



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE
CADMIO Y BIOAEROSOLES CONTENIDOS EN EL MATERIAL
PARTICULADO RESPIRABLE EN LAS LOCALIDADES DE LOS
MÁRTIRES Y CIUDAD BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C**

Estudiante

Juan Pablo Remolina Luque

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C.

2019

**DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE
CADMIO Y BIOAEROSOLES CONTENIDOS EN EL MATERIAL
PARTICULADO RESPIRABLE EN LAS LOCALIDADES DE LOS
MÁRTIRES Y CIUDAD BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C**

Juan Pablo Remolina Luque

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:

Ingeniero Ambiental

Director (a):

Ing. Johan Alexander Álvarez Berrio

Magister en Toxicología

Codirector (a):

Ing. Gabriel Herrera

Magister en Ingeniería Ambiental

Línea de Investigación:

Salud Ambiental

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C.

2019

RESUMEN

Se realizó un monitoreo de PM_{10} y un muestreo de bioaerosoles en las localidades de Ciudad Bolívar y Los Mártires con el fin de determinar concentraciones de cadmio y la densidad microbiológica en el aire de estas zonas. Las muestras de material particulado fueron analizadas mediante espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), para determinar las concentraciones de cadmio; por otra parte, las muestras de bioaerosoles fueron tratadas y una vez seleccionados y aislados los microorganismos más representativos, se identificaron los mismos mediante el método de índice analítico de perfil (API). Aunque fueron identificadas potenciales fuentes de emisión de cadmio en las localidades mediante la elaboración de un inventario de fuentes fijas, los niveles determinados del metal se encontraban debajo de los límites nacionales e internacionales en los dos puntos estudiados. Sin embargo, para Ciudad Bolívar se hallaron altas concentraciones de PM_{10} , además de una elevada densidad bacteriana (>1000 UFC/m³), lo que puede poner en riesgo a los grupos etarios sensibles de la localidad, pese a no haber identificado patógenos peligrosos.

Palabras clave: Cadmio, Bioaerosoles, Los Mártires, Ciudad Bolívar, Calidad atmosférica, material particulado

ABSTRACT

A monitoring of PM₁₀ and a sampling of bioaerosols were carried out in the localities of Ciudad Bolívar and Los Mártires in order to determine cadmium concentrations and the microbiological density in the air of these zones. The samples of particulate material were analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), to determine cadmium concentrations; On the other hand, samples of bioaerosols were treated and once the most representative microorganisms were selected and isolated, they were identified by means of the analytical profile index (API) method. Although potential sources of cadmium emission were identified in the localities through the elaboration of an inventory of stationary sources, the determined levels of the metal were below the national and international limits in the two zones studied. However, high concentrations of PM₁₀ were found for Ciudad Bolívar, as well as a high bacterial density ($> 1000 \text{ CFU} / \text{m}^3$), which may put the sensitive age groups of the town at risk, despite not having identified dangerous pathogens.

Key words: Cadmium, Bioaerosols, Los Mártires, Ciudad Bolívar, Air quality, Particulate matter

CONTENIDO

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CONTENIDO	5
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS.....	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
2. MARCO TEORICO	19
2.1 GENERALIDADES: LOCALIDAD CIUDAD BOLIVÁR	19
2.1.1 UBICACIÓN	19
2.1.2 POBLACIÓN	20
2.1.3 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS	22
2.1.3.1 Salud	22
2.1.3.2 Infraestructura.....	24
2.1.3.3 Economía.....	25
2.1.4 ASPECTOS AMBIENTALES.....	26
2.2 GENERALIDADES: LOCALIDAD DE LOS MÁRTIRES.....	28
2.2.1 UBICACIÓN	28
2.2.2 POBLACIÓN	29
2.2.3 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS	31
2.2.3.1 Salud	31
2.2.3.2 Infraestructura.....	33
2.2.3.3 Economía.....	34
2.2.4 ASPECTOS AMBIENTALES.....	35
2.4. CADMIO	37
2.4.1. TOXICOCINETICA.....	37
2.4.2. TOXICODINAMIA.....	39
2.4.3. CINETICA AMBIENTAL	39

2.4.3.1.	Recurso hídrico.....	40
2.4.3.2.	Recurso Suelo	40
2.4.3.3.	Recurso Aire	41
2.5.	BIOAEROSOLES.....	41
2.5.1.	TIPOS DE BIOAEROSOLES Y AFECCIONES A LA SALUD	41
2.6.	MONITOREO AMBIENTAL DE MATERIAL PARTICULADO	42
2.6.1	MUESTREO CON EQUIPO HI-VOL	43
2.6.2	ANALISIS DE LABORATORIO	45
2.6.2.1	DETERMINACIÓN DE METALES EN PARTÍCULAS, MÉTODO USEPA IO 3.5	45
2.7.	MUESTREO DE BIOAEROSOLES	46
2.7.1.	MUESTREO POR IMPACTACIÓN	46
2.7.2.	MEDIOS O SUSTRATOS DE RECOLECCION	47
2.7.2.1.	Agar sangre	47
2.7.2.2.	Agar EMB (Eosin Methylene Blue Agar)	47
2.7.2.3.	Agar Sabouraud.....	48
2.7.2.4.	Agar PCA (Plate count Agar)	48
2.8.	MARCO NORMATIVO	48
2.8.1.	NORMATIVA NACIONAL.....	49
3.	METODOLOGIA.....	50
3.1.	SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	50
3.2.	REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE FUENTES FIJAS 52	
3.3.	AFORO DE FUENTES MOVILES.....	53
3.4.	MONITOREO DE PM ₁₀	55
3.4.1	EQUIPOS E INSUMOS.....	55
3.4.2	SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE FILTROS	56
3.4.3	CALIBRACIÓN DE EQUIPOS.....	57
3.4.4	FASE DE MUESTREO.....	58
3.4.5	CADENA DE CUSTODIA DE FILTRO	58
3.4.6	ANALISIS GRAVIMETRICO.....	58
3.4.7.	ANALISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE CADMIO	59

3.5.	OBTENCIÓN DE DATOS METEOROLOGICOS	59
3.6.	MUESTREO DE BIOAEROSOLES	60
3.6.1	EQUIPOS E INSUMOS	61
3.6.2	SELECCIÓN Y PREPARACION DE AGARES	62
3.6.3	CADENA DE CUSTODIA DE LOS MEDIOS DE CULTIVO	63
3.6.4	TOMA DE MUESTRAS DE BIOAEROSOLES	63
3.6.5	TRATAMIENTO DE MUESTRAS Y SELECCIÓN DE MICROORGANISMOS	64
3.6.6	CUANTIFICACIÓN DE COLONIAS	64
3.6.7	IDENTIFICACION DE MICROORGANISMOS: BACTERIAS.....	64
3.6.8	IDENTIFICACION DE MICROORGANISMOS: HONGOS	65
3.7.	ANALISIS ESTADISTICO	66
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
4.1.	INVENTARIO DE FUENTES FIJAS.....	67
4.2.	AFORO DE FUENTES MOVILES.....	71
4.2.1.	ESTIMATIVO DE MATERIAL PARTICULADO EMITIDO POR FUENTES MOVILES	73
4.3.	RESULTADOS DEL MONITOREO ATMOSFERICO	74
4.4.	CONCENTRACIONES DE CADMIO ATMOSFERICO	77
4.5.	VARIABLES METEOROLOGICAS	78
4.5.1.	TEMPERATURA	79
4.5.2.	HUMEDAD RELATIVA.....	80
4.5.3.	VELOCIDAD DEL VIENTO	82
4.6.	RESULTADOS DEL CONTEO DE UFC	83
4.6.1.	AGAR SANGRE	83
4.6.2.	AGAR SABOURAUD	85
4.6.3.	AGAR EMB	86
4.7.	CORRELACION ESTADISTICA ENTRE VARIABLES METEOROLOGICAS Y BIOAEROSOLES.....	87
4.8.	CORRELACION ESTADISTICA ENTRE PM ₁₀ Y BIOAEROSOLES	89
4.9.	MICROORGANISMOS IDENTIFICADOS.....	90
5.	CONCLUSIONES	92

