantidad de contaminantes que pueden liberar las fuentes como las fábricas, las industrias y los vehículos.	Límite de Emisión por industrias -Cromo metálico 15 µg/m ³ -Cromo (III) y (VI) 10 µg/m ³
Organización Mundial de la Salud OMS.	Concentración Ambiental promedio Cromo VI	Concentración de riesgo de Cáncer por una exposición continua 11 µg/m ³ IARC:1 Cancerígeno para los seres humanos

Fuente: [40] [41].

3. DESARROLLO CENTRAL

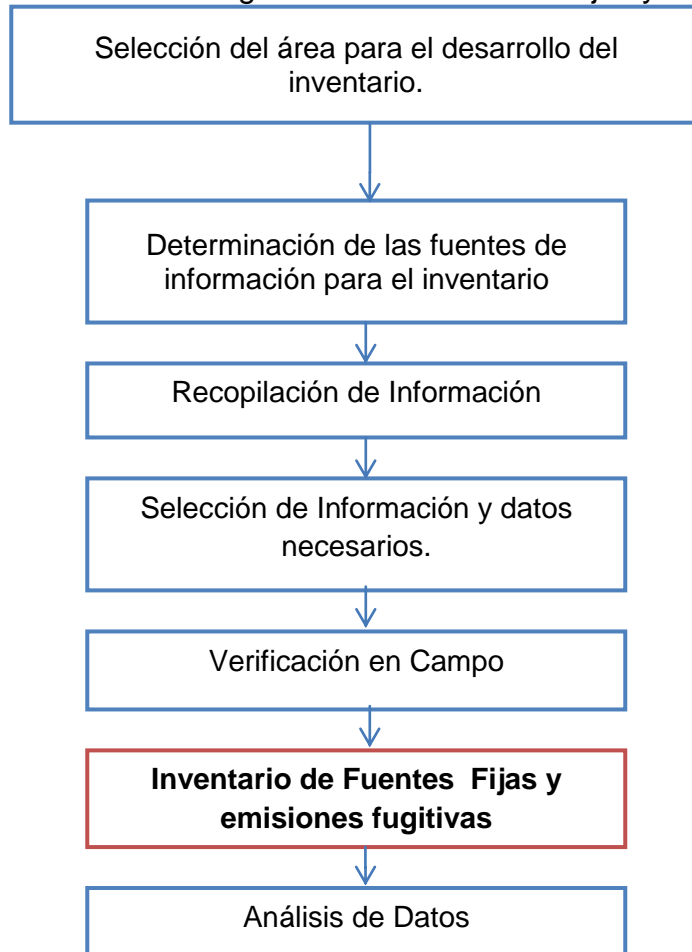
3.1. Inventario de fuentes de contaminación.

La contaminación atmosférica en la localidad es generada por el desarrollo de actividades industriales y por vehículos que transitan por las principales vías. Con base en esto se consideraron las fuentes de contaminación, fijas y móviles y emisiones fugitivas. El desarrollo se basó recopilando información primaria y secundaria con el fin de determinar la cantidad, localización, el tipo de industrias y volumen de vehículos.

A continuación se describe la metodología y resultados obtenidos en el inventario de fuentes fijas, móviles y emisiones fugitivas (ver ilustración 5).

3.1.1. Inventario Fuentes Fijas.

Ilustración 5 Metodología Inventario Fuentes Fijas y Fugitivas.

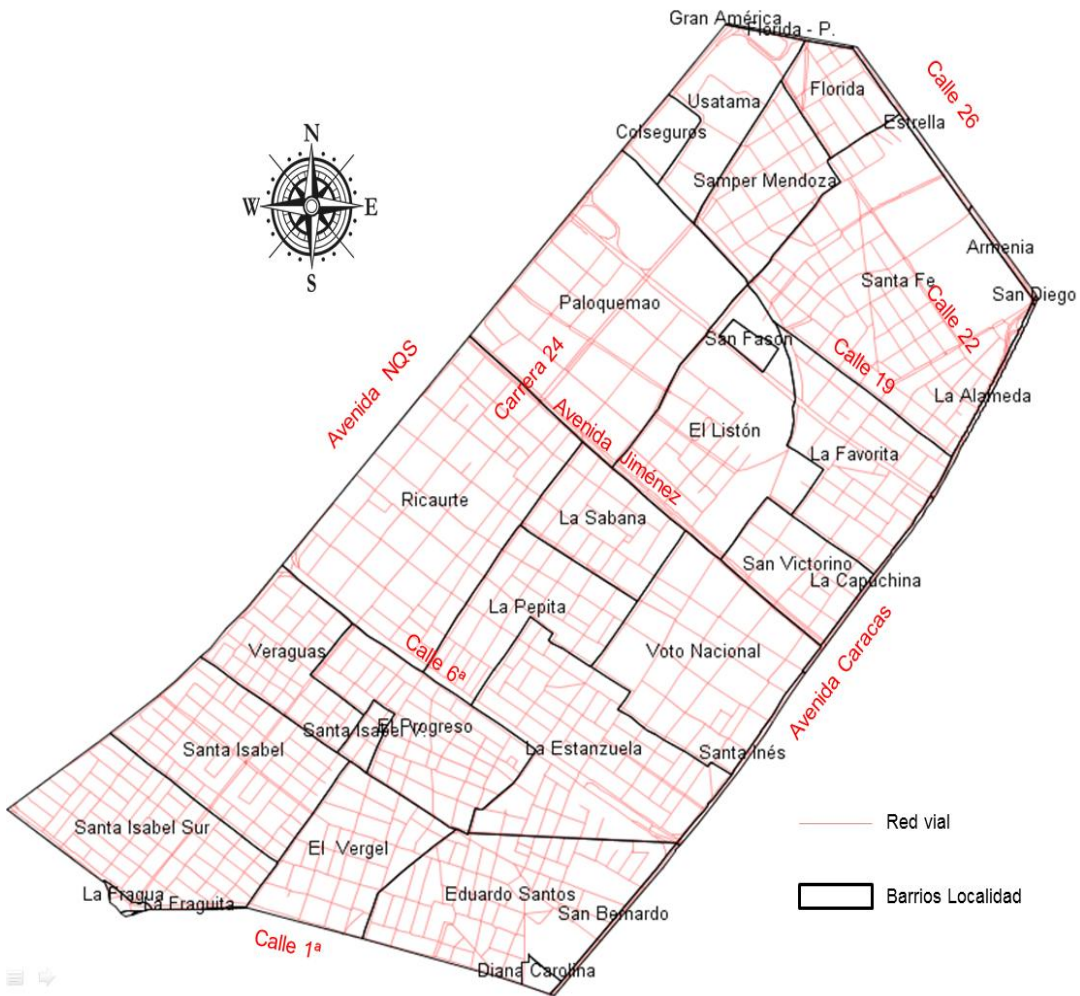


Fuente: Los Autores.

- **Selección del área para el desarrollo del inventario.**

Se seleccionó el área teniendo en cuenta que en esta zona posiblemente se generarán altos niveles de contaminación atmosférica pues la localidad de Los Mártires está comprendida por vías principales como la Calle 1ª, Calle 26, Avenida Caracas y Carrera 30 como se observa en la ilustración 6, allí también se encuentran ubicadas alrededor de 3960 industrias legalmente establecidas según el MIA versión 2013 y además la localidad no cuenta con una estación de vigilancia para el control de las mismas.

Ilustración 6 Red vial localidad de Los Mártires.



Fuente: Los Autores.

- **Determinación de las fuentes de información para el inventario**

Para la obtención de datos confiables, como fuentes de información se seleccionó la Secretaria Distrital de Salud (SDS) y la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) entes reguladores del territorio local.

- **Recopilación de Información**

Para el desarrollo del inventario se solicitó la información recopilada en el Mapa de Industria y Ambiente (MIA) de la SDS este contempla la información sobre las industrias ubicadas en las 21 localidades de la ciudad de Bogotá.

- **Selección de Información y datos necesarios.**

- **Filtro por localidad.**

Teniendo la base de datos del MIA se inició con la selección de la información, para ello se realizó el filtro de industrias localizadas en la localidad de Los Mártires. Como resultado de este filtro se obtuvo que un total de 3.961 industrias se encuentren localizadas en Los Mártires.

- **Selección de industrias por Actividad Económica.**

Inicialmente se realizó la revisión bibliográfica de las industrias que en su proceso productivo usan el cromo, de esta manera se identificó la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), el cual es la clasificación internacional de referencia de las actividades económicas productivas. Su principal finalidad es facilitar un conjunto de categorías de actividad que pueda utilizarse para la elaboración de estadísticas por actividades.

En las industrias que en su proceso emplean cromo se encuentra la industria metalúrgica y donde el cromo es empleado como cromo metálico ya que es altamente resistente a la oxidación, inclusive a altas temperaturas, esta propiedad sumada a su color plateado con un tinte azulado, es la causa de que se emplee para recubrir objetos de diferentes metales con el fin de protegerlos de la corrosión, lo que se conoce como cromado [9]. El cromado es uno de los procesos electroquímicos con mayor aplicación en la industria, además de ser una de las actividades con efectos nocivos a causa de los desechos producidos en su operación, como es el caso de las emisiones generadas de cromo en estado hexavalente (CrO_3) [42]

El óxido crómico (Cr_2O_3) derivado del cromo (III) es muy estable, resistente a los ácidos y de alto punto de fusión, es empleado como pigmento denominado “Verde de Cromo” usado en la litografía para impresoras rotativas produciendo a su vez emisiones fugitivas de gases y barniz de tinta con trazas del metal [9].

Los derivados del cromo (IV) son principalmente los cromatos y dicromatos, ambos grupos son agentes oxidantes en medio ácido, El dicromato de potasio se emplea mucho en la industria y en operaciones químicas, el cromato de plomo se usa como pigmento con el nombre de “Amarillo de Cromo”, este es empleado en las industrias de pintura y pintura. [9].

En la industria de oxicorte, el equipo de corte se compone de un soplete que permite calentar un punto del acero a temperaturas de 1200°C a 1300°C y de un dispositivo que aporta el oxígeno necesario para la oxidación del hierro, a partir de una cierta concentración de cromo, el acero presenta dificultades de oxicorte debido a la formación de óxido de cromo que tiene un punto de fusión alto respecto al óxido de hierro y el hierro; esta operación de corte genera emisiones ya que la temperatura se puede elevar hasta los 1500°C. [43]

La industria metalmecánica encargada de la producción de acero inoxidable que es una mezcla de elementos como cromo (mínimo 10.5%), carbono (máximo 1.2%), níquel molibdeno [44]. El cromo encapsula el material evitando la oxidación y corrosión formando una capa de óxido cuando el material está expuesto al oxígeno protegiendo así el resto de los componentes [45].

En la tabla 6 se presenta la clasificación industrial y su clasificación CIU

Tabla 6 Clasificación industrias código CIU.

CÓDIGO CIU	ACTIVIDAD	TIPO DE INDUSTRIA
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.	

Fuente: Los Autores.

Como resultado del filtro se obtuvo un total de 688 industrias que emplean y generan cromo en su proceso productivo distribuidas según su tipo de actividad.

Verificación en Campo

Con el inventario de fuentes, se llevó a cabo la verificación de las 688 industrias con visitas de campo a la localidad; allí se determinó si las industrias contaban con una fuente fija o las emisiones que generan son fugitivas, esto se llevó a cabo por cada uno de los barrios de la localidad.

Una vez verificadas las industrias del inventario se identificó la inexistencia de algunas empresas estipuladas en la información del MIA siendo reemplazadas por actividades económicas diferentes a las de interés, para el presente estudio por lo tanto se consideraron como inexistentes en la base de datos del inventario (ver anexo 2). El resultado final de industrias de la localidad por tipo de actividad industrial se presenta en la tabla 7.

Tabla 7 Clasificación de industrias por tipo de actividad industrial.

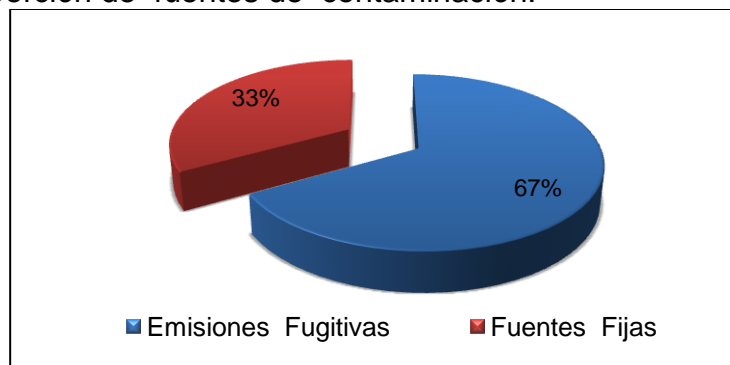
Tipo de Actividad Industrial	Tipo de Emisión/Fuente	Total de Industrias
Litográfica	Fugitivas	237
Oxicorte		58
Latonería y Pintura.		161
Metalmecánica	Fijas	132
Metalúrgica		94
Total Fuentes		682

Fuente: Los Autores.

Se presenta en la tabla 8 la clasificación de fuentes fijas y emisiones fugitivas según la verificación en campo, donde se identificó 456 emisiones fugitivas correspondientes a actividades de litografía, oxicorte y latonería y pintura ya que estas se dedican a la impresión, corte de acero y uso de pigmentos respectivamente siendo evidente en sus procesos la generación de emisiones fugitivas y 226 fuentes fijas principalmente por el uso de calderas y ductos de escape pertenecientes a las industrias de metalmecánica y metalurgia.

En la gráfica 2 se muestra la proporción de las fuentes que en su proceso emplean y generan trazas de cromo, se observa para fuentes fugitivas un 67% de participación y un 33% para fuentes fijas.

Gráfica 2 Proporción de fuentes de contaminación.

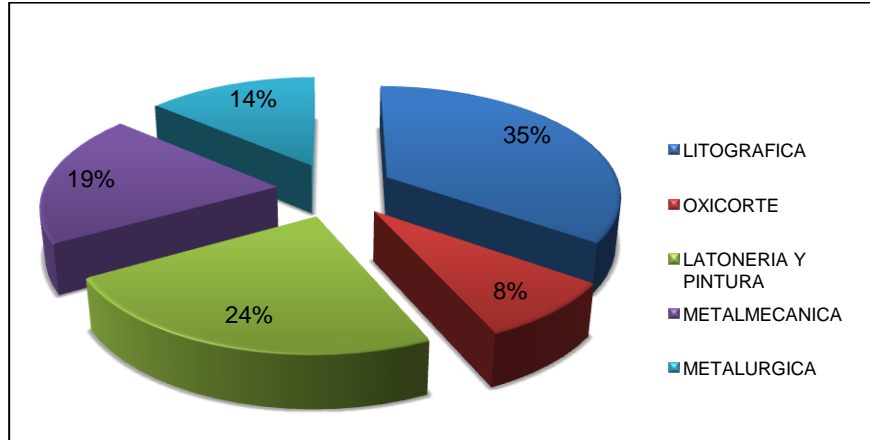


Fuente: Los Autores.

3.1.1.1. Análisis de Datos

Finalizado el inventario de fuentes fijas y emisiones fugitivas se determinó la proporción de las actividades industriales potenciales en la emisión de cromo como observa en la gráfica 3.

Gráfica 3 Actividades industriales localidad de Los Mártires.



Fuente: Los Autores.

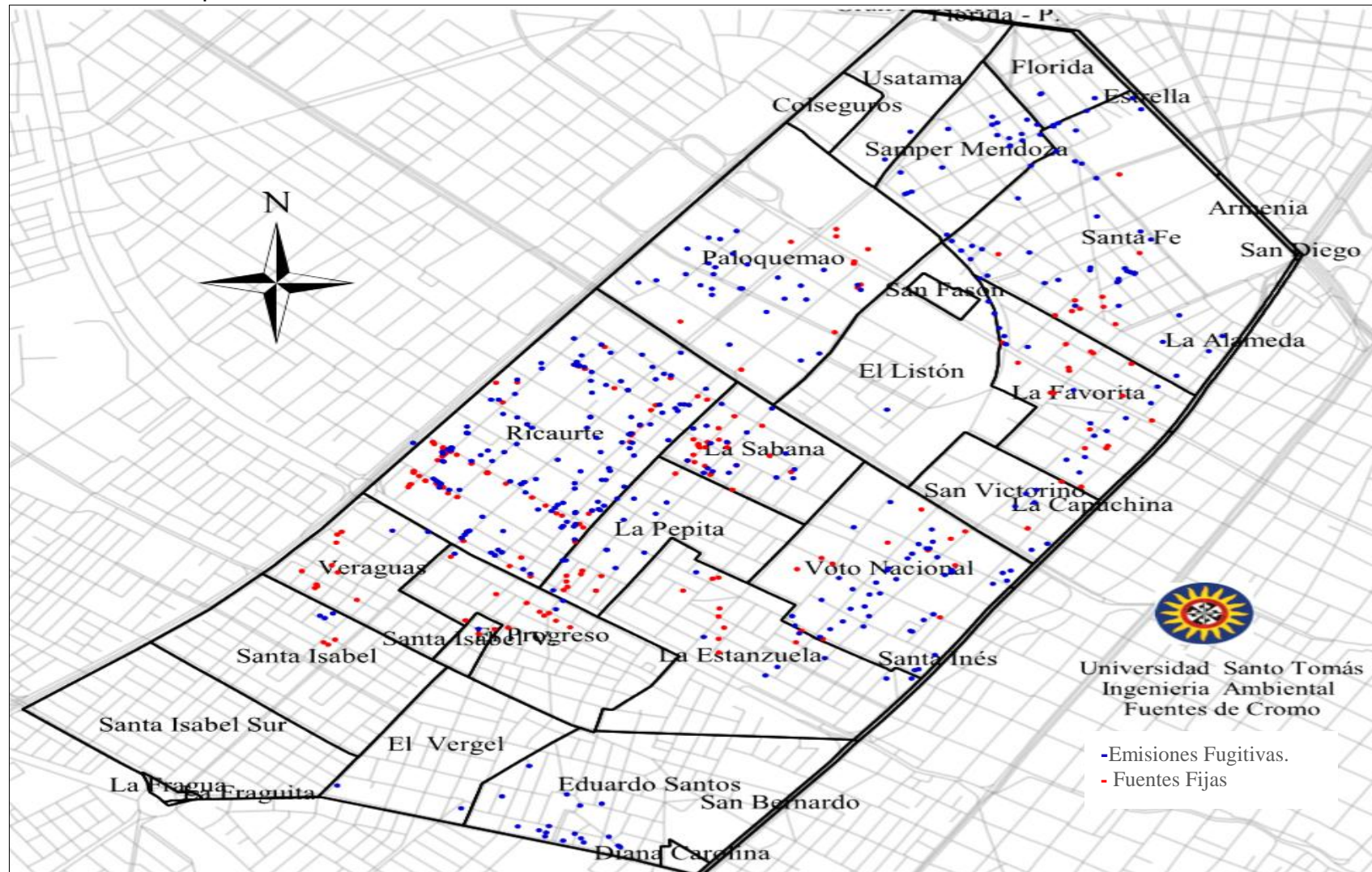
Se observa en la gráfica 3 que la actividad con más participación en la localidad es la industria litográfica con un 35% del total de empresas seguido de la actividad de latonería y pintura con un 24%, luego fuentes de metalmeccánica con un 19%, metalúrgica con un 14% y por último empresas dedicadas a oxícorte con 8%. Siendo la industria litográfica la que genera emisiones fugitivas, considerándose por esto altamente contribuyentes a la emisión de cromo.

3.1.2. Desarrollo de mapa de fuentes fijas y emisiones fugitivas.

Una vez identificadas las industrias fue elaborado el mapa de fuentes de la localidad para determinar su distribución, de esta manera identificar la zona en donde podrían encontrarse las mayores emisiones atmosféricas que contienen niveles de cromo.

El desarrollo del mapa se llevó a cabo con el programa gvSIG 1.10 en el cual se ejecutaron diferentes etapas utilizando las herramientas necesarias para su obtención, ver ilustración 7.

Ilustración 7 Mapa de fuentes de contaminación localidad de Los Mártires.



Fuente: Los Autores.

En el mapa se identifican las industrias que realizan su proceso productivo en la localidad de Los Mártires y su distribución por los barrios en donde se observa que la mayor cantidad de industrias se concentra hacia el occidente de la localidad en el barrio Ricaurte y La sabana, hacia el nororiente en el barrio Santafé y Samper Mendoza.

Siendo Ricaurte y la Sabana la zona de mayor comercio donde se encuentran localizadas la mayor cantidad de litografías, metalmecánicas, y talleres de latonería y pintura.

3.1.3. Inventario de fuentes móviles.

Según el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD), la localidad cuenta con un corredor vial con un 95.7% correspondiente a vías principales, entre ellas se encuentran la Avenida Ciudad de Quito (Carrera 30) con 4.140m, Avenida Caracas con una longitud de 3.180 m, la Avenida 6 con 1.800 m, Avenida Ciudad de Lima (Calle 19) con 1.760 m, Avenida Jiménez (Calle 13) con 1.750m, Avenida de La Hortúa (Calle 1ª) con 1.650 m y la Avenida el Dorado(Calle 26), con 1.190 m. Las vías secundarias, atraviesan la localidad comunicando las vías principales, estas constituyen un 4,3% de la infraestructura vial en la localidad [46]. Ver Tabla 8.

Tabla 8 Sistema vial Los Mártires.

VIAS	TIPO
Avenida Ciudad de Quito (Carrera 30)	Vías principales
Avenida Caracas	
la Avenida 6ª	
Avenida Ciudad de Lima (Calle 19)	
Avenida Jiménez (Calle 13)	
Avenida de La Hortúa (Calle 1ª)	
la Avenida el Dorado(Calle 26)	
Carrera 24	Vías Secundarias
Carrera 27	
Calle 3ª	

Fuente. Los Autores

Teniendo en cuenta la infraestructura vial de la localidad se solicitó la información de los aforos versión 1-2014 realizados por la Secretaria Distrital de Movilidad (SDM) en las vías de la localidad, en la tabla 9 se presenta el volumen total de vehículos y su porcentaje de participación registrado para cada estación de monitoreo en un periodo de 14 horas.

Tabla 9 Volumen de vehículos por estación de aforo.

ESTACIÓN DE AFORO	TOTAL VEHICULOS LIVIANOS	TOTAL BUSES	TOTAL CAMIONES	TOTAL MOTOS	TOTALES
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%
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

Total Volumen Vehicular		Porcentaje de Participación	
--------------------------------	--	------------------------------------	--

Fuente: [47].

Según los aforos realizados por la SDM, la localidad presenta los mayores flujos vehiculares sobre la Carrera 30 con Calles 1ª y 3ª, seguida por la Avenida Caracas con calle 19 y la Carrera 27 con Calle 6ª, siendo estas las principales vías presentes en la localidad, presentan un alto volumen de vehículos de todo tipo, entre ellos se registran vehículos livianos, buses, camiones y motos, estos se consideran como fuentes que contribuyen al aumento en los niveles de material

particulado que contiene trazas de cromo [48]. Dicha 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 podrían presentar los mayores niveles de contaminantes y su estimación según el tipo de combustible que utilice el vehículo.

En la tabla 10 se presenta el tipo de vehículos y el volumen total que transita por la localidad con el respectivo porcentaje de participación.

Tabla 10 Volumen total de vehículos que transitan en la localidad.

TIPO DE VEHÍCULO	TOTAL DE VEHICULOS	% PARTICIPACION
Vehículos Livianos	403.648	57%
Buses	108.106	15%
Camiones	27.986	4%
Motos	166.932	24%
Total	706.672	100%

Fuente: [47].

En la tabla 10 se observa la participación vehicular, allí se evidencia mayor proporción de tránsito por vehículos livianos con un 57% seguido de motos con un 24%, buses con un 15% y por último con la menor proporción de participación transitoria sobre las principales y secundarias vías de la localidad los camiones con un 4%.

3.1.3.1. Estimación de emisión de cromo por fuentes móviles

La estimación de cromo se desarrolló utilizando un factor de emisión que corresponde a la relación entre la tasa de emisión y una unidad de actividad, para esto fue necesario tener en cuenta las características de los vehículos registrados en los aforos suministrados por la Secretaria Distrital de Movilidad que contienen el tipo de vehículos y la cantidad que transitan en la localidad. Según los Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012 el factor de emisión de la tabla 11 corresponde al consumo de combustible según el tipo del vehículo [49], el factor de actividad se establece el recorrido promedio diario de los vehículos en Bogotá [50].

Tabla 11 Características de fuentes móviles.

Tipo de Vehículo	Combustible	Factor de Actividad (km/Día)	Factor de emisión (µg/km)
Automóvil	Gasolina	123.2	15.2
Bus	Diesel	159	15.2
Camión	Diesel	112.3	15.2
Moto	Gasolina	117	15.2

Fuente: [49], [50].

Para estimar la emisión de fuentes móviles, se emplearon los factores de emisión, con el que se relaciona la cantidad emitida de un contaminante con la actividad del automotor asociada con dicha emisión [51]. La ecuación general para el uso de factor de emisión es la siguiente:

$$E_{Cromo} = FE * FA * No.Vehículos \quad (5)$$

Donde

E_{Cromo} =Emisión del contaminante ($\mu\text{g}/\text{Día}$).

FE=Factor de emisión del contaminante ($\mu\text{g}/\text{km}$).

FA=Factor de actividad ($\text{Km}/\text{Día}$).

Con la ecuación 5 se determinó la emisión de cromo por fuentes móviles registrado en la localidad en un periodo de 24 horas como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12 Estimación de emisiones de cromo por fuentes móviles.

Tipo de Vehículo	TOTAL DE VEHICULOS (TV)	Emisión Total (E_{Cromo}) (g/Día)
Automóvil	403.648	755,87
Bus	108.106	261,27
Camión	27.986	47,77
Moto	166.932	296,87
TOTAL	706.672	1.361,78

Fuente: Los Autores

Al tener en cuenta la cantidad de vehículos registrados en la localidad se observa que los automóviles son los de mayor tránsito vehicular y por ende son los de mayor contribución en los niveles de cromo con un 55% de emisión a la atmósfera, también se evidencia que debido a la cantidad de motos que transitan en la localidad éstas llegan a ser un problema, pues emiten un 22% de la emisión total con esto se puede atribuir que la concentración se encuentre principalmente hacia la parte occidental de la localidad, donde el tránsito de vehículos de este tipo es mayor en las vías principales, entre la Carrera 30, Calle 6ª y Calle 13 sobre los barrios Ricaurte, La Sabana y Samper Mendoza; seguido de los buses con un 19.2% y por último los camiones con un 3%.

3.2. Monitoreo ambiental material particulado.

Con base en la metodología IO 3.1 que establece las características generales de los diferentes tipos de filtros usados para la retención de partículas, los filtros de fibra de cuarzo fueron seleccionados, ya que proporcionan una alta eficiencia y recogen las partículas en suspensión de cualquier tamaño y descripción, además

permiten el análisis de concentraciones de metales por las distintas metodologías analíticas existentes.

Posterior a la selección del filtro se determinó la cantidad necesaria a emplear incluyendo un filtro en blanco como referencia; estos filtros fueron rotulados y acondicionados en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad de la Salle. Durante un periodo de 24 horas fueron dispuestos en el desecador para posteriormente realizar un pasaje inicial, luego fueron puestos nuevamente en el desecador por una hora y pesados para obtener el peso final, de esta manera el porcentaje de error obtenido fue inferior al 5% de la operación pre-campo (Ver Anexo 3).

3.2.1. Calibración de Equipos Muestreadores.

La calibración para los equipos Hi-Vol medidores de PST y PM₁₀ se llevó a cabo con antelación al periodo de muestreo, cumpliendo con el procedimiento establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), verificando un flujo continuo durante la medición con el sistema de resistencia de flujo variable, garantizando así la obtención de muestras representativas, confiables y válidas. Para el muestreo se contó con 2 equipos muestreadores de alto volumen Hi-Vol marca Tisch Environmental que contaban con un registrador automático de flujo. (Anexo 1)

Tabla 13 Características de Equipos Muestreadores.

EQUIPO	MARCA	REFERENCIA	SERIE
Hi-Vol PST	Tisch Environmental	EPA RFPS-0202-141	TE-HVPLUS-BL
Hi-Vol PM ₁₀	Tisch Environmental	EPA RFPS-0202-141	TE-6070DV

Fuente: Los Autores.

Ilustración 8 Equipos muestreadores PST y Hi-Vol PST y PM₁₀.



Fuente: Los Autores

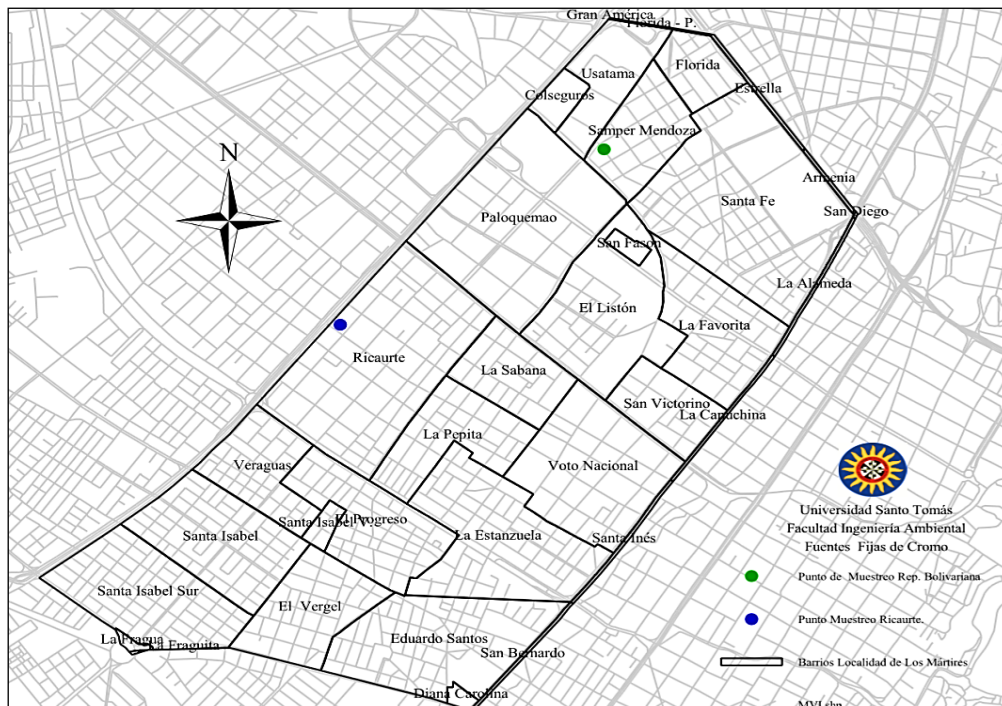
3.2.2. Selección de los puntos de Muestreo.

Las Instituciones Educativas Distritales (IED), donde fueron ubicadas las estaciones de muestreo. En la IED Ricaurte fue instalado el equipo Hi-Vol PM₁₀, dicha estación se localizó en la parte occidental de Los Mártires sobre la Calle 10 No. 29 barrio Ricaurte y en la estación IED La República Bolivariana el equipo para muestrear PST en la Institución Educativa Distrital República Bolivariana de Venezuela, sede ubicada en la Calle 22A No. 18B- 42 hacia el sector nororiente de la localidad. Ver ilustración 9.

La ubicación de las estaciones de monitoreo se realizó teniendo en cuenta el inventario de fuentes fijas y móviles, la estación de muestreo IED Ricaurte se ubicó debido a la alta concentración de industrias en el barrio Ricaurte además el alto flujo vehicular de la Cra 30 y calle 13. La estación de monitoreo IED La República Bolivariana se ubicó en la zona nororiental de la localidad siendo esta también una zona de alta influencia industrial pero con menor flujo vehicular respecto a la primera estación.

Las estaciones contaban con la seguridad de los equipos y fácil acceso para ser instalados y de esta manera ejecutar el muestreo. Además las instalaciones de la institución se prestaron para que los equipos cumplieran con los criterios específicos de micro localización de estaciones en el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

Ilustración 9 Localización estaciones de muestreo.



Fuente: Los Autores.

3.2.3. Muestreo material particulado.

La recolección de las muestras se ejecutó cumpliendo con los parámetros establecidos en el Protocolo para la Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire elaborado por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), el cual establece un periodo consecutivo de muestreo por 18 días con una duración de 24 horas. En la tabla 14 se especifica el periodo monitoreo.

Tabla 14 Periodo de muestreo material particulado (PST Y PM₁₀).