6. RECOMENDACIONES.....	93
7. LIMITACIONES	93
8. BIBLIOGRAFIA.....	94
9. ANEXOS.....	100
Anexo A- Aforo de fuentes Móviles	100
Anexo B: Pesaje de filtros	102
Anexo C – Protocolo de calibración y elaboración de curvas de calibración....	103
Anexo D – Protocolo para el cambio y recolección del filtro.....	106
Anexo E– Calculo de concentraciones de PM10 y Cadmio.....	107
Anexo H – Identificación de microorganismos.....	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 UPZ de la localidad de Ciudad Bolívar	20
Tabla 2-2 Primeras diez causas de morbilidad en consulta externa, Localidad Ciudad Bolívar. Año 2014.	24
Tabla 2-3 Vías arteriales de Ciudad Bolívar.....	25
Tabla 2-4 Principales causas de consulta externa por grupo etario: Los Mártires, 2015.....	33
Tabla 2-5 Vías Arteriales de Los Mártires.....	34
Tabla 2-6 Efectos Crónicos de la exposición a cadmio.....	39
Tabla 2-7 Tipos de bioaerosoles y efectos a la salud	42
Tabla 2-8 Características de los tipos de filtro para medidores Hi Vol.....	44
Tabla 2-9 Niveles máximos permisibles, nacionales e internacionales para PM ₁₀ y Cd	48
Tabla 2-10 Normativas referentes a calidad del aire en Colombia.....	49
Tabla 3-1 Clasificación industrias de los puntos de muestreo	52
Tabla 3-2 clasificación de los vehículos aforados	54
Tabla 3-3 Factores de emisión para fuente móviles	55
Tabla 3-4 Cantidades de agar por litro de agua.....	62
Tabla 3-5 Codificación de muestras de bioaerosoles.	63
Tabla 4-1 Inventario de industrias potenciales fuentes de Cd.....	67
Tabla 4-2 Emisiones generadas por fuentes móviles en las áreas de estudio.....	74
Tabla 4-3: Concentraciones de PM ₁₀ en los puntos de muestreo.....	75
Tabla 4-4 Concentraciones de cadmio obtenidas	77
Tabla 6-5 Información descriptiva de las variables meteorológicas durante los días de muestreo para Los Mártires (Mr) y Ciudad Bolívar (CB)	79
Tabla 4-6 Coeficientes de correlación UFC/m ³ vs variables meteorológicas en la localidad de Los Mártires	87
Tabla 4-7 Coeficientes de correlación UFC/m ³ vs variables meteorológicas en la localidad de Ciudad Bolívar.....	88
Tabla 4-8 Coeficientes de correlación UFC/m ³ vs PM ₁₀	89
Tabla 4-9 Especies identificadas con la metodología API	90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1 Pirámide poblacional de la localidad de Ciudad Bolívar 2019	21
Gráfico 2-2 Crecimiento exponencial anual Ciudad Bolívar Vs Bogotá	21
Gráfico 2-3 Crecimiento exponencial anual Ciudad Bolívar	22
Gráfico 2-4 Mortalidad General, Localidad Ciudad Bolívar 2012-2014.	23
Gráfico 2-5 Empresas con matricula activa por sector económico 2017.....	25
Gráfico 2-6 Pirámide poblacional de la localidad de Los Mártires, 2019.....	30
Gráfico 2-7 Crecimiento exponencial anual Los Mártires Vs Bogotá	30
Gráfico 2-8 Primeras causas de mortalidad, localidad de Los Mártires (2012-2014)	32
Gráfico 2-9 Empresas con matricula activa por sector económico 2017.....	35
Gráfico 2-10 Esquema toxicocinético del cadmio	38
Gráfico 2-11 Comparación de las características de varias técnicas de detección	45
Gráfico 4-1: Proporción de Industrias emisoras de Cd, Los Mártires.....	68
Gráfico 4-2 Proporción de Industrias emisoras de Cd, Ciudad Bolívar	70
Gráfico 4-3 Promedio diario de vehículos que transitan por las vías aforadas	72
Gráfico 4-4 Proporción de los tipos de vehículos, que transitan en las vías aforadas	73
Gráfico 4-5 Comportamiento de la concentraciones de PM ₁₀ Colegio San José y estaciones RMCAB	76
Gráfico 4-6 Comportamiento de la concentraciones de PM ₁₀ Colegio Cofraternidad y estaciones RMCAB	76
Gráfico 4-7 Concentraciones de cadmio VS concentraciones de PM ₁₀	78
Gráfico 4-8 Variaciones de la temperatura durante el muestreo, Los Mártires	79
4-9 Variaciones de la temperatura durante el muestreo, Ciudad Bolívar	80
Gráfico 4-10 Variaciones de la humedad relativa durante el muestreo, Los Mártires	81
Gráfico 4-11 Variaciones de la humedad relativa durante el muestreo, Ciudad Bolívar.....	81
Gráfico 4-12 Variaciones de la velocidad del viento durante el muestreo, Los Mártires.....	82
Grafico 4-13 Variaciones de la velocidad del viento durante el muestreo, Ciudad Bolívar.....	83
Gráfico 4-14 Diagrama de cajas de las concentraciones de UFC en agar sangre.	84
Grafico 4-15 Diagrama de cajas de las concentraciones de UFC en agar sabouraud	85
Grafico 4-16 Diagrama de cajas de las concentraciones de UFC en agar EMB	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Cinética ambiental del cadmio	40
Figura 2-2: Muestreado Hi-Vol	43
Figura 2-3: Funcionamiento de un muestreador Hi-Vol.....	44
Figura 2-4 Estructura de un equipo ICP-MS	46
Figura 2-5 Funcionamiento de un equipo impactador	47
Figura 3-1 Ubicación colegio San José.....	50
Figura 3-2 Ubicación Colegio Cofraternidad de San Francisco	51
Figura 3-3: ubicación de los puntos de aforo vehicular.	53
Figura 3-4 Equipos Hi vol en cada punto de muestreo	56
Figura 3-5 kit de calibración de un Hi-Vol	57
Figura 3-6 Pesaje de filtro impactado en balanza analítica.....	59
Figura 3-7: Equipos MAS 100 utilizados para el muestreo	61
Figura 3-8 Tiras API utilizadas para la identificación de bacterias	65
Figura 3-9: Montaje para la identificación microscópica de hongos.....	66

LISTA DE MAPAS

Mapa 2-1 Ubicación y división administrativa de Ciudad bolívar	19
Mapa 2-2 Concentraciones promedio anual simulada de SO ₂ , 2017.....	27
Mapa 2-3 Ubicación y división administrativa de Los Mártires.....	29
Mapa 2-4 Distribución de PM _{2,5} por vías pavimentadas en Bogotá, 2017.....	36
Mapa 3-1: Estaciones de la RMCAB utilizadas para la obtención de datos meteorológicos.....	60
Mapa 4-1 Industrias en área de influencia a del Colegio San José	69
Mapa 4-2 Industrias en área de influencia a del Colegio Cofraternidad.....	71

LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

Abreviatura/Símbolo	Definición
°C	Grados Celsius
μg	Microgramo
μm	Micrómetros
API	Índice Analítico De Perfil
CB	Ciudad Bolívar
Cd	Cadmio
CIIU	Clasificación Industrial Internacional Uniforme
CTAS	Laboratorio De La Universidad De La Salle
DANE	Departamento Administrativo Nacional De Estadística
EMB	Eosin methylene blue
ESI	Enfermedades similares a la influenza
HR	Humedad relativa
IARC	International Agency For Research On Cancer
ICP-MS	Sistema De Plasma Acoplado Inductivamente Acoplado A Espectrometría De Masas
IDEAM	Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales
INSHT	Instituto Nacional De Seguridad E Higiene En El Trabajo
IRA	Infecciones respiratorias aguda
J1	Jornada 1
J2	Jornada 2
Kg	Kilogramo
LIAC	Laboratorio Instrumental De Alta Complejidad
m	Metros
m ³	Metro cubico
MADS	Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible
mg	Miligramo
min	Minutos
ml	Mililitros
Mr	Los mártires
msnm	Metros sobre el nivel del mar
NO _x	Óxidos de nitrógeno
OMS	Organización Mundial De La Salud
PCA	Plate count agar
pH	Potencial de hidrógeno
PIB	Producto Interno Bruto

<i>PM₁₀</i>	Material particulado menor a 10 micras
<i>PM_{2.5}</i>	Material particulado menor a 2,5 micras
<i>POT</i>	Plan De Ordenamiento Territorial
<i>RM CAB</i>	Red de Monitoreo y Calidad del Aire de Bogotá
<i>SDA</i>	Secretaria Distrital De Ambiente
<i>SDP</i>	Secretaría Distrital De Planeación
<i>SDS</i>	Secretaria Distrital De Salud
<i>SITP</i>	Sistema integrado de transporte público
<i>t°</i>	Temperatura
<i>TLV</i>	Threshold limit value
<i>TSP</i>	Total de partículas suspendidas
<i>UE</i>	Unión Europea
<i>UFC</i>	Unidades Formadoras De Colonias
<i>UPZ</i>	Unidades De Planeación Zonal
<i>USEPA</i>	Agencia De Protección Ambiental De Los Estados Unidos
<i>USTA</i>	Universidad Santo Tomás

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica además de ser un problema ambiental también es un problema de salud pública, ya que, según la Organización Mundial De La Salud (OMS), en el año 2018 más de siete millones de muertes anuales son atribuidas a la exposición de partículas y contaminantes presentes en el aire; esto quiere decir que la contaminación atmosférica es un factor crítico para la salud ,ya que , se estima que causa un 24% de todas las muertes de adultos por cardiopatías, el 25% de las muertes por accidentes cerebrovasculares, el 43% de las muertes por neumopatía obstructiva crónica y el 29% de las muertes por cáncer de pulmón [1].

Si bien, en los países asiáticos y africanos se registraron el 90 % de las muertes por aire contaminado, en segundo lugar, se encuentran los países de bajos y medianos ingresos de Europa y América [1]. Especialmente en Sur América donde en el “*informe de calidad del aire en América Latina*” se prevé que la contaminación del aire se convertirá en la causa ambiental principal de mortalidad prematura, por encima de aguas insalubres y falta de saneamiento, pasando de 1 millón de muertes derivadas de la exposición a material particulado en el año 2013 a 3.6 millones de defunciones para el año 2050 [2].

A pesar de los esfuerzos para implementar soluciones que reduzcan las emisiones de contaminantes a la atmosfera, para el año 2016, se encontró que son muy pocas las ciudades latinoamericanas que cumplen con los estándares de calidad del aire establecidos por la OMS, además, solo 77 ciudades de Latinoamérica cuentan con sistemas de medición de calidad de aire oficiales, y la implementación de estos sistemas junto con normativas legales ha sido bastante lenta, siendo únicamente Bolivia, Guatemala y Perú quienes cumplen con todas las directrices internacionales. También es alarmante el hecho de que son muchas menos las ciudades donde se realizan mediciones de $PM_{2.5}$ y contaminantes más específicos como el hollín [3]. Otro contaminante que no es muy comúnmente evaluado son las partículas biológicas suspendidas en el aire, también conocidos como bioaerosoles, y que también deben ser un indicador cuando se trate de relacionar la calidad del aire con temas de salud pública ya que, pueden generar diversas enfermedades e infecciones respiratorias [4].

Colombia a pesar de ser un país que ha demostrado importantes avances en lo correspondiente a la vigilancia y control de la calidad del aire, sigue viéndose perjudicado por éste problema, pues, para 2015 se registraron 10.527 muertes asociadas a este fenómeno. Adicionalmente, en los últimos años los costos ambientales asociados a la contaminación atmosférica en Colombia, se incrementaron pasando de 1,1% del producto interno bruto (PIB) de 2009 (\$5,7

billones de pesos) a 1,59% del PIB de 2014 (\$12 billones de pesos) y del 1,93% del PIB en 2015 (\$15.4 billones de pesos)[5] esto demuestra que aunque la implementación de normativas para controlar las emisiones a la atmosfera ha aumentado, es importante seguir estableciendo estudios y estrategias para controlar, medir y mejorar la calidad del aire. Bogotá al ser la capital de Colombia y por ende la ciudad más poblada del país, es la zona en que se presentan más problemas por contaminación atmosférica por partículas de origen inorgánico y orgánico, ya que, en el año 2017 fue una de las zonas con mayor número de reportes de Infecciones respiratorias aguda (IRA) y enfermedades similares a la influenza (ESI) [6].

Con el fin de monitorear su calidad atmosférica, Bogotá cuenta con la “*Red de Monitoreo y Calidad del Aire de Bogotá*” (RMCAB) la cual consta de 13 estaciones distribuidas a lo largo de la ciudad, y que en el año 2017 registró en tres estaciones (Suba, Kennedy y Carvajal) promedios anuales de PM_{10} que superaban las normas nacionales e internacionales, adicionalmente, las estaciones de Puente Aranda y Tunal si bien no sobrepasan la norma, estuvieron muy cerca del máximo permisible [7]. Lo anterior demuestra el riesgo existente de presentar patologías asociadas a la exposición a contaminantes en el aire para la población presente en las localidades de puente Aranda, Kennedy y Tunjuelito; incluso durante febrero del año 2019 las dos últimas localidades fueron declaradas en alerta amarilla por contaminación atmosférica [8].

En éste contexto las zonas más cercanas a las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Tunjuelito también deberían ser objeto de riguroso estudio. Como es el caso, de la localidad de Ciudad Bolívar que limita con Tunjuelito y que en el año 2011 muchas de sus Unidades de Planeación Zonal (UPZ) fueron declaradas Áreas-fuente de contaminación Clase I por PM_{10} [9], por otra parte la localidad de Los Mártires, aledaña a Puente Aranda, es una zona de alta actividad industrial y alto flujo vehicular por lo que es una zona importante para la realización de estudios de calidad del aire.