PERIODO DE MUESTREO MATERIAL PARTICULADO (PST Y PM ₁₀)							
Mes	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Mayo			27	28	29	30	31
Junio	1	2	3	4	5	6	7
	8	9	10	11	12	13	

Fuente: Los Autores

3.2.3.1. Cambio de Filtro.

Para cada muestra se requirió un filtro de cuarzo en blanco, el cambio de éste se realizó después de 24 horas de muestreo en cada estación, en el momento de hacer el cambio se contemplaron factores como temperatura, dirección y velocidad del viento, precipitación, hora de cambio de los filtros, entre otros como se estipula en las cadenas de custodia presentadas en el Anexo 4.

3.3. Determinación de Material Particulado (PST y PM₁₀).

El análisis de los filtros se llevó a cabo en tres etapas.

- Pesaje de los filtros.
- Determinación de Material Particulado (PST y PM₁₀).
- Extracción de Material Particulado del filtro.
- Determinación de Concentraciones de Cromo por ICP-MS.

3.3.1. Pesaje de filtros

Después del muestreo se realiza el mismo procedimiento en los desecadores. Para llevar a cabo el pesaje pre-campo y post-campo de los filtros (Anexo 2) se tuvo en cuenta que los factores como la humedad relativa y la temperatura pueden afectar las concentraciones en las que se encuentran las muestras para eso se tuvo en cuenta un higrómetrografo, la EPA recomienda el procedimiento de 40 CFR 50 apéndice B para PST y 40 CFR 50 apéndice J para PM₁₀ donde

determina que las condiciones para el pesaje deben estar dentro de los siguientes rangos:

Tabla15 Condiciones de pesaje.

PARAMETRO	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
PST	15 a 30 °C	15% a 50%
PM ₁₀	15 a 30 °C	15% a 45%

Fuente: [52]

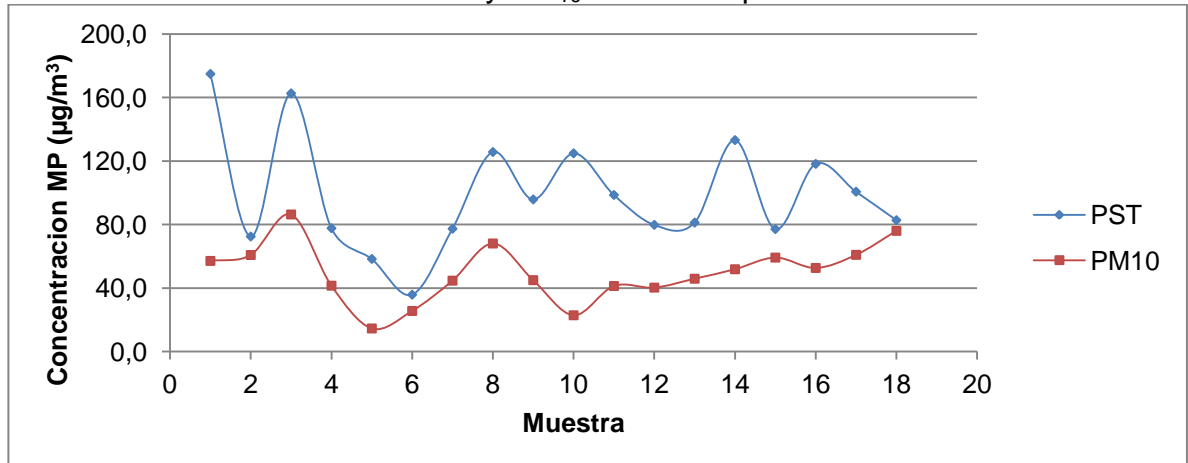
3.3.2. Niveles de material particulado.

Para la estimación de las concentraciones de material particulado (PM₁₀ y PST) se tuvo en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperatura promedio (°K)
- Presión barométrica. (mm Hg)
- El caudal estándar (m³/s).
- Tiempo de monitoreo.
- Masa del filtro (g).

La determinación del material particulado que contiene una muestra se realizó con base en la aplicación de la técnica para la medición de partículas en suspensión, que consiste en la cuantificación gravimétrica. Este método proporciona la cantidad de material particulado depositado sobre el filtro, en la gráfica 4 se observa la concentración total de contaminantes PST y PM₁₀ respectivamente.

Gráfica 4 Concentración de PST y PM₁₀ durante el periodo de muestreo



Fuente: Los Autores.

3.4. Análisis de la norma establecida para PST y PM₁₀.

Para comparar las concentraciones de cada contaminante con el nivel máximo permisible, se corrigió la norma de referencia a norma local para determinar el cumplimiento en la localidad Los Mártires.

3.4.1. Comparación entre las concentraciones de PM₁₀ y niveles máximos permisibles a condiciones locales.

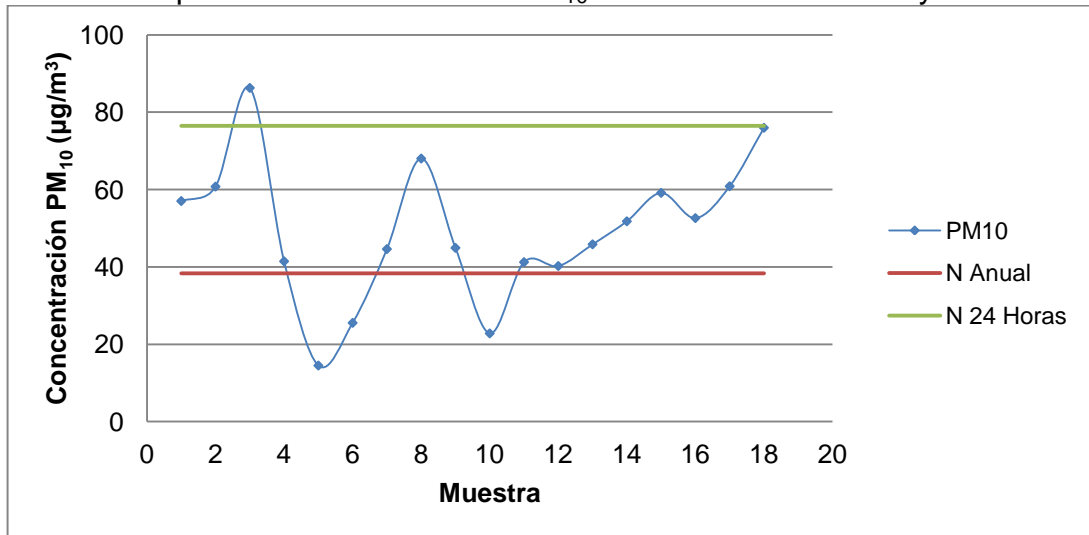
Para realizar esta comparación se corrigió la norma a condiciones locales tomando como referencia los niveles máximos permisibles para contaminante el criterio PM₁₀ establecidos en la resolución 610/2010 para un tiempo de exposición anual y 24 horas (ver tabla 16).

Tabla 16 Norma PM₁₀ corregida a condiciones locales.

Contaminante Criterio	Norma Corregida a Condiciones Locales	
	Nivel Máximo Permisible (µg/m ³)	Tiempo de Exposición
PM ₁₀	38.3	Anual
	76.5	24 Horas

Fuente: Los Autores.

Gráfica 5 Comparación concentración PM₁₀ con norma local anual y 24 horas.



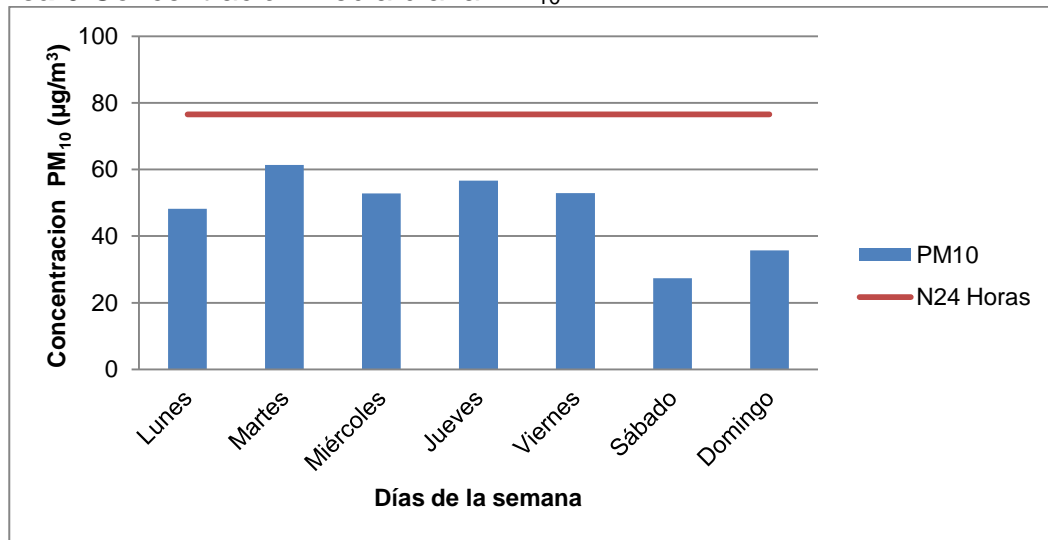
Fuente: Los Autores.

Se observa en la gráfica 5 el comportamiento de las concentraciones diarias de PM₁₀ comparadas con la norma corregida a condiciones locales para 24 horas y anual. Se evidencia un pico en la muestra N° 3 que supera el nivel máximo

permisible para un periodo de exposición anual y 24 horas con una concentración de $86.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se identifica que un 77% del total de muestras sobrepasan el nivel de la norma corregida a condiciones locales para un periodo anual y un cumplimiento de las muestras en un 94% para exposición de 24 horas, siendo un 6% que incumple con los niveles máximos permisibles corregidos a condiciones locales sobrepasando para los dos periodos de exposición.

Gráfica 6 Concentración media diaria PM_{10} .



Fuente: Los Autores.

El gráfico 6 representa el comportamiento de los promedios diarios obtenidos por día de la semana, se observa que los días que registraron las mayores concentraciones de PM_{10} en el periodo de muestreo, corresponden al martes con $61,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y jueves con $56,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En cuanto a los días de menor concentración son sábado con $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y domingo con $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$; es importante mencionar que el comportamiento de este contaminante según los días de la semana puede variar debido a que la actividad productiva de la zona comercial e industrial de la localidad influye en las concentraciones de partículas en la atmósfera; sin embargo los niveles de PM_{10} no sobrepasan el límite máximo permisible de norma local diaria.

3.4.2. Comparación entre las concentraciones de PM_{10} y niveles máximos permisibles establecidos por la OMS.

Ya que existe una estrecha relación entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM_{10}) y el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo [39], se comparó el comportamiento de las concentraciones de este

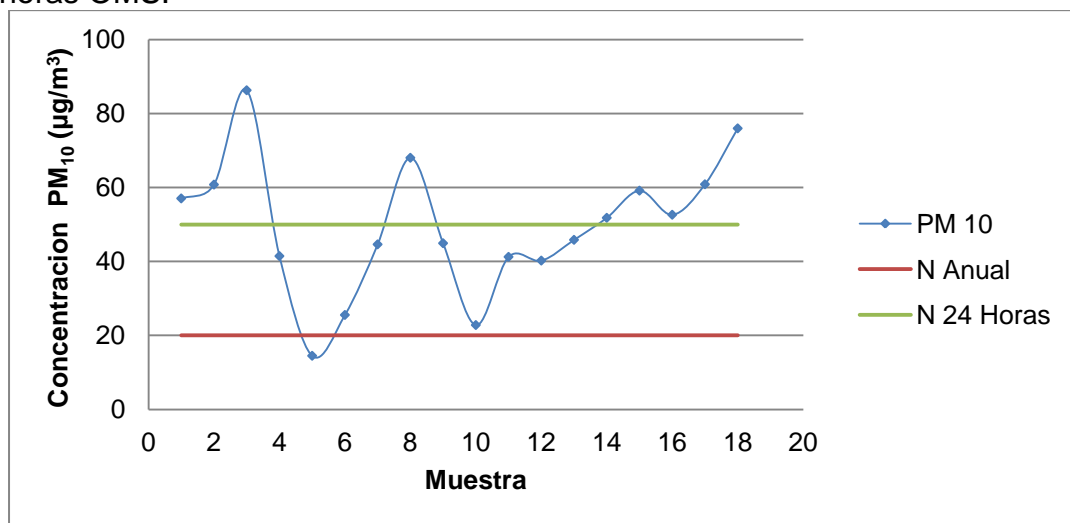
tipo de partículas presentes en la atmosfera con las concentraciones medias establecidas por la OMS en el año 2005 presentadas en la tabla 17.

Tabla 17 Concentración media PM₁₀ OMS.

Contaminante Criterio	Organización Mundial de la Salud.	
	Concentración Media (µg/m ³)	Tiempo de Exposición
PM ₁₀	20	Anual
	50	24 Horas

Fuente: [39].

Gráfica 7 Comparación concentración PM₁₀ y norma tiempo de exposición anual y 24 horas OMS.



Fuente: Los Autores.

En la gráfica 7 se observa el comportamiento de las concentraciones de PM₁₀ comparadas con la norma establecida por la Organización Mundial de la Salud para los tiempos de exposición anual y 24 horas en las que se identifica que el 50% de las muestras recolectadas sobrepasan la norma anual y para un periodo de 24 horas, un 45% se encuentra por debajo del límite establecido para un periodo de 24 horas y solo un 5% cumple con ambas concentraciones medias para este contaminante.

Según el comportamiento de las concentraciones de PM₁₀ registradas, la calidad de aire exterior representa un importante riesgo medioambiental para la salud de los habitantes aumentando los niveles de mortalidad y morbilidad [39] en la localidad de Los Mártires.

3.4.3. Comparación entre las concentraciones de PST y niveles máximos permisibles a condiciones locales.

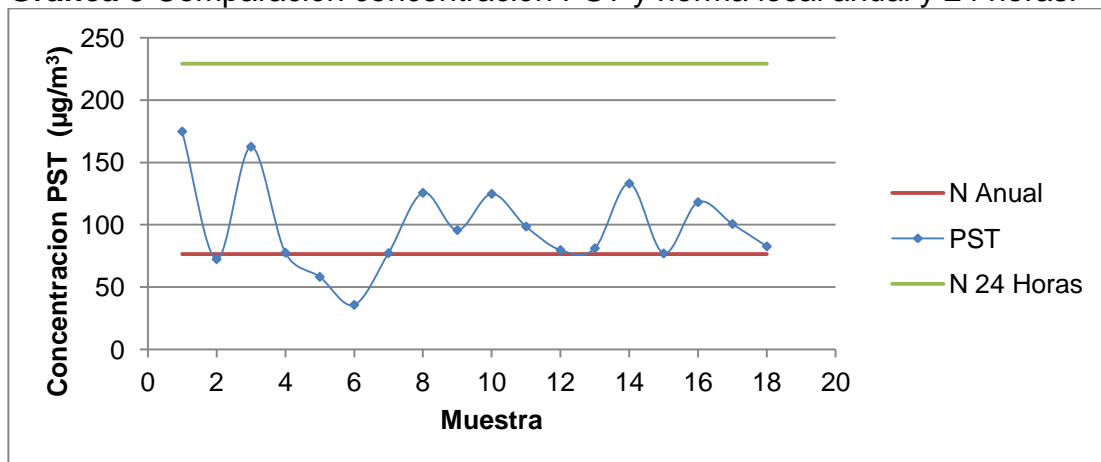
Para realizar esta comparación se corrigió la norma a condiciones locales tomando como referencia los niveles máximos permisibles para contaminante el criterio PST establecidos en la resolución 610/2010 para un tiempo de exposición anual y 24 horas (ver tabla 18).

Tabla 18 Norma PST corregida a condiciones locales.

Contaminante Criterio	Norma Corregida a Condiciones Locales	
	Nivel Máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PST	229,1	Anual
	76,4	24 Horas

Fuente: Los Autores.

Gráfica 8 Comparación concentración PST y norma local anual y 24 horas.