Tanto en Los Mártires como en Ciudad Bolívar, hay zonas con una cantidad considerable de pequeñas y medianas industrias metalúrgicas, litográficas, metalmecánicas y de latonería y pintura; por lo que además de los contaminantes criterio, es importante analizar otros más específicos que puedan generar las industrias mencionadas [10]. como es el caso del cadmio (Cd) que es un metal pesado emitido por este tipo de actividades y que es responsable de diferentes patologías llegando incluso a ser un elemento cancerígeno para el ser humano.[11]

Con el fin de aportar información relevante y significativa respecto a la condición atmosférica actual en las localidades de Los Mártires y Ciudad Bolívar, se realizó

un monitoreo de PM_{10} para determinar concentraciones de material particulado y cadmio a las que la población de las localidades podría estar expuesta. Simultáneamente al monitoreo se realizó un muestreo de bioaerosoles para estimar la carga microbiológica en el aire e identificar posibles agentes patógenos con el fin de estimar posibles riesgos a la salud a los que pueden estar expuestos los habitantes de dichas zonas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Correlacionar las concentraciones de cadmio y bioaerosoles presentes en el material particulado respirable en las localidades de Los Mártires y Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá D.C.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Actualizar el inventario de fuentes fijas de contaminación en el área de influencia de los contaminantes de interés.
- Determinar las concentraciones de Cd presentes en las localidades de Los Mártires y Ciudad Bolívar.
- Determinar la densidad bacteriana y de hongos presente en el aire de las localidades de Los Mártires y Ciudad Bolívar.
- Determinar los posibles riesgos a la salud asociados a las concentraciones de Cd y bioaerosoles en las localidades de Mártires y Ciudad Bolívar.

2. MARCO TEORICO

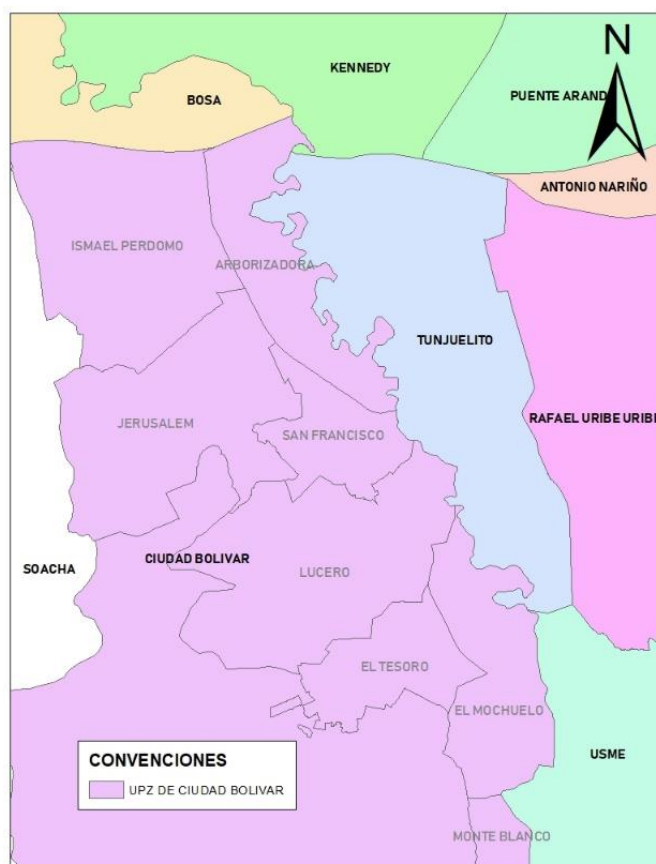
2.1 GENERALIDADES: LOCALIDAD CIUDAD BOLIVÁR

2.1.1 UBICACIÓN

Denominada como la localidad número 19 de Bogotá, limita con la localidad de Bosa al norte, al oriente con Tunjuelito y Usme; también comparte límites con la localidad de Usme al sur donde a su vez limita con el páramo de Sumapaz, y hacia el occidente limita con el municipio de Soacha (Mapa 2-1).

Ubicada en la parte sur de la ciudad cuenta con 12.998 hectáreas de extensión, siendo la tercera localidad más grande de Bogotá, y de las cuales únicamente 3.238 hectáreas (25%) corresponden a área urbana y el 75% restante son de terreno rural y de expansión. [12]

Mapa 2-1 Ubicación y división administrativa de Ciudad bolívar



Fuente: [13]

Ciudad Bolívar en su mayoría cuenta con una topografía ondulada e inclinada, siendo una pequeña parte de su extensión ubicada al norte de relieve plano. Toda la localidad se encuentra dividida de forma administrativa en un total de 8 UPZ (Tabla 2-1).

Tabla 2-1 UPZ de la localidad de Ciudad Bolívar

Código #	Nombre de la UPZ	Extensión (ha)
63	El Mochuelo	316,7
64	Monte Blanco	695,7
65	Arborizadora	306,3
66	San Francisco	178,6
67	Lucero	586,4
68	El tesoro	210,9
69	Ismael Perdomo	558,2
70	Jerusalem	537,5

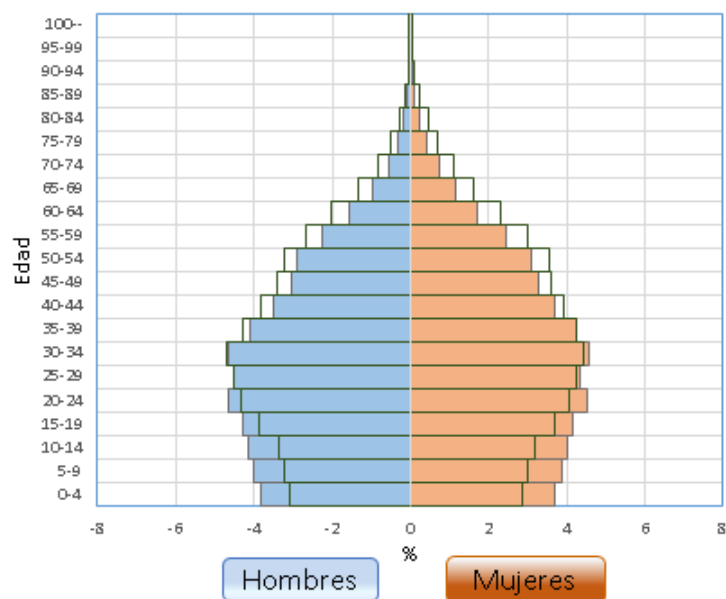
Fuente: [12]

La gran mayoría de estas UPZ se clasifican entre los estratos económicos 1 y 2, y se encuentran categorizadas como zonas residenciales de urbanización incompleta y únicamente la UPZ de Arborizadora es considerada como de uso residencial consolidado o en otras palabras de estratos medios.

2.1.2 POBLACIÓN

Según las proyecciones de la Secretaría Distrital De Planeación (SDP) para el año 2017, en la localidad de Ciudad Bolívar había una población de 733.859 habitantes, con una densidad poblacional de 226 habitantes por hectárea, lo que en contraste con el promedio de la ciudad de 212 habitantes por hectárea es una densidad media-alta [12]. Durante el año 2019 se estima que la población total ascienda a 762.186 habitantes cuya composición se puede observar en el Gráfico 2- 1 mediante una pirámide poblacional [14].