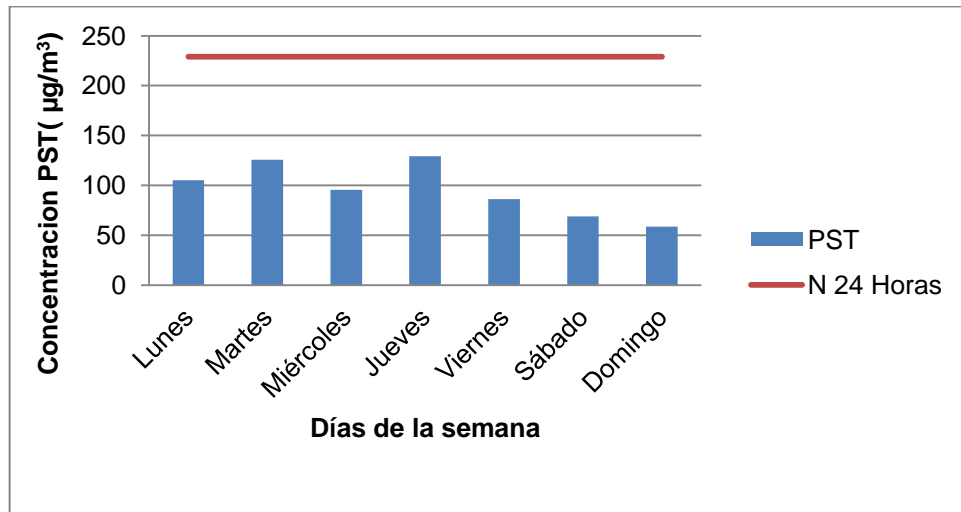
Fuente: Los Autores.

En la gráfica 8 se observan las concentraciones de PST en cada una de las muestras durante 18 días de muestreo comparadas con la norma local para un periodo de exposición anual y 24 Horas; la mayor concentración se presentó en la muestra 1 con $174,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la menor en la muestra 6 con $35,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Además se evidencia que en un 83.3% de las muestras recolectadas de PST sobrepasan la norma corregida a condiciones locales para un periodo de exposición anual y solo un 16% cumple el nivel establecido para este periodo. Por otro lado respecto al tiempo de exposición de 24 un 100% de las muestras se encuentra por debajo del nivel permisible.

Posteriormente se analizó el comportamiento de las concentraciones de PST con relación a los días de la semana (lunes a domingo) correspondientes al periodo de muestreo, para ello fueron agrupados los promedios diarios por cada uno de los días de la semana como se observa en la gráfica 9.

Gráfica 9 Concentración media diaria PST.



Fuente: Los Autores.

El gráfico 9 representa el comportamiento de los promedios diarios obtenidos por día de la semana, se observa que los días que registraron las mayores concentraciones de PM_{10} en el periodo de muestreo, corresponden al jueves con $129,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y martes con $125,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En cuanto a los días de menor concentración son el domingo con $58,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y sábado con $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$; es importante mencionar que el comportamiento de este contaminante según los días de la semana puede variar, ya que la actividad productiva de la zona comercial e industrial de la localidad influye en las concentraciones de partículas en la atmósfera; sin embargo los niveles de PST no sobrepasan el límite máximo permisible de norma local diaria.

3.4.4. Índice de Calidad del Aire.

El Índice de Calidad del Aire (ICA) permitió comparar los niveles de contaminación determinados del contaminante PM_{10} , este corresponde a una escala numérica a la cual se le asigna un color establecido entre un rango el cual determina los efectos en la salud de la población.

Tabla 19 Clasificación de la calidad del aire.

INDICE CALIDAD DEL AIRE	
ICA	CLASIFICACIÓN
0-50	Buena
51-100	Moderada
101-150	Desfavorable
151-200	Muy Desfavorable
201-300	Peligrosa
301-500	Muy Peligrosa

Fuente: [53]

El ICA se calculado a partir de la siguiente ecuación, que corresponde a la metodología utilizada por la US-EPA:

$$I_p = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} (C_p - BP_{LO}) + I_{LO} \quad (6)$$

Dónde:

I_p = Índice para el contaminante p.

C_p = Concentración medida para el contaminante p.

BP_{HI} = Punto de corte mayor o igual a C_p .

BP_{LO} = Punto de corte menor o igual a C_p .

I_{HI} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{HI} .

I_{LO} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{LO} .

- **Índice Anual de PM_{10} .**

Para determinar el ICA se tuvo en cuenta la concentración media de material particulado registrada durante el periodo de muestreo correspondiente teniendo este valor se observa en el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire los respectivos puntos de corte 155 (BP_{LO}) y 254 (BP_{HI}) y los índices de calidad del aire. Posteriormente se aplica la formula arrojando como resultado el índice para el contaminante.

El ICA anual para la localidad es de 71.2, con este valor se determinó la calidad del aire como desfavorable para grupos sensibles, según esta clasificación existe un incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios, tales

como opresión en el pecho y asma, es decir que en los establecimientos académicos, los niños que toman sus clases en periodos de 6 horas de lunes a viernes están expuestos a las condiciones de la calidad del aire que presenta la localidad y pueden presentar casos de enfermedades respiratorias, igualmente a los adultos mayores de 60 años que habitan los hogares geriátricos presentes hacia el sur de la localidad.

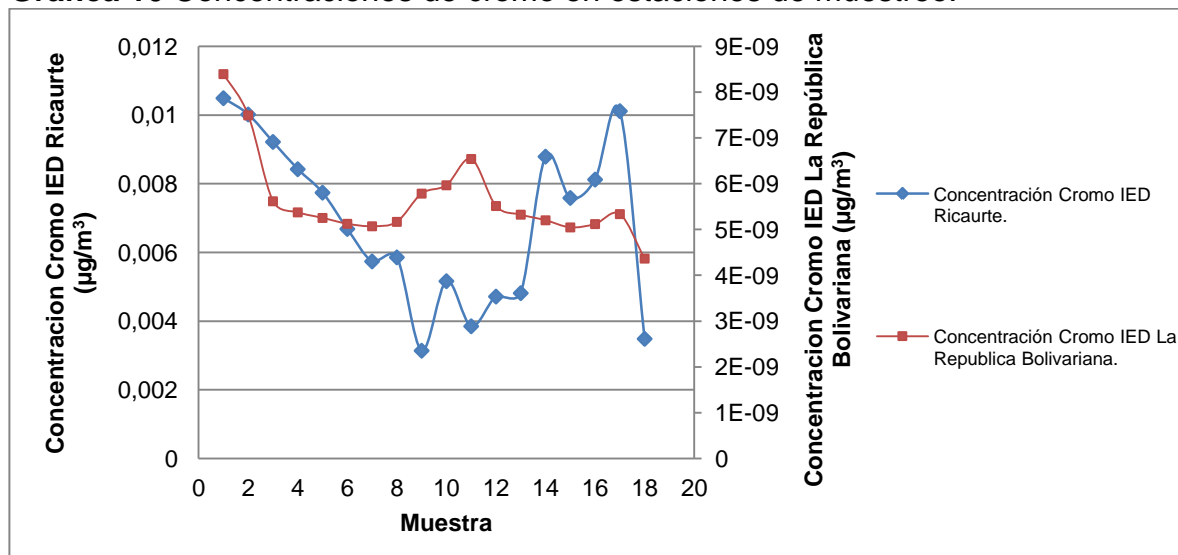
- **Índice 24 Horas**

Al hallar el ICA para un periodo de 24 horas la calidad se clasifica como desfavorable ya que el valor es de 142.4, con este valor se determinó que los niños y niñas menores de 12 años con antecedentes de 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 presentan mayor probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como irritación de mucosas, dolor de cabeza, además de posibles enfermedades cardiovasculares.

3.5. Análisis de concentraciones de cromo

Para la determinación de las concentraciones de cromo se enviaron al Laboratorio Académico de la Universidad de la Salle 18 muestras de PM₁₀ recolectadas en la estación IED Ricaurte y 18 de PST en la estación IED La República Bolivariana de la localidad de Los Mártires, allí se empleó la metodología IO-3.5 para la determinación de metales en partículas utilizando plasma de acoplamiento inductivo (ICP/MS) ver anexo 5.

Gráfica 10 Concentraciones de cromo en estaciones de muestreo.



Fuente: Los Autores.

En la gráfica 10 se observan las concentraciones de las muestras obtenidas en la

estación IED Ricaurte donde se evidencia que la mayor concentración de cromo corresponde a la muestra 1 con un valor de $0.010 \mu\text{g}/\text{m}^3$ disminuyendo hasta la muestra 9 con un valor de 0.003 siendo esta la menor concentración detectada en el análisis, finalmente estas presentan un comportamiento creciente hasta la muestra 17 y desciende considerablemente en la muestra 18 recolectada.

También se observa que las concentraciones arrojadas mediante el método analítico en las muestras de la estación IED La República Bolivariana, presentan un comportamiento más uniforme durante el periodo de muestreo en un rango de $0.004 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0.008 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Haciendo un análisis con el marco legal correspondiente se evidencia que las concentraciones de cromo detectadas cumplen con las normas internacionales establecidas por la EPA y la OMS ya que el valor establecido es $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por exposición y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por emisión de industrias respectivamente.

Finalmente se puede concluir que aunque se detectaron bajas concentraciones de cromo durante el periodo de muestreo, se demostró con la estimación de emisión de cromo por fuentes móviles que los mayores niveles de este metal se encuentran en la atmósfera hacia la parte occidental de la localidad, donde transitan en mayor cantidad automóviles y motocicletas sobre la Carrera 30 entre las calles 6ª y calle 13, zona de la localidad que coincide con el lugar de instalación de la estación de muestreo IED Ricaurte la cual recolecto las muestras de material particulado con los niveles más altos de cromo detectados.

3.6. Correlación Estadística

El análisis estadístico se realizó para determinar las relaciones entre variables que son objeto de estudio, esto con el fin de identificar el comportamiento entre un conjunto de todas las variables, en el presente estudio se analiza la relación de las concentraciones de PM_{10} , PST y cromo con factores meteorológicos influyentes en la dispersión o retención de dichas concentraciones por medio del coeficiente de Spearman o Pearson según sea el caso.

Para la implementación de la prueba estadística de Spearman o Pearson, primero se identificó que las variables a analizar fueran de tipo nominal u ordinal, luego se analizó con la prueba de Shapiro Wilk que las variables de concentraciones fueran normales o no normales en cuanto a su distribución; para datos normales se debe asumir el coeficiente de Pearson y para datos no paramétricos es decir con una distribución no normal con el método de correlación Spearman para que estadísticamente sea válida la relación entre las variables.

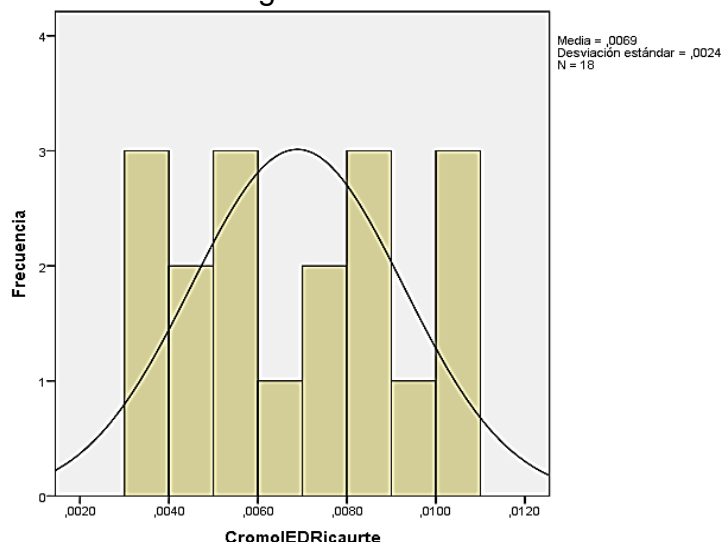
3.6.1. Correlación Cromo, PST y PM_{10} con factores meteorológicos.

Se analizó la posible influencia de factores meteorológicos a las concentraciones de cromo, PST y PM_{10} para los datos obtenidos en cada estación de muestreo.

3.6.1.1. Correlación Cromo y PM₁₀ IED Ricaurte con factores meteorológicos.

Para las concentraciones de cromo se aplicó la prueba de normalidad Shapiro Wilk para determinar la distribución de los datos, en la gráfica 11 se puede observar el comportamiento de esta variable según el programa SPSS.

Gráfica 11 Histograma de cromo IED Ricaurte.



Fuente: Los Autores.

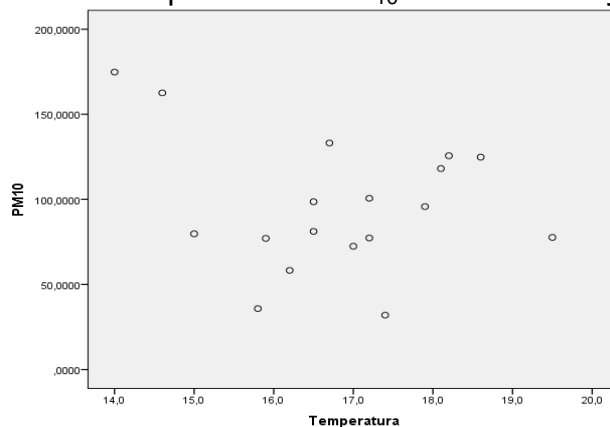
En el histograma presentado en la gráfica 11 podemos observar que las concentraciones de cromo analizadas en el material particulado PM₁₀ no presentan una normalidad, ya que estas no siguen una distribución normal de la campana de Gauss, se demostró numéricamente con la prueba de Shapiro Wilk que indica una significancia de 0,37 ($p < 0,05$) Ver Tabla 20, es decir que los datos no son paramétricos y presentaron datos atípicos con una tendencia indefinida.

Tabla 20 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk para cromo IED Ricaurte.

Prueba de Normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cromo IED Ricaurte	,116	18	,200*	,947	18	,377

Fuente: Los Autores.

Gráfica 12 Dispersión de PM₁₀ IED Ricaurte y T°



Fuente: Los Autores

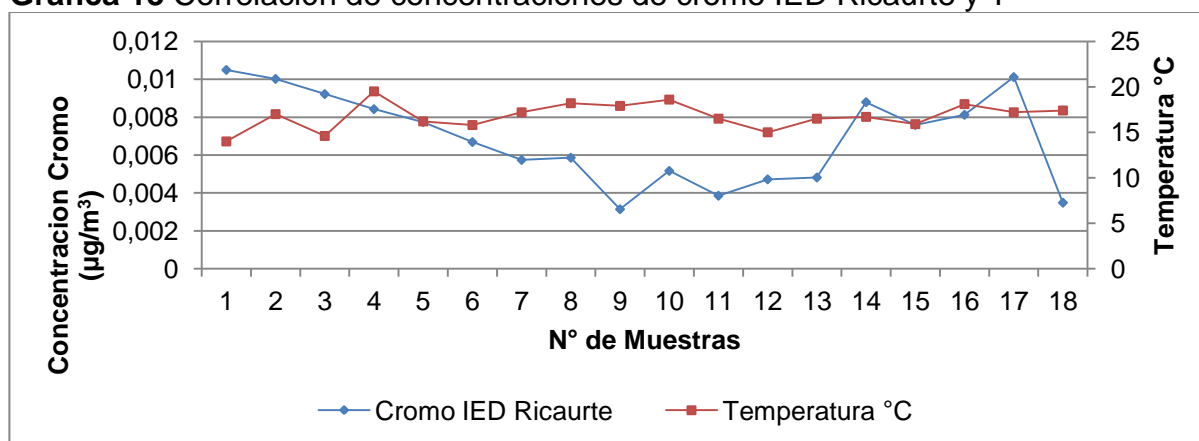
Se observa en la gráfica 12 que la dispersión de los datos no presenta una tendencia definida, lo que indica inicialmente que estos no se relacionan además se demostró estadísticamente por medio de Spearman ver tabla 21 que no existe relación ($p < 0,05$) entre las concentraciones de PM₁₀ con la Temperatura y las concentraciones de cromo con la temperatura

Tabla 21 Datos de correlación estadística de PM₁₀ y cromo IED Ricaurte con temperatura.

CONTAMINANTE	Spearman	Temperatura
PM ₁₀	coeficiente	0,9
	Significancia	-0,009
Cromo IED Ricaurte	coeficiente	-0,22
	Significancia	0,38

Fuente: Los Autores

Gráfica 13 Correlación de concentraciones de cromo IED Ricaurte y T°

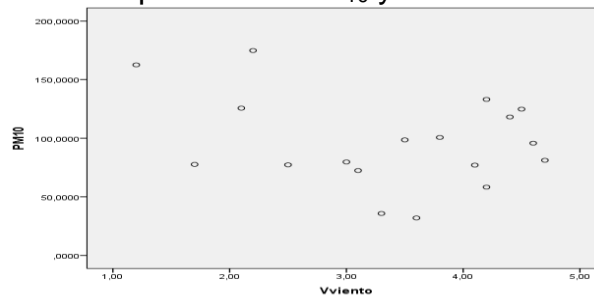


Fuente: Los Autores

Se observa que la temperatura presenta un comportamiento variable, presentando la mayor temperatura el día de la muestra 4 con 19.5 °C y la menor en el día en que se realizó la muestra 1 con 14°C. Probablemente porque que la estabilidad térmica atmosférica no tuvo incidencia sobre las concentraciones de los contaminantes presentes en la localidad.

- **Velocidad del viento**

Gráfica 14 Dispersión de PM₁₀ y velocidad de viento



Fuente: Los Autores

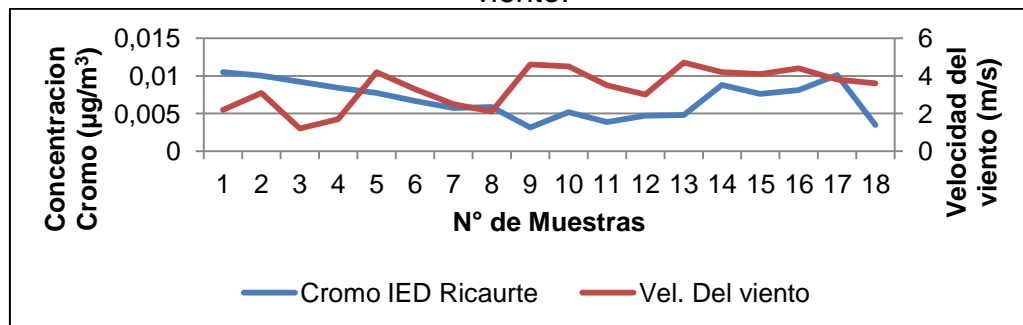
La gráfica de dispersión demuestra que los datos no presentan una relación y además se comprobó numéricamente con el coeficiente de Spearman (Ver tabla 22) que la relación es finalmente nula.

Tabla 22 Datos de correlación estadística de PM₁₀ y cromo IED Ricaurte con velocidad del viento.

CONTAMINANTE	Spearman	V. viento
PM ₁₀	coeficiente	-0,095
	Significancia	0,708
Cromo IED Ricaurte	coeficiente	-0,351
	Significancia	0,15

Fuente: Los Autores

Gráfica 15 Correlación de concentraciones de cromo IED Ricaurte y velocidad del viento.

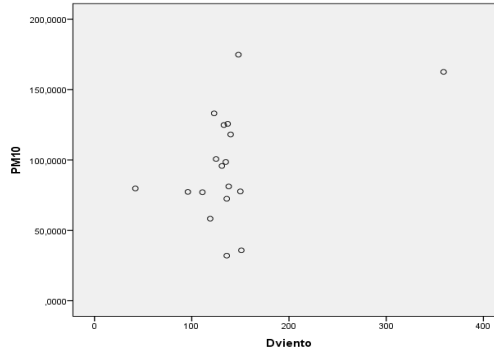


Fuente: Los Autores.

Se evidencian en la gráfica 15 las velocidades promedio de viento para cada uno de los días de muestreo en donde se presenta el valor máximo con 5.1 y el mínimo de 1.2m/s. Pero según la escala de Beaufort se clasifican como leves [54], indicando que el viento en este caso no tiene una incidencia significativa sobre el comportamiento de los niveles de las partículas contaminantes en el aire.

- **Dirección del Viento.**

Gráfica 16 Dispersión de PM₁₀ y dirección del viento



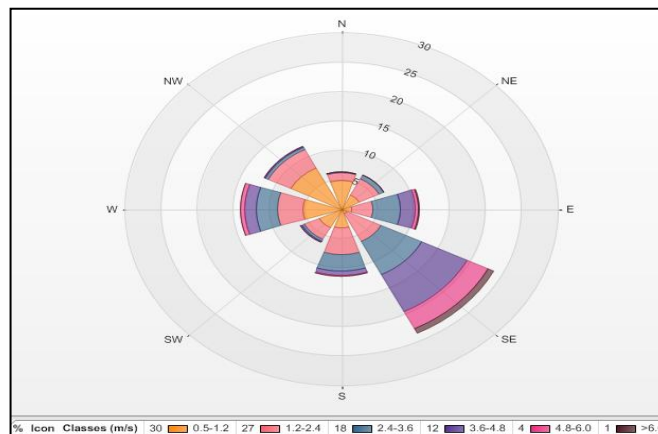
Fuente: Los Autores

Tabla 23 Datos de correlación estadística de PM₁₀ y cromo IED Ricaurte con dirección del viento.

CONTAMINANTE	Spearman	Dir. Viento.
PM ₁₀	Coficiente	0,225
	Significancia	0,369
Cromo IED Ricaurte	Coficiente	-0,093
	Significancia	0,71

Fuente: Los Autores

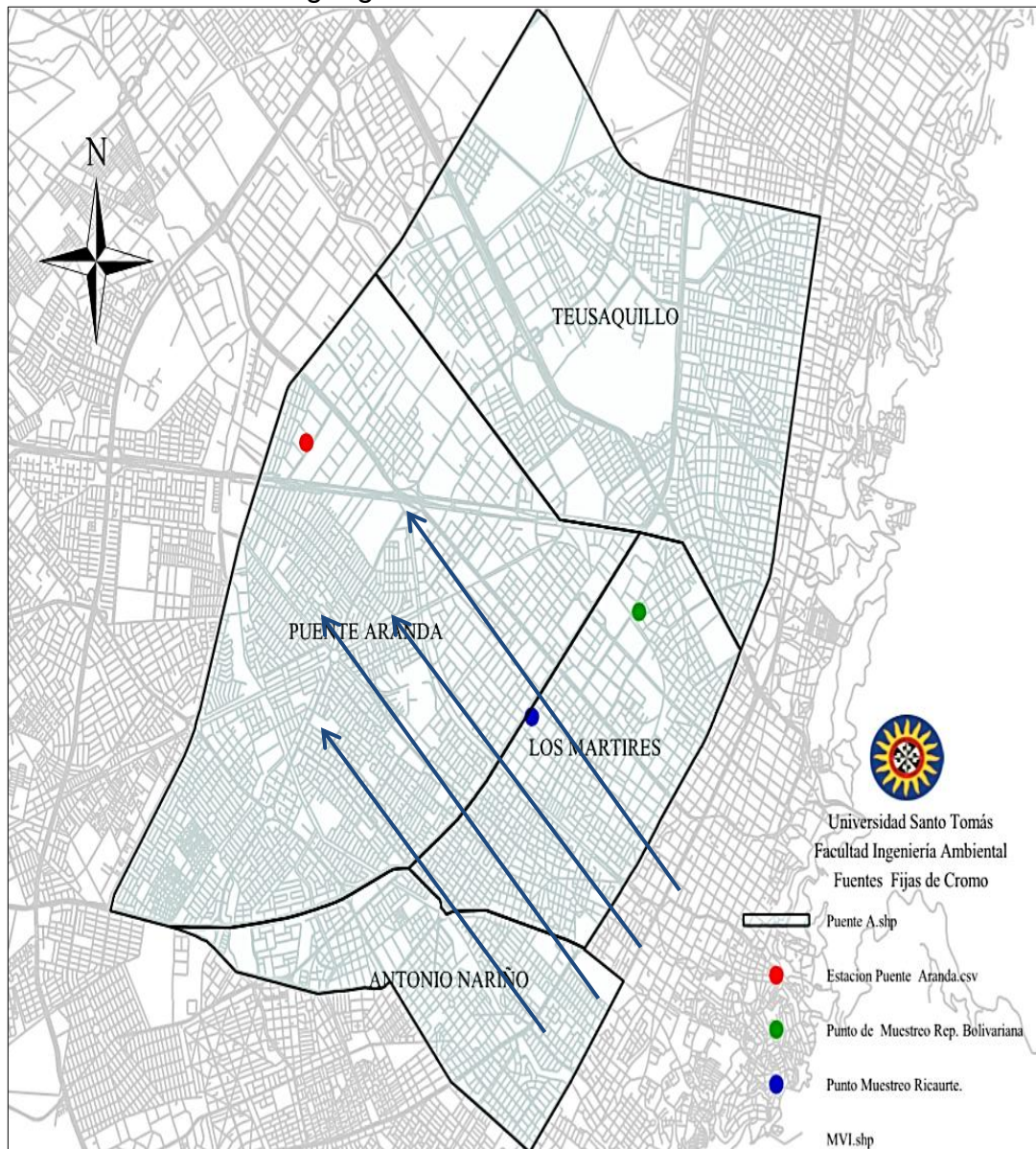
Ilustración 10 Rosa de vientos localidad Puente Aranda.



Fuente: [55].

Según la gráfica 16 y la tabla 23 del coeficiente de Spearman indican que no existe ninguna relación entre las variables, por lo que en la rosa de los vientos de la localidad de Puente Aranda en la ilustración 11, 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 atmósfera.

Ilustración 11 Ubicación geográfica estación de Puente Aranda.



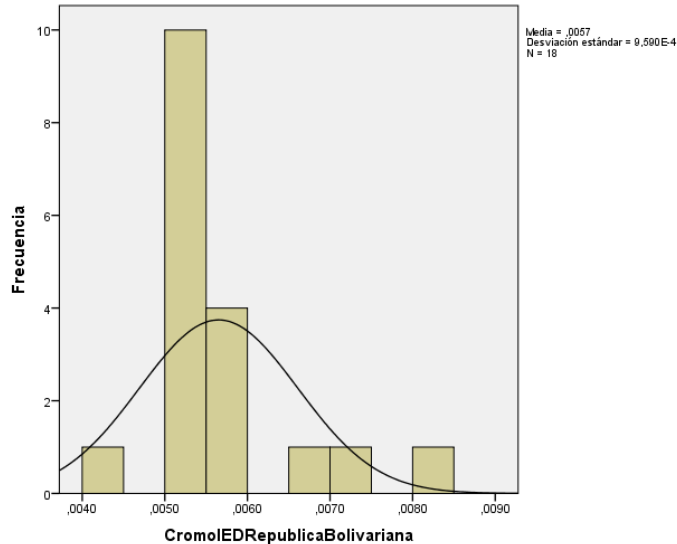
Fuente: Los Autores.

En la ilustración 11 se presenta la ubicación de estación de Puente Aranda la cual es seleccionada para el uso de datos reportados, teniendo en cuenta la distancia de localización a la localidad de Los Mártires.

3.6.1.2. Correlación de PM₁₀ y Cromo IED República Bolivariana con Factores Meteorológicos.

- **Temperatura**

Gráfica 17 Histograma cromo IED República Bolivariana.



Fuente: Los Autores.

En el histograma de la gráfica 17 podemos observar que las concentraciones de cromo analizadas en muestras de material particulado PST son paramétricas o normalizadas, pues estas tienen un comportamiento de campana de Gauss platicúrtica con una tendencia hacia la derecha que nos muestra que los datos en las últimas muestras tomadas fueron constantes.

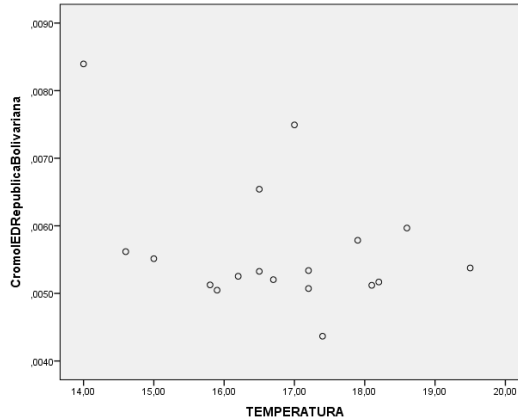
Tabla 24 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cromo IED República Bolivariana	,236	18	,009	,784	18	,001

Fuente: Los Autores.

La normalidad anteriormente dicha se demuestra numéricamente con la prueba de Shapiro Wilk con un valor de 0,001 ($p < 0,05$), indicando así que estos tienen una tendencia definida haciendo necesaria la correlación el uso de la prueba de Pearson.

Gráfica 18 Dispersión de cromo IED República Bolivariana y T°



Fuente: Los Autores.

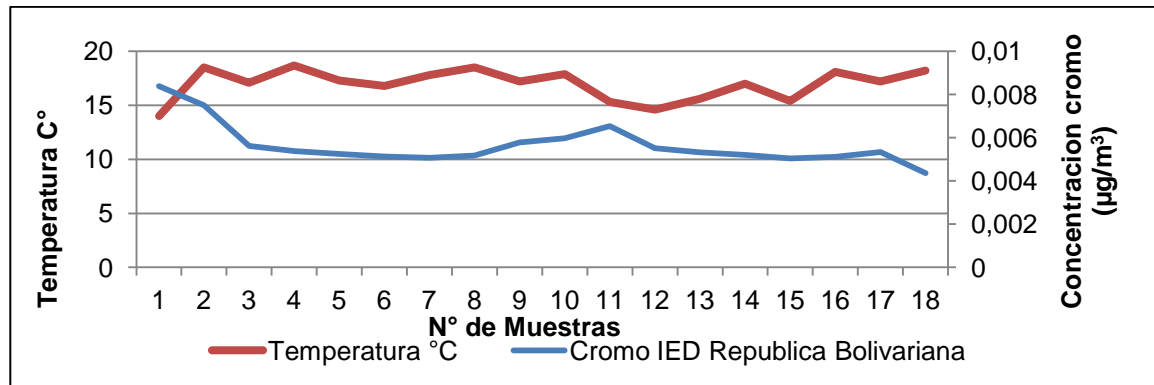
Se observa que la dispersión en la gráfica 18 los datos presentan una tendencia constante indicando que estos no se relacionan, además se demuestra numéricamente por medio de Pearson en la tabla 25 que no existe relación ($p < 0,05$) entre las concentraciones de cromo con la temperatura.

Tabla 25 Datos de correlación estadística de PST y Cromo IED República Bolivariana con Temperatura

CONTAMINANTE	Pearson	Temperatura
PST	coeficiente	-0,158
	Significancia	0,53
Cromo IED República Bolivariana	coeficiente	-0,35
	Significancia	0,14

Fuente: Los Autores.

Gráfica 19 Correlación de concentraciones de cromo IED República Bolivariana y T°

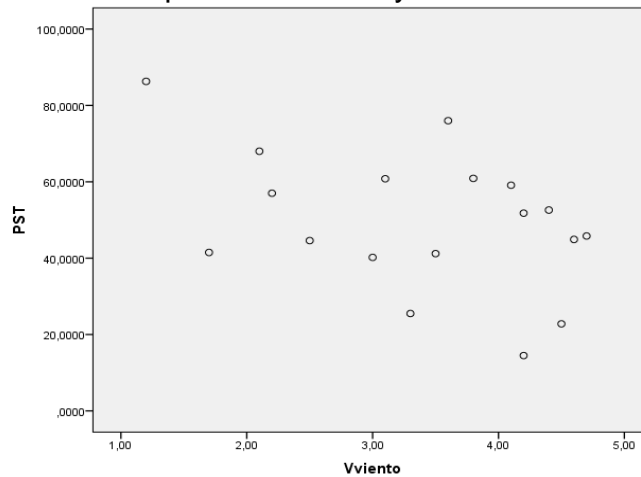


Fuente: Los Autores.

En la gráfica 19 se presenta la mayor temperatura el día de la muestra 4 con 18,7°C y la menor el día de la muestra 1 con 14°C; se observó en la tabla 25 que no existe relación entre los parámetros y las temperatura no tuvo incidencia en el comportamiento de las concentraciones de cromo durante el periodo de muestreo.

- **Velocidad del viento**

Gráfica 20 Dispersión de PST y Velocidad de viento



Fuente: Los Autores.

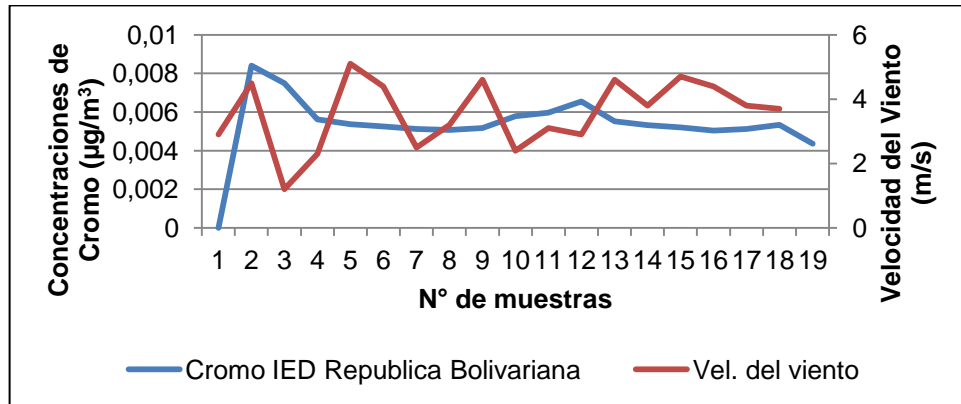
Tabla 26 Datos de correlación estadística de PM₁₀ y cromo IED Ricaurte con velocidad del viento.