Gráfico 2-1 Pirámide poblacional de la localidad de Ciudad Bolívar 2019



Fuente: [14]

Aunque es una población de una estructura joven, donde los niños representan el 23,9%, los jóvenes el 17,8%, los adultos el 45,9% y los adultos mayores el 12,4%; se puede evidenciar el paulatino incremento en el índice de envejecimiento, ya que, para el año 2016 existe un indicador de 18 adultos mayores por cada 100 niños y jóvenes, y para 2020 se espera un aumento a 22 adultos mayores por cada 100 niños y jóvenes, [15] sin embargo, contrario a las proyecciones realizadas por la SDP donde se esperaba una disminución en la tasa de crecimiento demográfico, en el año 2017 se observó un pequeño incremento en el crecimiento exponencial anual de la población. Esto se puede observar con más detenimiento en el gráfico 2-2

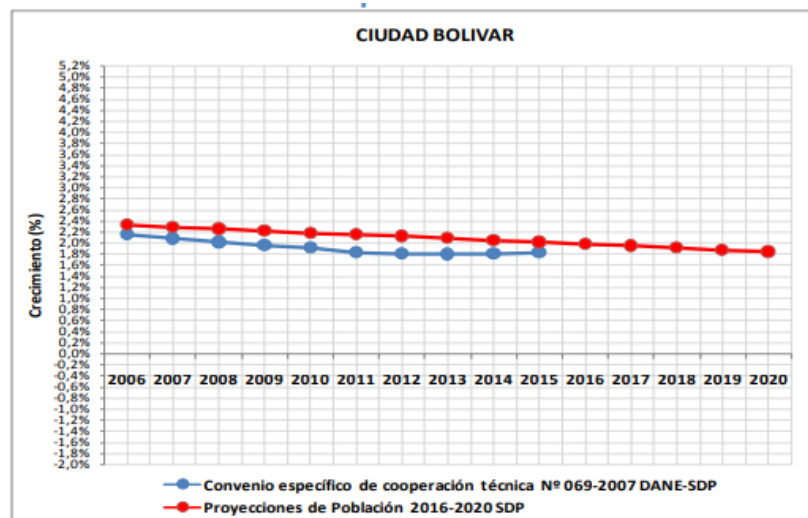
Gráfico 2-2 Crecimiento exponencial anual Ciudad Bolívar Vs Bogotá



Fuente: [12]

En el gráfico 2-3 se presenta otra proyección realizada en el año 2007 (línea azul) que es más acertada con el comportamiento real de la población.

Gráfico 2-3 Crecimiento exponencial anual Ciudad Bolívar



Fuente: [15]

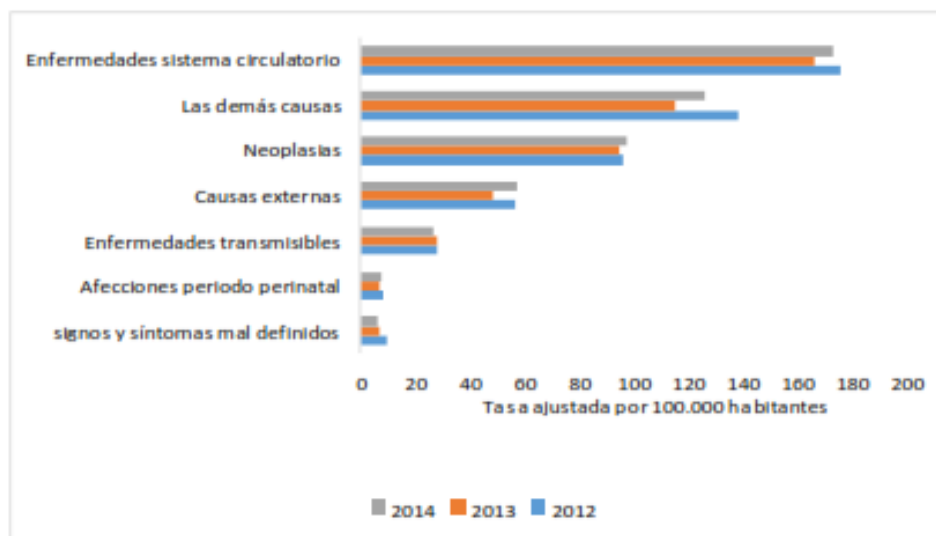
A pesar del aumento en la tasa de crecimiento demográfico respecto a años anteriores, la cantidad de niños y jóvenes menores a los 19 años ha ido decreciendo, es decir, que la tasa de natalidad de la localidad ha disminuido con el tiempo, esto indica que el aumento poblacional se ha dado principalmente por actividades migratorias, como se demostró en el año 2015 pues el 88,8% de la población diferencial del sector eran víctimas del desplazamiento [16].

2.1.3 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

2.1.3.1 Salud

En materia de salud las principales causas de mortalidad en la localidad para el año 2012 fueron enfermedades isquémicas del corazón, homicidios, enfermedades cerebrovasculares, enfermedades crónicas de las vías respiratorias, tumor maligno del estómago, neumonía y enfermedades hipertensivas [17]. Si bien, la mayoría de las causas corresponde a patologías, es importante denotar que las muertes violentas (homicidios, accidentes, suicidios, etc.) son la segunda mayor causa de mortalidad, únicamente siendo superada por enfermedades que afectan el sistema circulatorio, éste comportamiento se ha mantenido constante hasta el año 2014 como se puede observar en el Gráfico 2-4.

Gráfico 2-4 Mortalidad General, Localidad Ciudad Bolívar 2012-2014.



Fuente: [16]

Respecto a grupos etarios sensibles; para los menores de 5 años las principales causas de mortalidad son malformaciones del sistema circulatorio y neumonía, ésta última tuvo una reducción de 9 muertes por cada 100.000 habitantes en el año 2012 a una tasa de 6,9 muertes para el año 2017 [12]. En los adultos mayores de 60 años las enfermedades del sistema circulatorio son la primera causa de mortalidad y la segunda causa de consultas externas [16].

Respecto a morbilidad las principales causas de consultas externas (Tabla 2.-2) son asociadas a enfermedades transmisibles y factores externos, siendo totalmente diferente a las causas de mortalidad más comunes.

Tabla 2-2 Primeras diez causas de morbilidad en consulta externa, Localidad Ciudad Bolívar. Año 2014.

EVENTO	Infancia		Total Infancia	Adolescencia		Total Adolescencia	Juventud		Total Juventud	Adulthood		Total Adulthood	Vejez		Total Vejez	TOTAL
	F	M		F	M		F	M		F	M		F	M		
R51X CEFALEA	3	3	6	1	1	2	1	1	2	2	2	4	2	3	5	19
R104 OTROS DOLORS ABDOMINALES Y LOS NO ESPECIFICADOS	3	3	6	1	1	2	1	1	2	2	2	4	3	2	5	19
H103 CONJUNTIVITIS AGUDA, NO ESPECIFICADA	3	3	6	1	1	2	1	1	2	2	2	4	2	2	4	18
N390 INFECCIÓN DE VÍAS URINARIAS, SITIO NO ESPECIFICADO	3	3	6	1		1	1	1	2	2	2	4	3	2	5	18
M545 LUMBAGO NO ESPECIFICADO	3	3	6	1	1	2	1	1	2	2	2	4	2	2	4	18
M255 DOLOR EN ARTICULACIÓN	2	2	4	1	1	2	1	1	2	2	2	4	2	3	5	17
K429 HERNIA UMBILICAL SIN OBSTRUCCIÓN NI GANGRENA	3	3	6	1	1	2	1	1	2	2	2	4	1	2	3	17
K021 CARIES DE LA DENTINA	2	3	5	1	1	2	1	1	2	2	2	4	2	1	3	16
K051 GINGIVITIS CRÓNICA	2	2	4	1	1	2	1	1	2	2	2	4	2	2	4	16
G439 MIGRAÑA, NO ESPECIFICADA	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	4	3	3	6	16
TOTAL	25	26	51	10	9	19	10	10	20	20	20	40	22	22	44	174

Fuente: [17].

2.1.3.2 Infraestructura

Para el año 2017 la cobertura de servicios públicos de la localidad se encontraba en un 99,7% de acueducto, un 100% de alcantarillado, 99,8% de energía eléctrica y por ultimo un 100% en recolección de basuras [12], si bien esta cobertura determinada por el DANE y la SDP es óptima, el 82,3% de los hogares reportó haber tenido cortes del servicio de energía eléctrica generados por problemas de la red eléctrica de la zona. Además, para el año 2013 se registró que el Índice de riesgo por consumo de agua para la población de ciudad bolívar era de 26,8% siendo catalogado como un riesgo medio, atribuido a altos niveles de cloro y presencia de algunos microorganismos [18].

Respecto a medios de transporte durante los años 2016 y 2017 se reportó que la mayoría de la población se desplazaba peatonalmente, seguido del uso de transporte público, como Transmilenio, SITP y buses, siendo muy poca la población que se transporta en vehículos particulares [12], la malla vial de la localidad se encuentra en su mayoría compuesta por vías arteriales con un total de 79,1 kilómetros pertenecientes a vías arteriales principales y 102,7 kilómetros correspondientes a vías arteriales complementarias; en la tabla 2-3 se puede observar las principales vías de la localidad de ciudad bolívar.

Tabla 2-3 Vías arteriales de Ciudad Bolívar

Nombre	Malla vial
Avenida Alameda del Sur	Principal
Avenida Bosa	Principal
Avenida Ciudad de Villavicencio	Principal
Avenida Jorge Gaitán Cortes	Principal
Avenida Boyacá	Principal
Avenida del Sur	Principal
Avenida Circunvalar del Sur (Terrenos)	Principal
Avenida Camino a Pasquilla	Complementaria
Avenida Autopista al Llano	Complementaria
Avenida Camino de la Horqueta	Complementaria
Avenida Bacatá	Complementaria
Avenida Mariscal Sucre (Carrera 19)	Complementaria
Avenida Tunjuelito	Complementaria
Avenida San Francisco	Complementaria

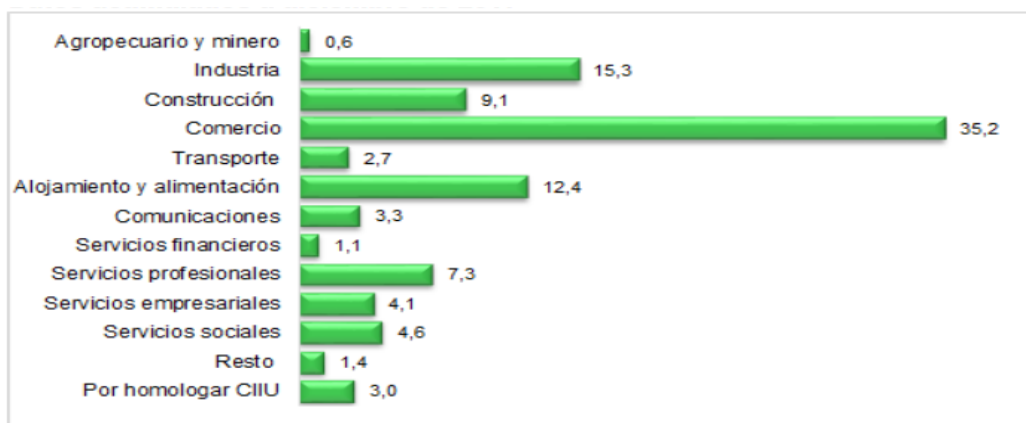
Fuente: [19]

De las vías principales, las más importantes para localidad son la avenida Villavicencio la cual es la quinta salida de Bogotá con mayor tránsito de camiones; y la avenida Boyacá que permite una conexión en la ciudad de sur a norte. También para el año 2017 se reportó la malla vial de la localidad como una de las que se encontraba en un estado más deteriorado, ya que, del 35,4% de las vías que se catalogan como plenamente terminadas y pavimentadas un 28% se encontraba en mal estado [12, 20].

2.1.3.3 Economía

Las principales actividades económicas realizadas dentro de la localidad se encuentran atribuidas a los sectores de comercio e industria representando éstos el 35,2% y 15,3% del total de las empresas con matrícula comercial (ver gráfico 2-5).

Gráfico 2-5 Empresas con matrícula activa por sector económico 2017



Fuente: [12].

La mayor parte del uso del suelo es residencial representando éste el 59,7% del total de los predios y un 13,4% es utilizado para comercio e industria, además, en el año 2017 ciudad bolívar aportaba un 8,6% del total de la población ocupada y económicamente activa de toda la ciudad [12].

Entre los años 2017 y 2018 se ha visto un elevado incremento en la creación de empresas, ya que, en 2018 se han registrado un 9,8% más empresas en la localidad respecto al año anterior [21], también es importante mencionar que en la extensa área rural de la localidad se encontró que el 59% de los predios realizan alguna actividad agropecuaria, mayormente dedicados a cultivos y ganadería [18].

2.1.4 ASPECTOS AMBIENTALES

La ubicación de la localidad de Ciudad Bolívar corresponde a una altitud de 2.750 msnm, siendo catalogada dentro de un piso térmico frío, en donde predomina una temperatura promedio de 14 °C , además un total de 4.080 hectáreas de la localidad (31,4%) se catalogan como suelo protegido, en su mayoría las zonas protegidas se encuentran en el territorio rural y abarcan humedales, reservas forestales, parques ecológicos y zonas de paramo [18].

Ciertos sectores del suelo residencial y gran parte del suelo rural de Ciudad Bolívar forma parte de la unidad de planeación rural del río Tunjuelo, además la localidad hace parte de la ronda hídrica de otros cuerpos de agua, como la Quebrada Las Limas o la Quebrada Trompeta, que junto con el río Tunjuelito han presentado problemas de contaminación por la recepción de vertimientos y residuos de actividades comerciales, industriales y residenciales de la localidad [18].

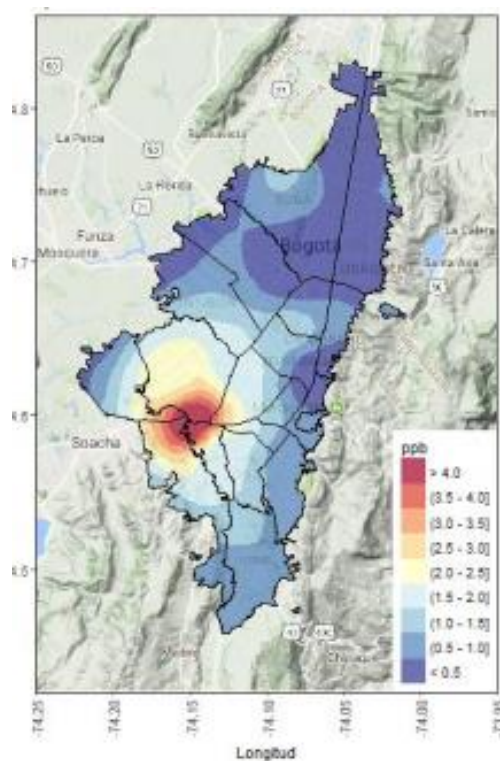
La inadecuada disposición de residuos es un aspecto ambiental muy importante, pues en el año 2015 hubo 319 puntos críticos de inadecuada disposición de residuos ordinarios, residuos de construcción, llantas, entre otros. También es importante mencionar que en Ciudad Bolívar se encuentra el relleno sanitario Doña

Juana el cual opera en un total de 303,78 hectáreas del suelo rural de la localidad, y cuya principal vía de acceso es a través de la autopista a Villavicencio que transita tanto por el casco urbano como por el área rural de Ciudad Bolívar [18].

El componente atmosférico es tal vez el más preocupante en la localidad pues en el año 2011 todas la UPZ fueron catalogadas como áreas-fuente de contaminación Clase I por PM_{10} , es decir que el 75% de las veces en éstas zonas se exceden los estándares de la norma nacional [9], a pesar de esto la localidad no cuenta con una estación de monitoreo propia, sin embargo, de acuerdo al informe de calidad del aire de Bogotá en el año 2017 y mediante diferentes métodos de análisis y simulación, se determinó que la parte occidental de la localidad fue una de las zonas de la ciudad que presentaba mayores concentraciones de PM_{10} con un rango de 51 a $60 \mu g/m^3$ [7].