CONTAMINANTE	Pearson	V. viento
PST	coeficiente	-0,42
	Significancia	0,077
Cromo IED Ricaurte	coeficiente	-0,224
	Significancia	0,37

Fuente: Los Autores

Para comprobar que no hay una tendencia como se muestra en la gráfica 20 se aplica el coeficiente de Pearson (Ver tabla 26) para soportar numérica y estadísticamente esta condición entre las variables.

Gráfica 21 Correlación de concentraciones de cromo IED República Bolivariana y velocidad del viento.

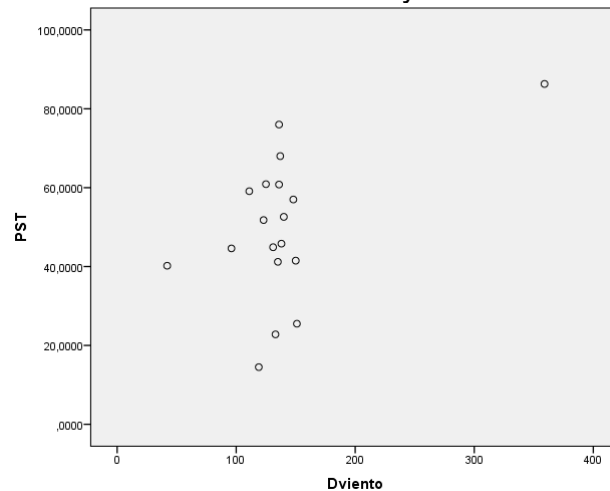


Fuente: Los Autores

Se observa claramente en la gráfica 21 que la velocidad en la que se encuentren los vientos no es un factor influyente para en el comportamiento del material particulado y tampoco un factor responsable del aumento o retención del cromo en la atmosfera por el que se verían afectadas las personas.

- **Dirección del Viento**

Gráfica 22 Concentraciones PST y dirección del viento.



Fuente: Los Autores.

Tabla 27 Datos de correlación estadística de PST y cromo IED Ricaurte con velocidad del viento.

CONTAMINANTE	Pearson	Dirección del viento
PST	coeficiente	0,49
	Significancia	0,037
Cromo IED Ricaurte	coeficiente	0,054
	Significancia	0,83

Fuente: Los Autores.

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 (Ver tabla 27), 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.

3.7. Análisis y Correlación de concentraciones de cromo con casos de enfermedades respiratorias

Se determinó la correlación entre las concentraciones de cromo del IED Ricaurte y cromo IED República Bolivariana determinadas en laboratorio (Anexo 5) con los casos de Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA) de los grupos etareos atendidos en el hospital Centro Oriente durante el periodo de muestreo.

Esta correlación se llevó a cabo empleando el software estadístico SPSS, que proporciona el análisis estadístico de la prueba de inferencia de Spearman y Pearson que permite identificar la posible existencia de una relación entre las variables de estudio, además permite la aplicación del test de Shapiro Wilk para la determinación de normalidad de la muestra poblacional e identifica la correlación a partir del comportamiento gráfico.

La información de los casos reportados por ERA se obtuvo del “boletín epidemiológico mensual de la relación entre calidad de aire, ruido y salud” para los meses de mayo y junio del 2014.

3.7.1. Salud en grupos etarios.

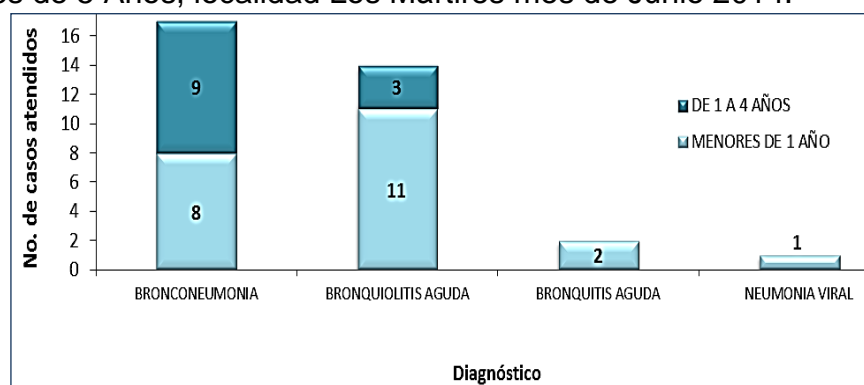
Para la atención de Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) en la localidad, se han implementado salas ERA en diferentes zonas del Distrito, prioritariamente en aquellas de mayor vulnerabilidad, y de mayores problemas de acceso a los servicios de salud para la atención de casos, entre ellas La Perseverancia y Jorge Eliecer Gaitán ubicadas en la localidad Santa Fe y Samper Mendoza, ubicada en la localidad de Los Mártires, estas ofrecen la prestación de servicios de salud de primer y segundo nivel de complejidad, sus servicios, aportan a la solución de las

necesidades de la población asignada y contribuyen al mejoramiento de los determinantes sociales en salud. [56]

3.7.1.1. Niños menores de 5 años.

El comportamiento de la ERA tanto de vías aéreas superiores como inferiores en niños menores de cinco años allí atendidos en junio de 2014 se muestra en la gráfica 23, encontrándose que bronconeumonía y bronquiolitis aguda son los diagnósticos más frecuentes contribuyendo en 41,5% (17 casos) y 34,1% (14 casos) respectivamente, a las 41 consultas realizadas en el período. [56]

Gráfica 23 Primeras causas de consulta por ERA en hospitalización y urgencias en menores de 5 Años, localidad Los Mártires mes de Junio 2014.



Fuente: [56].

3.7.1.2. Adultos mayores de 60 años.

En la sede asistencial Samper Mendoza, según la revisión de los Registros Individuales de Prestación en Servicios de Salud (RIPS) correspondientes, durante el mes de junio de 2014 se atendieron 12 pacientes mayores de 60 años con Enfermedad Respiratoria de los cuales 11 diagnósticos correspondieron a Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). [56]

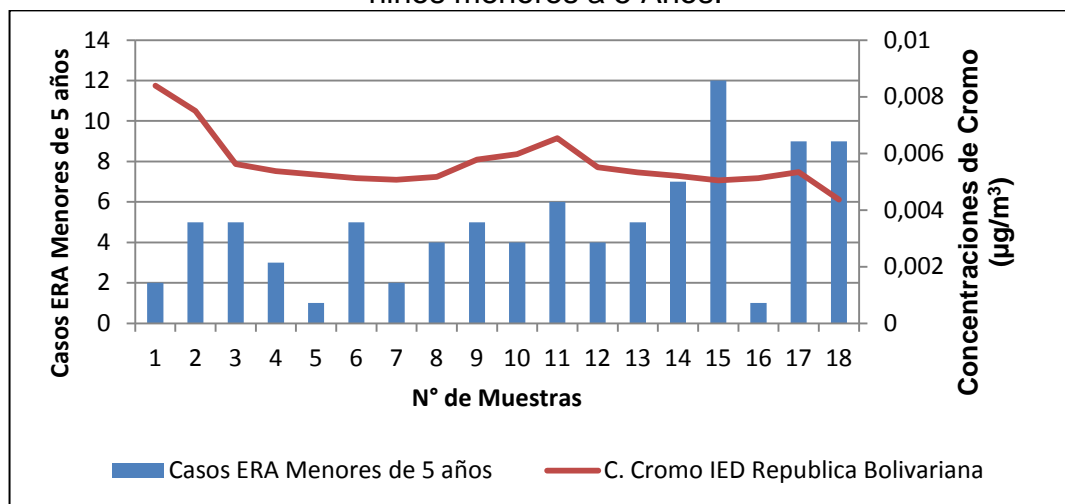
3.7.2. Correlación concentraciones de cromo IED República Bolivariana y casos de ERA para niños menores de 5 años.

Tabla 28 Correlación concentraciones de cromo IED República Bolivariana y ERA en niños menores a 5 años

METAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	NIÑOS MENORES DE 5 AÑOS
Cromo IED República Bolivariana	Pearson	-0.131
	Significancia	0.6

Fuente: Los Autores.

Gráfica 24 Relación concentraciones cromo IED República Bolivariana y ERA niños menores a 5 Años.



Fuente: Los Autores.

Según la prueba de inferencia de Pearson en la tabla 28 aplicada a los resultados en nivel de significancia, se identifica que no existe correlación entre las concentraciones de cromo y las enfermedades respiratorias de los niños menores de 5 años para el periodo de tiempo muestreado, esto podría deberse a que los niveles traza determinados en el material particulado se encuentran a niveles inferiores establecidos por la norma lo que indica que no hay una afectación para los menores de 5 años de la localidad.

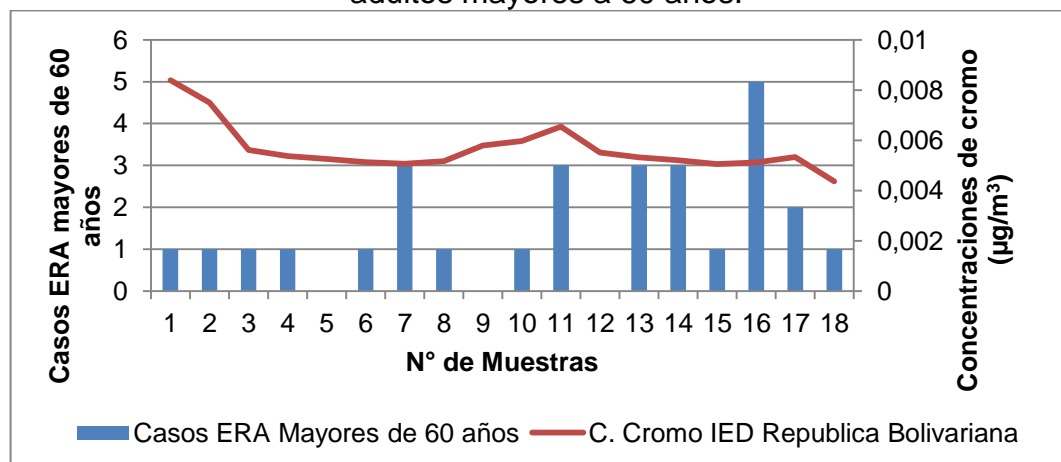
3.7.3. Correlación concentraciones de cromo IED República Bolivariana y casos de ERA para adultos mayores de 60 años.

Tabla 29 Correlación concentraciones de cromo IED República Bolivariana y ERA en adultos mayores de 60 años

METAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	ADULTOS MAYORES DE 60 AÑOS
Cromo IED República Bolivariana	Pearson	-0,24
	Significancia	0.33

Fuente: Los Autores.

Gráfica 25 Relación concentraciones de cromo IED República Bolivariana y ERA adultos mayores a 60 años.



Fuente: Los Autores.

El coeficiente de correlación en la tabla 29 arroja un resultado mayor a (0.05) es decir no hay correlación entre las variables esto puede atribuirse a que en la zona de muestreo es poco residencial y que debido a la actividad industrial y comercial la cantidad de adultos mayores a 60 presente en esta parte de la localidad es mínima. No obstante los niveles de concentraciones son bajos para este periodo de tiempo sin embargo no se descarta que las concentraciones presenten daños adversos en los adultos en un tiempo determinado días después a la exposición a cromo.

3.7.4. Correlación concentraciones de cromo IED Ricaurte y casos de ERA para menores de 5 años.

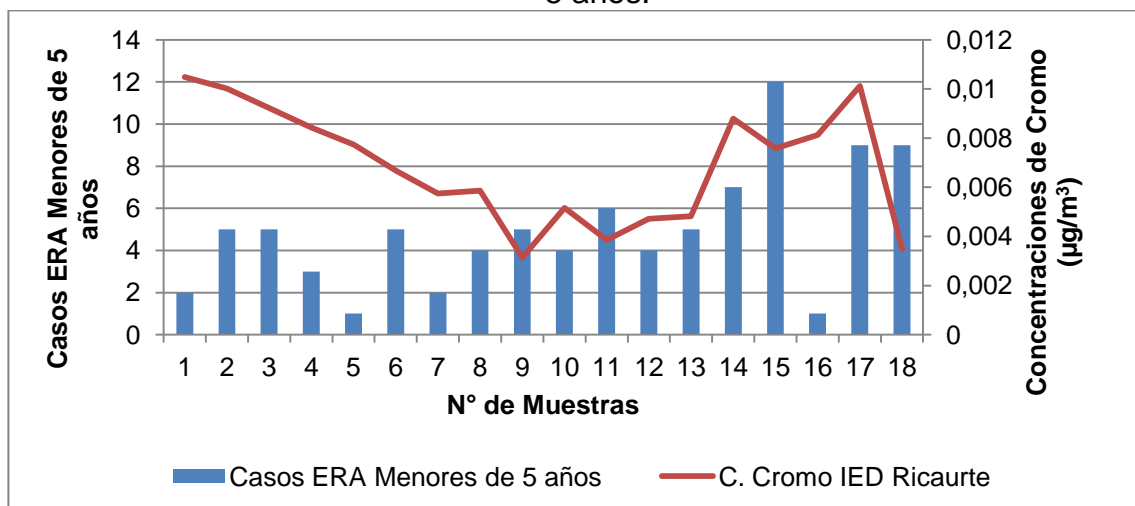
Tabla 30 Correlación concentraciones de cromo IED Ricaurte y ERA en niños menores a 5 años

METAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	NIÑOS MENORES DE 5 AÑOS
Cromo IED Ricaurte	Spearman	-0.218
	Significancia	0.38

Fuente Los Autores.

Se corrobora con el coeficiente de Spearman (Ver tabla 30) que no hay una correlación por lo que podemos decir que los niños del colegio Ricaurte no presentan ningún peligro, pues los niveles de cromo son muy bajos y estos no causan efectos negativos en la salud de los niños.

Gráfica 26 Relación concentraciones cromo IED Ricaurte y ERA niños menores a 5 años.



Fuente: Los Autores.

Se observa en la gráfica 26 que los casos de ERA que se reportaron en menores de 5 años fueron 89 de los cuales el mayor número de casos atendidos fueron 12 correspondiente al día martes probablemente porque las concentraciones para los días lunes siempre fue mayor que las demás concentraciones y el de menor número de casos fue igual a 1 los días de muestreo 5 y 16 correspondiente a los días sábado y miércoles respectivamente, asociando esto a que son días en los que las personas normalmente están en casa.

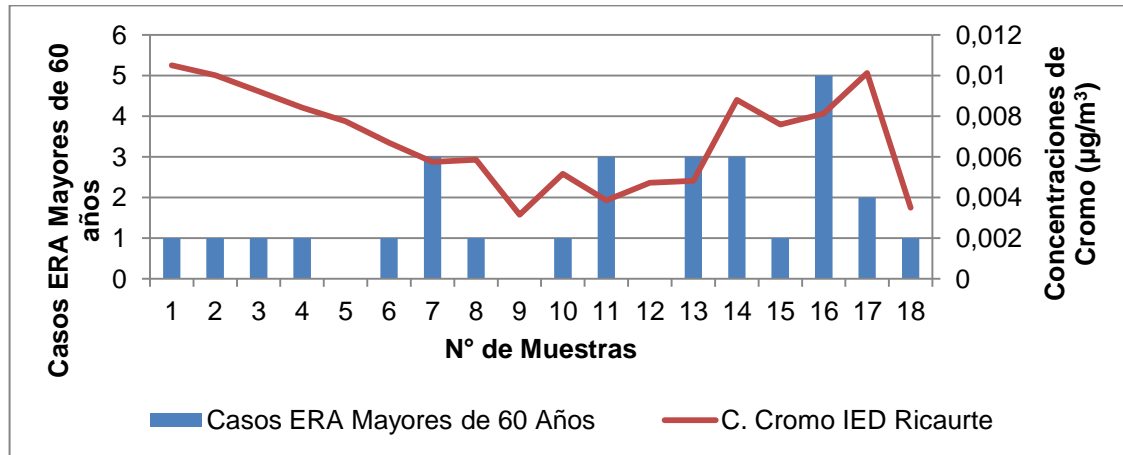
3.7.5. Correlación con concentraciones de cromo IED Ricaurte y casos de ERA para mayores de 60 años.