También una gran cantidad de material suspendido en el aire es atribuida a vías no pavimentadas [7], ya que en la localidad gran parte de las vías proyectadas se encuentran sin construir o parcialmente construidas, pues, únicamente el 35,4% las vías están plenamente terminadas y pavimentadas. [12] Adicionalmente esta zona también es una de las que presenta mayores concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x) como se puede observar en Mapa 2-2 la zona nororiental de la localidad se encuentra en una de las áreas con mayores concentraciones de éste último contaminante.

Mapa 2-2 Concentraciones promedio anual simulada de SO_2 , 2017



Fuente: [7]

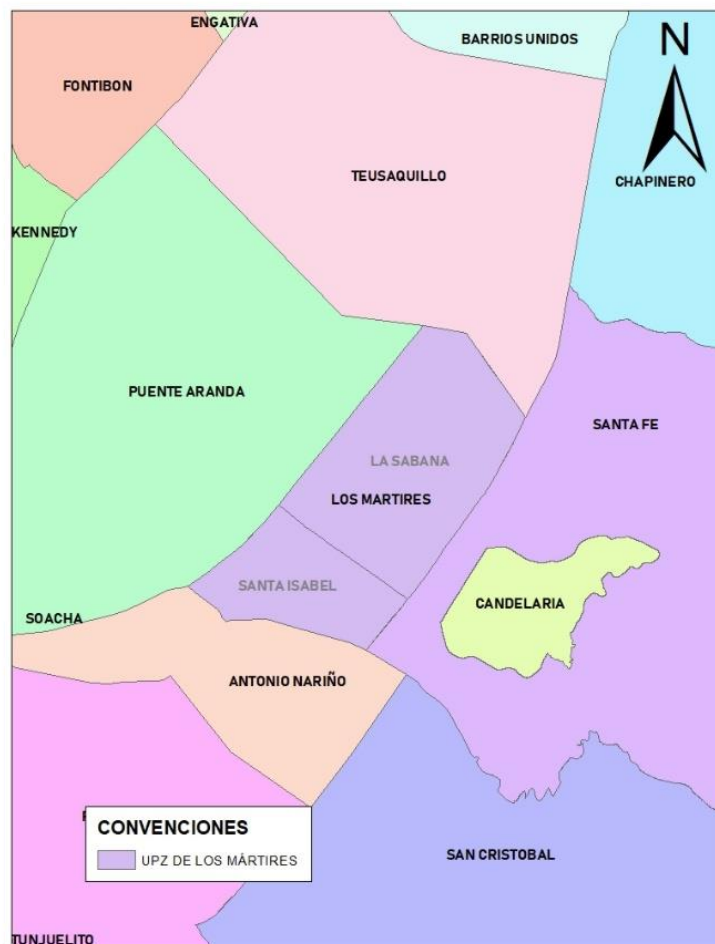
2.2 GENERALIDADES: LOCALIDAD DE LOS MÁRTIRES

2.2.1 UBICACIÓN

Ubicada en la parte central del territorio urbano de Bogotá y conocida como la localidad número 14, Los Mártires limita hacia el norte con la localidad de Teusaquillo, al oriente con la localidad de Santafé, al sur con la localidad Antonio Nariño y al occidente con la localidad de Puente Aranda (Mapa 2-3), y cuenta con una extensión de 651,4 hectáreas de las cuales el 100% corresponde a área urbana [22].

La mayoría del suelo de la localidad se encuentra bajo un concepto comercial y residencial consolidado y administrativamente se divide en las UPZ La Sabana Santa Isabel, las cuales abarcan el 69,2% y el 31,8% de la extensión de la localidad respectivamente [22].

Mapa 2-3 Ubicación y división administrativa de Los Mártires

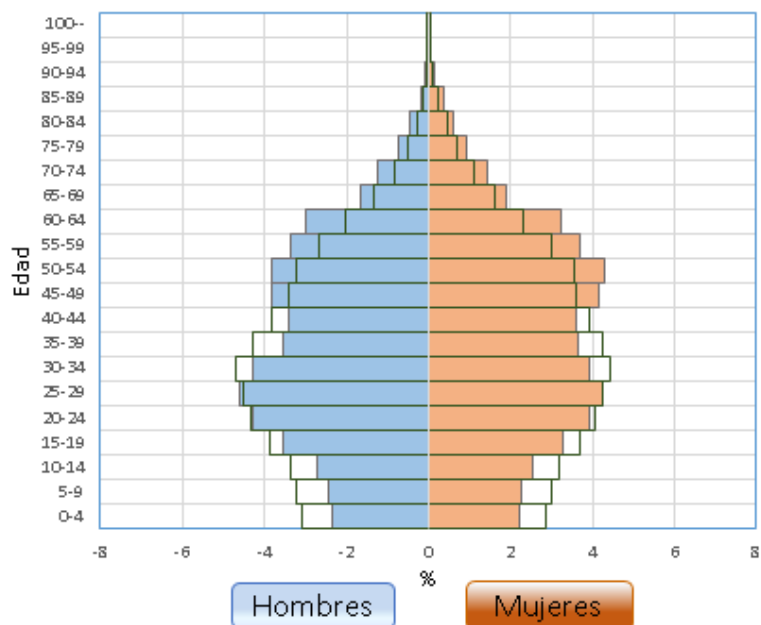


Fuente: [13]

2.2.2 POBLACIÓN

La población de la localidad ha decrecido en los últimos años y a pesar de que ésta dinámica poblacional es predominante en la ciudad, para Los Mártires se ha evidenciado un decrecimiento exponencial más acelerado a comparación del promedio de Bogotá, (Gráfico 2-7), pues según la SDP para el año 2017 en Los Mártires había un estimado de 93.716 habitantes y se espera que éste disminuya a 92.754 en el año 2019 [14], en la pirámide poblacional (Gráfico 2-6) se puede evidenciar que se mantiene una proporción equitativa entre hombres y mujeres, representando el 49,55% y el 50,45% respectivamente.

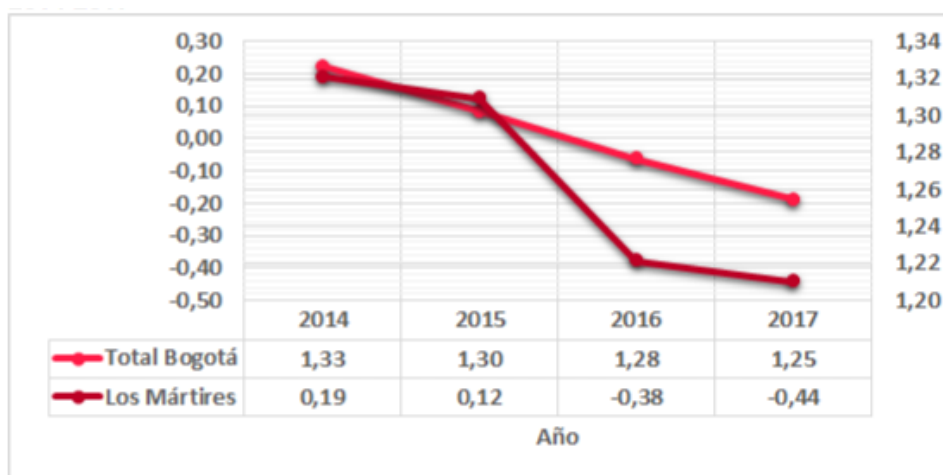
Gráfico 2-6 Pirámide poblacional de la localidad de Los Mártires, 2019



Fuente: [14]

La pirámide poblacional de la localidad tiene una estructura regresiva en donde la base se angosta, esto quiere decir que en la localidad se ha evidenciado una reducción en la tasa de fecundidad, así como un aumento en la tasa de envejecimiento, ya que, a comparación del promedio de la ciudad en Los Mártires se concentra una proporción mayor de adultos mayores de 45 años [15].