Tabla 31 Correlación concentraciones de cromo IED Ricaurte y ERA en adultos mayores de 60 años

METAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	ADULTOS MAYORES DE 60 AÑOS
CROMO Estación IED Ricaurte	Spearman	0.156
	Significancia	0.537

Fuente Los Autores.

Gráfica 27 Relación concentraciones Cromo IED Ricaurte y ERA Adultos mayores a 60 Años.



Fuente: Los Autores.

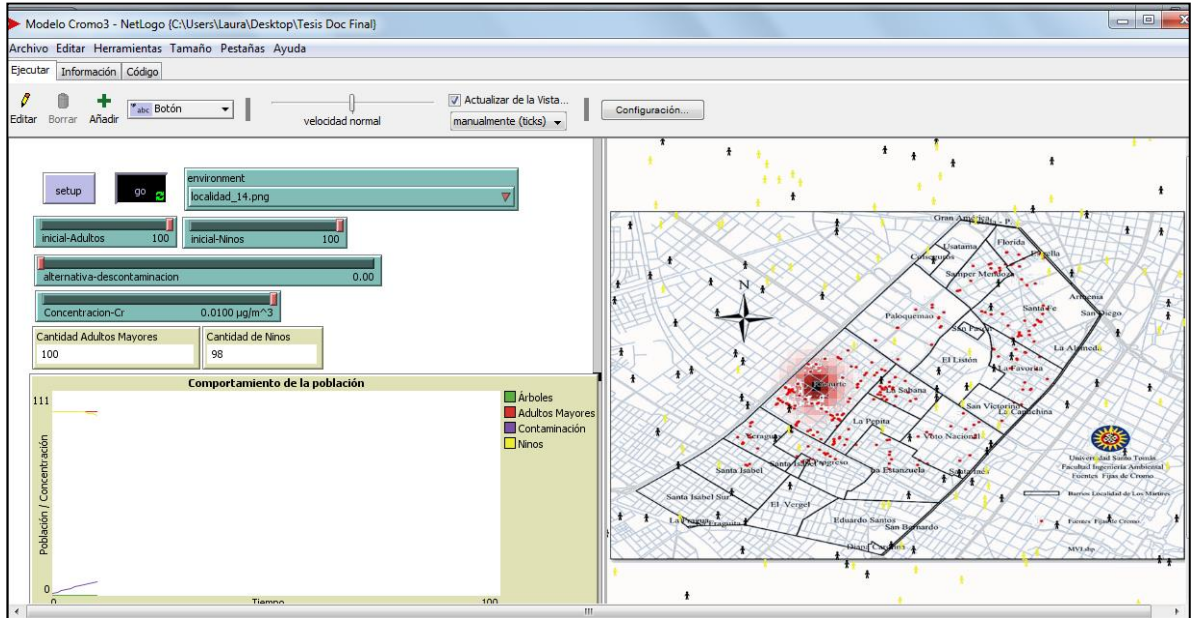
Con base en coeficiente de Spearman en la tabla 31 se observa que no existe una relación por lo tanto se concluye que los niveles de cromo para la IED Ricaurte no son un factor influyente en las enfermedades respiratorias atendidas durante el periodo de muestreo.

3.8. Modelo dinámico calidad del aire.

Se desarrolló el modelo dinámico en el software NetLogo el cual permitió representar de manera gráfica el efecto de las concentraciones de cromo contenido en material particulado sobre la población en diferentes periodos de exposición ver tabla 32, con el uso de este, se puede explorar el comportamiento de las poblaciones a través del tiempo a medida que interactúan de forma dinámica con la concentración presente en la atmosfera.

El principal efecto que muestra el modelo, es la cantidad de casos de enfermedades respiratorias generadas en adultos mayores y niños. En la ilustración 12 se puede observar la imagen de la vista principal en NetLogo Anexo 6.

Ilustración 12 Ejecución modelo calidad de aire.



Fuente: Los Autores

Para modelar el comportamiento de las concentraciones de cromo en la localidad se tuvo en cuenta que las personas (Control deslizante inicial-Adultos con un máximo de 100 e inicial-Niños con un máximo de 100 niños) están expuestas a la contaminación emitida por las diferentes fuentes fijas y móviles afectándolas negativamente lo que reduce el funcionamiento del sistema respiratorio, variando los niveles en un rango de concentraciones encontrados durante el periodo de muestreo (Control deslizante Concentración Cr). Todas las celdas de la cuadrícula tienen algún valor de contaminación. La Contaminación se difunde a través de la red, por lo que cada acción de rejilla parte de su valor de contaminación con sus celdas vecinas. Dado que la contaminación se fija en una alta cantidad de industrias, esto tiene el efecto de que la contaminación emana del área con mayor proporción de fuentes.

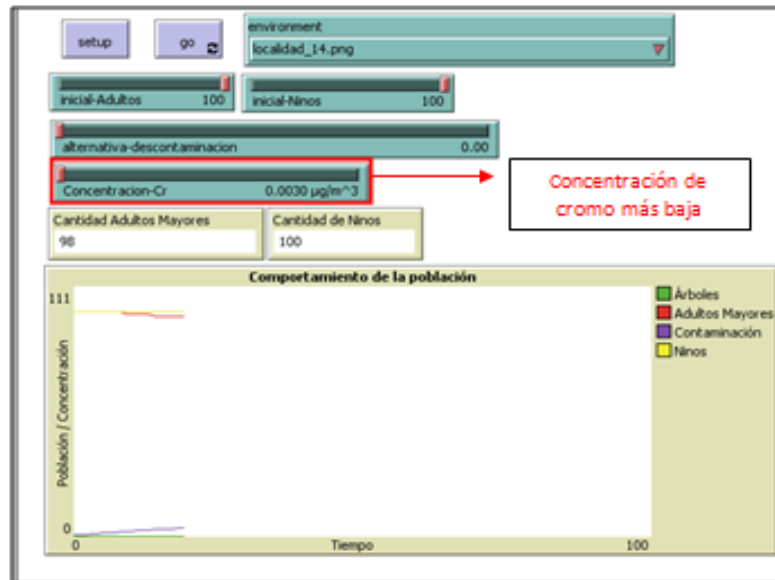
Las concentraciones de cromo tienen una incidencia significativa con respecto al tiempo como se muestra en la tabla 32. El tiempo de exposición determina la gravedad de las enfermedades respiratorias, estas se clasifican en aguda, intermedias y crónicas.

Tabla 32 Efecto en la salud por tiempo de exposición.

Tipo de Enfermedad	Tiempo
Aguda	<= 14 Días
Intermedia	15 Días a 6 Meses.
Crónica	>1 Año.

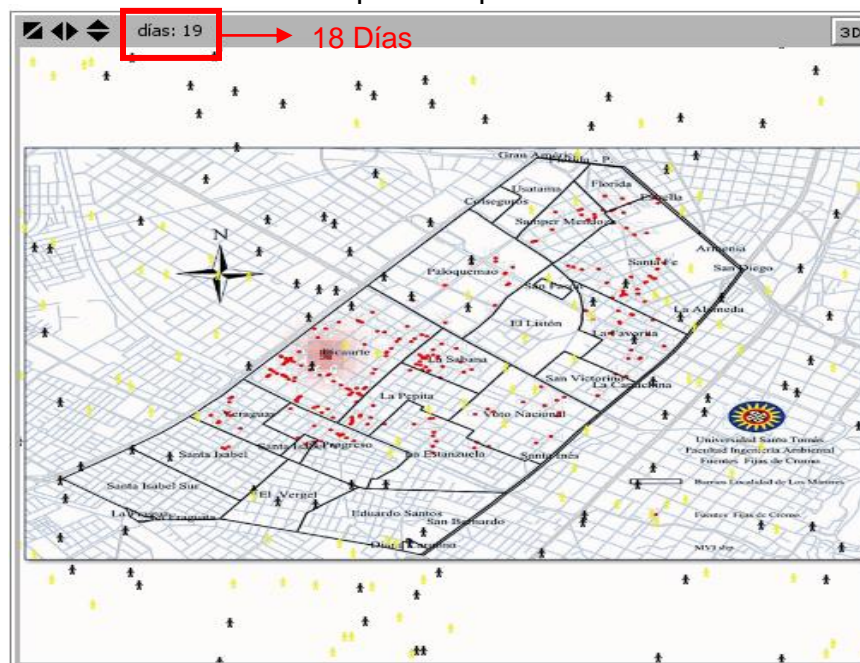
Fuente: [57]

Ilustración 13 Modelo en NetLogo con la concentración más baja de cromo en un periodo de exposición de 18 días.



Fuente: Los Autores

Ilustración 14 Demostración gráfica del comportamiento poblacional respecto al cromo en un tiempo de exposición de 18 días.



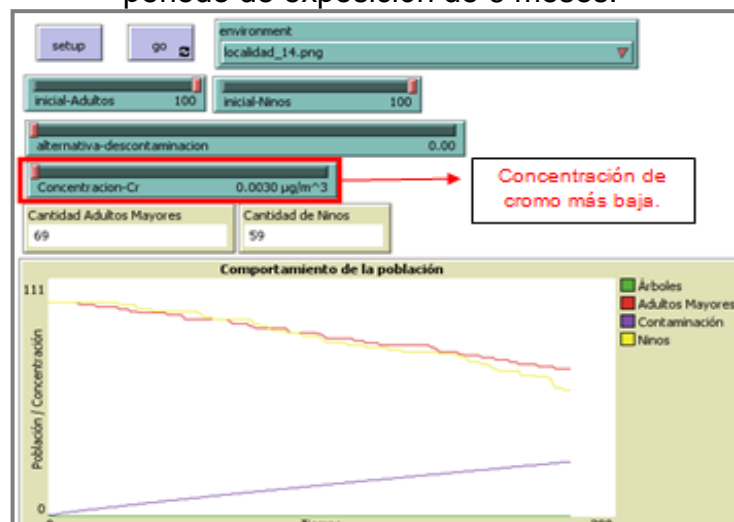
Fuente: Los Autores.

El modelo se corrió con la concentración de cromo más baja y con una cantidad de 100 adultos mayores y 100 niños exponiéndolos durante 18 días

correspondiente a los días de muestreo y al menor tiempo posible en el que se podría encontrar síntomas de enfermedades respiratorias agudas.

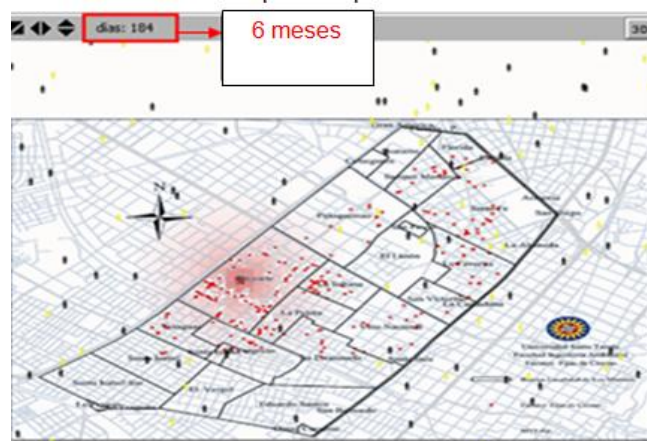
Se demostró que con la menor concentración encontrada durante el periodo de muestreo la afectación a las personas es mínima (2 adultos mayores), es decir se producen pocas personas con enfermedades respiratorias agudas, siendo este un modelo a escala se evidencia una relación, pero si lo comparamos con la localidad que cuenta con una población de 98.450 personas la relación fue insignificante es decir que esta correlación sería casi nula o nula como lo demostramos en la correlación anteriormente presentada.

Ilustración 15 Modelo en NetLogo con la concentración más baja de cromo en un periodo de exposición de 6 meses.



Fuente: Los Autores.

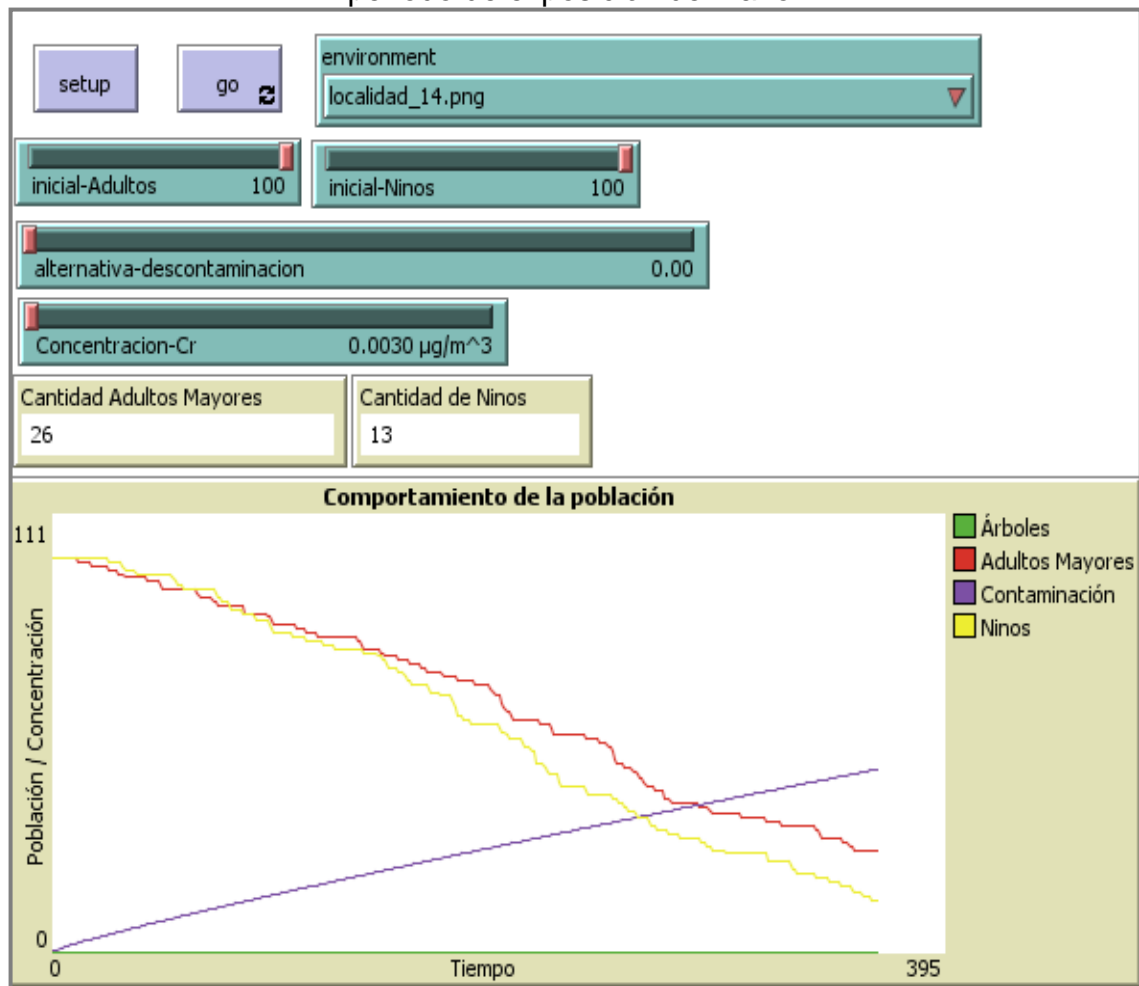
Ilustración 16 Demostración gráfica del comportamiento poblacional respecto al cromo en un tiempo de exposición de 6 meses.



Fuente: Los Autores.

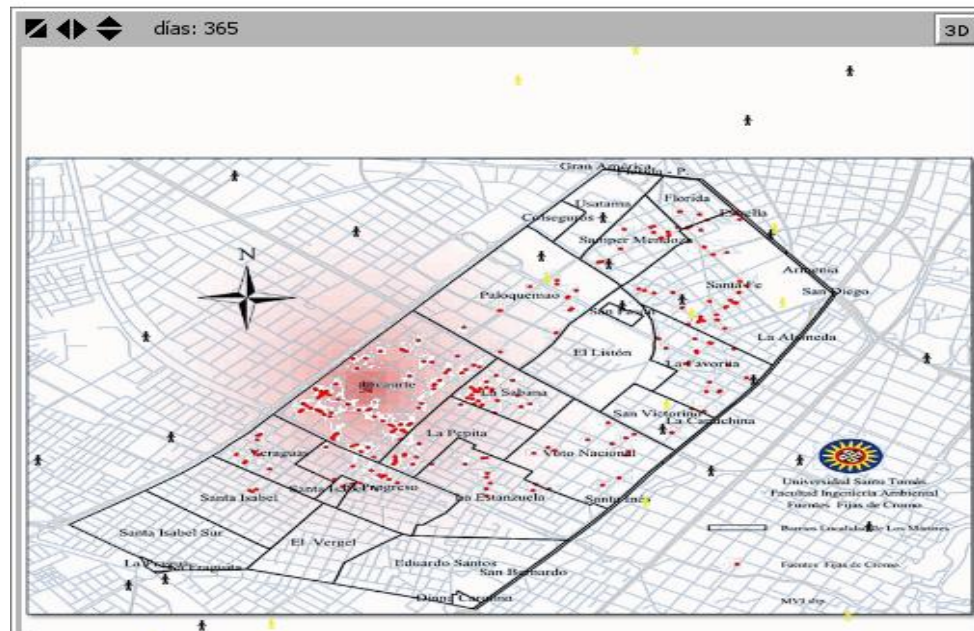
En este caso el modelo se corrió con la concentración de cromo más baja y una cantidad de 100 adultos mayores y 100 niños con una exposición de aproximadamente seis meses donde podemos observar en la ilustración 15 la gráfica de comportamiento de la población, la salud de las personas disminuye a medida que la contaminación aumenta con el tiempo de exposición, observando que aproximadamente el 40% de la población se vería afectada por enfermedades respiratorias intermedias como rinorreas, irritaciones nasales, ulceraciones en el tabique nasal entre otras [57].

Ilustración 17 Modelo en NetLogo con la concentración más baja de cromo en un periodo de exposición de 1 año.



Fuente: Los Autores.

Ilustración 18 Demostración gráfica del comportamiento poblacional respecto al cromo en un tiempo de exposición de 1 año.



Fuente: Los Autores.

Finalmente se corrió el modelo con 100 adultos mayores y 100 niños, con la concentración más baja de cromo a un periodo de exposición de 1 año observando en la ilustración 18, la gráfica de comportamiento de la población que evidencia que la contaminación con un tiempo mayor de exposición tiene cada vez más afectaciones en la salud de las personas, como en este caso que afecta más del 80% de la población que probablemente se está viendo afectada por enfermedades respiratorias crónicas.

CONCLUSIONES.

La contaminación en la localidad de Los Mártires puede ser atribuida a la cantidad de fuentes generadoras de material particulado PM₁₀ y PST, estas partículas contienen trazas de cromo que disminuyen la calidad del aire en el territorio, a esto se le adicionan los contaminantes provenientes de la localidad de Puente Aranda que son transportados por acción del viento hacia la localidad de estudio; se evidenció la ausencia de vigilancia y control de calidad del aire en la localidad ya que actualmente no cuenta con estaciones de monitoreo.

Los niños menores de 12 años, los adultos mayores de 60 años, fumadores y población que labora o hace ejercicio al aire libre en el sector presentan mayor probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios y posibles enfermedades cardiovasculares, es posible que los síntomas sean causados por los altos niveles de contaminación de la localidad, por lo tanto el ICA clasifica el estado del aire anualmente y en un periodo de 24 horas como desfavorable para grupos sensibles y para la población en general.

Las concentraciones de cromo detectadas durante el muestreo se encuentran por debajo de las normas internacionales establecidas, sin embargo la exposición a bajas concentraciones pero a largos periodos de tiempo genera efectos adversos sobre la salud de la población.

Las fuentes móviles de la localidad de los mártires por su cantidad y frecuencia representan un factor determinante en la contribución de material particulado a la atmosfera y por ende el nivel de las concentraciones de cromo varía en la localidad.

La correlación entre las concentraciones de cromo y los casos de enfermedades agudas indica que no existe una influencia significativa entre las variables debido a que las trazas de cromo son bajas y los casos reportados en el boletín epidemiológico no son proporcionados como una base de datos primaria por parte institución prestadora de servicios sino estos son procesados, aprobados y reportados por la Secretaria de Salud.

Con el diseño del modelo de calidad del aire se pudo evidenciar gráficamente que a pesar de que las concentraciones de cromo encontradas son bajas, estas pueden afectar a la población en periodos de exposición mayor al de muestreo y que dependiendo de la absorción del cromo por vía respiratoria se presentan tres tipos de alteraciones, enfermedad aguda, intermedia y crónica en el ser humano según el periodo de exposición sin importar el nivel de concentración del cromo.

La detección de trazas contaminantes de cromo está determinada por el método elegido, la adaptabilidad de estas metodologías y el uso de equipos óptimos es indispensable para la obtención de datos confiables.

Las limitaciones en la ejecución del proyecto corresponden principalmente a la falta de recursos académicos como laboratorios y equipos que permitan realizar métodos analíticos de este tipo, así se disminuiría la inversión de recursos económicos requeridos para este tipo de estudio, es por esto que la investigación presentada es la base para un planteamiento que abarque a profundidad temas como las afectaciones de los metales pesados presentes en el aire sobre la salud de la población.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar investigaciones que contemplen un periodo de muestreo mayor, adaptando lo establecido en el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del IDEAM a condiciones y periodos requeridos para lograr obtener mayor cantidad de datos que permitan estimar una correlación significativa entre las concentraciones de material particulado (PM₁₀ y PST), cromo y los casos de enfermedades respiratorias de grupos etarios.

Teniendo en cuenta la variabilidad climática de la ciudad de Bogotá, se recomienda realizar los estudios de calidad del aire en periodos secos y de lluvia.

La localidad presenta en su mayoría fuentes móviles y fijas con un déficit en control y vigilancia que contribuye entre varias razones, al incumplimiento de los niveles máximos permisibles, para esto se recomienda que la SDA instale una estación de monitoreo de aire con el fin de fortalecer el seguimiento y control de la contaminación en la localidad.

Se recomienda evaluar los metales pesados contemplados en la resolución 610 de 2010 y sus derivados, para estimar las concentraciones de este grupo importante de contaminantes atmosféricos y su efecto en la población.

Según los reportes de las concentraciones de metales pesados, se recomienda ejecutar muestreos intramurales, empleando equipos muestreadores de alto flujo PM_{2.5}, ya que la localidad presenta en su mayoría de instituciones educativas, jardines infantiles y hogares geriátricos que albergan gran cantidad de personas correspondientes a grupos sensibles.

Se recomienda realizar un estudio más a fondo de la emisión de material particulado para determinar la dependencia y proporción entre las variables de estudio.

El modelo tiene una opción de descontaminación que podría ser una solución a los problemas causados por el cromo contribuyendo que la contaminación disminuya notablemente al implementarla, la alternativa que se propone es la siembra de árboles que mediante la fotocatalisis podrían absorber de forma natural contaminantes presentes en la atmósfera, se recomienda a la alcaldía local y a las industrias implementar este tipo de alternativas que contribuyan a mitigar la contaminación de la zona.

BIBLIOGRAFIA

- [1] 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.
- [2] A. Ferrer Dufol, «Intoxicacion por Metales,» *Scielo*, 2003.
- [3] F. A. C. Mejia, Historia del Desarrollo Urbano del Centro de Bogotá, 1 ed., Bogotá, 2007.
- [4] Alcaldia Local de Los Mártires, «Plan de desarrollo local 2008-2012,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.integracionsocial.gov.co/>. [Último acceso: 3 Marzo 2014].
- [5] Alcaldia Mayor de Bogota, «Bogota mi ciudad.com,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.bogotamiciudad.com/Directorio/Detalles.aspx?BMC=134152>. [Último acceso: 20 Febrero 2014].
- [6] DANE, «Proyecciones de poblacion segun localidad,» Bogota, 2005.
- [7] Secretaria de Planeación de Bogotá., «Diagnostico de los Aspectos, fisicos demograficos y socioeconomicos,» Bogotá D.C., 2009.
- [8] Alcaldia Mayor de Bogotá, «Diagnostico fisico y socioeconomico de las localidades de Bogotá D.C.,» Bogotá, 2004.
- [9] L. Albert, «Cromo,» de *Curso básico de toxicología ambiental*, 2 ed., Xalapa, Noriega Editores, 2002, pp. 227-246.
- [10] R. Anderson, «Chromiun as an essential nutrient for humans,» *Regul Toxicol Pharmacol*, vol. 26, pp. 35-41, 1997.
- [11] G. Gil Tocados, A. Manrique Plaza y J. Fernandez Vozmediano, «Dermatitis de contacto por cemento: toxicocinética del cromo y derivados. Fuentes de exposicion,» *Actualidad Dermatologica*, pp. 359-370, N.d..
- [12] Y. Ahmad y Q. Kalid, «Chromiun its role in diabetes and heart disease,» *Elements in healt and disease*, pp. 261-266, 1987.
- [13] H. Preuss y R. A. Anderson, Chromiun update: Examining recent literature, vol. 1, 1997-1998, pp. 509-512.
- [14] J. W. Rosson, K. Foster y R. Walton, «Hair concentrations in adult insulin-treated diabetics,» *clin chim*, vol. 93, pp. 299-304, 1979.
- [15] Departamento del Interior de EE.UU y US Geological Survey, «Mineral Commodity Summaries,» 2004.
- [16] K. Nickens, S. Patierno y S. Ceryar, «Chromiun genotoxicity: A double-edged sword.,» *Chemico-Biological interactions*, vol. 188, nº 2, pp. 276-288, 5 Noviembre 2010.
- [17] E. Plunkett, «Handbook of industrial Toxicology,» *Publishing Chemistry*, 1976.
- [18] M. Amdur y J. Doull, «Cassarett y Toxicology of Doull,» *Maxwell- MacMillan-Pergamon*, vol. 4, 1991.
- [19] Enviromental Protection Agency, «Compendium Method IO-3.1 Selection,

- preparation and extraction of filter material.,» EE.UU, 1999.
- [20] 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.
- [21] Universidad Nacional Abierta y a Distancia., «Importancia del análisis estadístico de los datos,» [En línea]. [Último acceso: 16 8 2014].
- [22] R. Martínez, M. Martínez, I. Tuya, A. Pérez y A. Canovas, «EL Coeficiente de Correlación de los Rangos de SPEARMAN,» *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, vol. 8, nº 2, 2009.
- [23] L. Fernández Vizcarra, «Curso SPSS Pruebas de Normalidad.,» Grupo Coesi..
- [24] J. Cohen y P. Cohen, «Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences.,» 1997. [En línea]. [Último acceso: 16 8 2014].
- [25] P. S. M. Repetto, «Glosario de Términos Toxicológicos,» copyright c, 1995.
- [26] C. W. Kenneth Wark, «Contaminación Atmosférica,» Limusa, México, 1994.
- [27] ATSDR, «Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades,» Septiembre 2012. [En línea]. Available: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html. [Último acceso: 03 06 2014].
- [28] United Nations Framework Convention on Climate Change, «Emisiones Fugitivas».
- [29] Oficina para la Salud de la Mujer en el Dept. de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., «MedlinePlus.Información de salud para usted,» [En línea]. Available: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/lungdiseases.html>. [Último acceso: 10 Junio 2014].
- [30] Salud Total, «Salud Total EPS,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.saludtotal.com.co/contenido/contenido.aspx?conID=1529&catID=1>. [Último acceso: 2 8 2014].
- [31] Corporación Autónoma Regional de Risaralda., «CARDER,» [En línea]. Available: <http://www.carder.gov.co/web/es/fuentes-fijas>. [Último acceso: 22 8 2014].
- [32] C. A. A. SUÁREZ, «DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: Partículas suspendidas totales y Fracción respirable PM10,» *LUNA AZUL*, 2011.
- [33] Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Instituto Politécnico Nacional, «Metales Pesados: Importancia y Análisis,» [En línea]. Available: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/8815/AN%C3%81LISIS%20DE%20ARS%C3%89NICO%20Y%20METALES%20PESADOS%20EN%20EL%20AGUA%20.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 06 07 2014].
- [34] Socila Systems Engineering Centre, «INSISOC,» Centro de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, 05 2009. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/manualnetlogo/>. [Último acceso: 3 09 2014].
- [35] Environmental Protection Agency, «U.S Environmental Protection Agency,» 1995. [En línea]. Available: <http://www.epa.gov/airtrends/aqtrnd95/pm10.html>. [Último acceso: 13 JUNIO 2014].
- [36] Partículas Suspendidas, «4 Partículas suspendidas,» 2009. [En línea]. Available: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/517/cap4.pdf>. [Último acceso: 2014].
- [37] Secretaría Distrital de Salud., «Salud Capital,» ND. [En línea]. Available:

- <http://www.saludcapital.gov.co/DPYS/Paginas/RegistroIndividualdePrestaci%C3%B3ndeServicios.aspx>. [Último acceso: 19 8 2014].
- [38] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial., «Resolución 610.,» Bogotá D.C., 2010.
- [39] 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.,» 2005.
- [40] Agency for toxic substances & Disease Registry, «Chromium toxicity,» Atlanta, 2008.
- [41] Organización Mundial de la Salud., «Guías para la Calidad del Aire.,» Lima, 2004.
- [42] M. C. Rojas Cruz , «Cromado: Un proceso de dos caras,» *Metal Actual*, vol. 41, pp. 53-56, 2008.
- [43] F. Casillas Lopez, «Técnicas de Oxidación,» 2007. [En línea]. [Último acceso: 22 7 2014].
- [44] Metaza una firma de acero., «Productos de Acero para la Industria y Construcción en Colombia.,» 2014. [En línea]. Available: www.metaza.com.co/productos-industria/. [Último acceso: 10 9 2014].
- [45] InterempresasNet Metalmeccanica, «Materiales de alto rendimiento para el sector más exigente,» Ramon Uriza Arechaga, 10 10 2012. [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/101083-Materiales-de-alto-rendimiento-para-el-sector-mas-exigente.html>. [Último acceso: 2 06 2014].
- [46] Secretaria de integración social, «Realidades del Territorio Social,» Bogotá, 2006.
- [47] Secretaria Distrital de Movilidad, «Volumenes por tipo de vehículo,» Bogotá, 2014.
- [48] Agencia para la Protección del Medio Ambiente, «Emisiones de Tóxicos en el aire estrategia de la EPA para reducir riesgos de Salud en las áreas Urbanas,» EE.UU., 1999.
- [49] COPERT, «Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera.,» 1990-2012.
- [50] J. E. Pachón Quinche y H. Sarmiento Vela, «Estimación del Riesgo en la Salud Humana a Partir de la Caracterización de Aerosoles en la Localidad de Puente Aranda en la Ciudad De Bogotá.,» 2007.
- [51] Agencia Ambiental Europea, «Guía de Métodos de medición y Factores de emisión fuentes móviles,» España, 2000.
- [52] Corporación Autónoma Regional, «Determinación de Material Particulado por el método gravimétrico para la matriz de aire.,» Bogotá D.C., 2010.
- [53] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, «Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire,» Bogotá, 2007.
- [54] Portal Ciencia, «Escala de Beaufort,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.portalciencia.net/meteovie.html>. [Último acceso: 10 8 2014].
- [55] Secretaría Distrital de Ambiente., «Informe Trimestral de Calidad de Aire de Bogotá.,» Bogotá D.C., 2010.
- [56] HOSPITAL CENTRO ORIENTE II NIVEL, «Boletín Epidemiológico Mensual de la Relación Entre Calidad de Aire, Ruido y Salud,» Bogotá, 2014.
- [57] S. Wilbur, H. Albadin y M. Fay, Toxicological Profile for Chromium, Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012.
- [58] A. Verduyck, «Hazardous metals in human toxicology, techniques and

- instrumentation in analytical chemistry,» vol. IV, pp. 61-63, 253-277, 1984.
- [59] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, «Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.,» Bogota, 2010.
- [60] RedAire, «Protocolo para el muestreo de particulas totales (PST) utilizando el equipo muestreador de alto volumen HI-vol.,» Bogota, N.d.
- [61] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL , «MANUAL DE OPERACION DE SISTEMAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE,» Bogota D.C. , 2008.
- [62] Thermo Scientific, «Equipo de Analisis Elemental,» ND. [En línea]. Available: <http://www.instruquimica.com/contenidos/ae.htm>. [Último acceso: 11 8 2014].
- [63] Plastoquimica, «Nueva tecnologia en lavado de gases para aerosoles de cromo VI,» Poligono Industrial Font Santa , Barcelona.
- [64] Secretaria Distrital de Salud., «Mapa de Industria y Ambiente,» Bogotá D.C..

ANEXO 1
Equipos.

ANEXO 2
Inventario de Fuentes.

ANEXO 3
Pesaje de Filtros.

ANEXO 4
Formato cadenas de custodia muestras de material particulado.

ANEXO 5
Resultados de laboratorio.

ANEXO 6
Modelo calidad de aire NetLogo.