Gráfico 2-7 Crecimiento exponencial anual Los Mártires Vs Bogotá



Fuente: [22].

En el año 2016 había una tasa de fecundidad de 49 nacimientos por cada 1000 mujeres en edad de fecundidad y para el año 2020 se proyecta una tasa de 47 nacimientos, así mismo según las proyecciones en el 2016 se evidenciaba un indicador de 54 adultos mayores por cada 100 niños y jóvenes, y para 2020 se espera llegar a 68 adultos mayores por cada 100 niños y jóvenes [15].

En la UPZ Santa Isabel a pesar de ser la más pequeña se concentra una mayor densidad poblacional 216 habitantes por hectárea, esto es debido a que la UPZ La Sabana tiene un uso principalmente comercial y Santa Isabel un uso residencial, el paulatino cambio de uso del suelo de la localidad de residencial a comercial puede ser en parte responsable del continuo decrecimiento en la población de la zona [22].

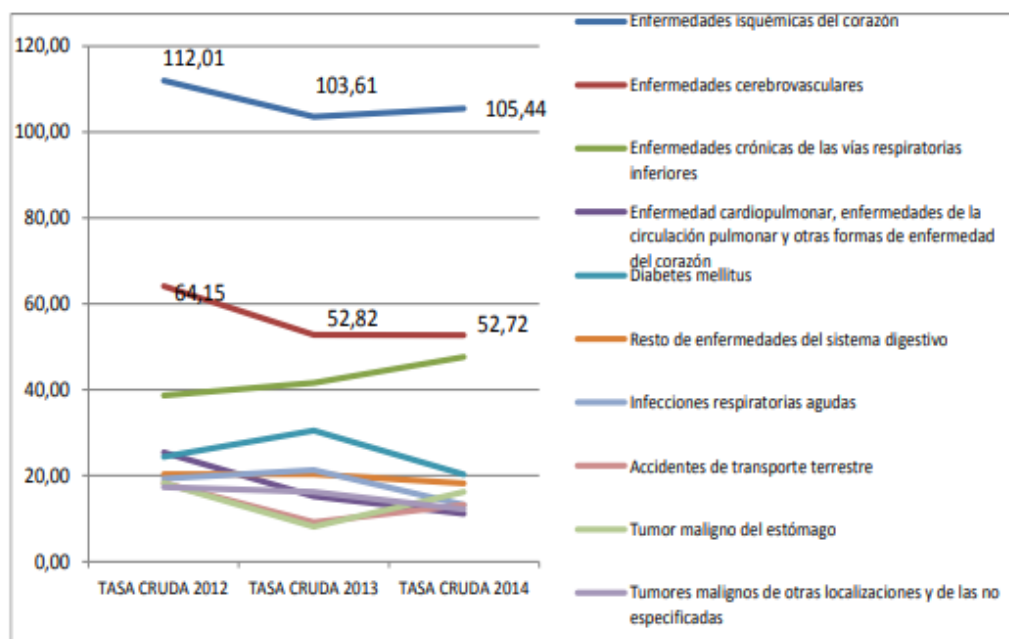
En Los Mártires es particularmente notable la presencia de población diferencial como lo son los habitantes de la calle, ya que, según el censo a este tipo de población realizado el año 2017, se encontró que en esta localidad se concentran 1750 habitantes de calle, lo cual es un 25% del total de los censados en Bogotá [23], también es muy notoria la existencia de zonas de comercio de alto impacto reglamentadas y legalizadas por el gobierno, en donde se ejerce la prostitución [24].

2.2.3 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

2.2.3.1 Salud

La localidad se encuentra bajo la jurisdicción de la subred de salud Centro-Oriente, ésta reportó para el periodo 2012-2014 a las enfermedades isquémicas del corazón, enfermedades cerebrovasculares y enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores, como las tres principales causas de mortalidad en la población, además, como se puede observar en el gráfico 2-8 , en el transcurso de tres años las dos primeras causas de mortalidad han tenido una disminución en su tasa y por el contrario las enfermedades crónicas de las vías respiratorias han elevado su tasa de mortalidad para el mismo periodo de tiempo [25].

Gráfico 2-8 Primeras causas de mortalidad, localidad de Los Mártires (2012-2014)



Fuente: [25].

Respecto a mortalidad infantil de acuerdo a la subred de salud, en la localidad las tasas de mortalidad perinatal e infantil en el año 2015 fueron 12,38 y 9,3 por cada 1000 infantes respectivamente [25], sin embargo, en el año 2017 ambas tasas presentaron un aumento llegando a 14,4 y 11,6 muertes [22], ésta situación puede ser una causa de la dinámica poblacional que se presenta en la localidad. Además, para el 2017 en Los Mártires se presentó la segunda tasa de mortalidad más alta por neumonía en menores de 5 años (17,4 por cada 100.000 menores), siendo únicamente superada por la localidad de la candelaria [22].

Se encontró para la morbilidad de la localidad que en la población la principal causa de consulta era “demás enfermedades” representando ésta causa un 52,2% de los casos, seguido de las enfermedades del sistema circulatorio con 12,54% y en tercer lugar las enfermedades transmisibles con un 9,1% de los casos [25], en la tabla 2-4, se puede ver con mayor detenimiento las dos principales causas de consulta externa para cada grupo etario.

Tabla 2-4 Principales causas de consulta externa por grupo etario: Los Mártires, 2015

Grupo etario	Causa	% respecto al total	subcausa	% respecto a la causa
menores de 1 año	enfermedades transmisibles	32,72	infecciones agudas de las vías respiratorias	57,34
	demás enfermedades	24,71	enfermedades de la cavidad bucal	Sin datos
1 a 5 años	demás enfermedades	39,75	enfermedades de la cavidad bucal	55,3
	enfermedades transmisibles	22,68	enfermedades de las vías respiratorias superiores	44,57
6 a 11 años	demás enfermedades	59,35	enfermedades de la cavidad bucal	45,66
	enfermedades transmisibles	15,19	helmintiasis	Sin datos
12 a 17 años	demás enfermedades	51,81	enfermedades de la cavidad bucal	28,82
	enfermedades transmisibles	7,94	infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	50
18 a 26 años	demás enfermedades	46,5	enfermedades de la cavidad bucal	19,6
	otros diagnósticos	25,4	síntomas y signos que involucran el sistema digestivo y el abdomen	14,16
27 a 59 años	demás enfermedades	57,6	enfermedades de la cavidad bucal	29,6
			enfermedades hipertensivas	19,5
			enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	18,5
Mayores de 60 años	demás enfermedades	47,4	enfermedades de las vías respiratorias inferiores	13,2
	enfermedades del sistema circulatorio	34	enfermedades hipertensivas	54,4
Población total	demás enfermedades	52,2	Enfermedades de la cavidad bucal	20,36
			Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	9,3
			artropatías	4,4

Fuente: [25]

Como se mencionó, las enfermedades de la cavidad bucal son una causa muy común de consulta externa en todos los grupos etarios, y las enfermedades e infecciones respiratorias son patologías con un porcentaje importante en los grupos etarios sensibles, siendo para los menores de 5 años las infecciones respiratorias una causa común tanto de mortalidad como de morbilidad y en adultos mayores las enfermedades crónicas de las vías respiratorias representan un 9,3% de casos de consulta.

2.2.3.2 Infraestructura

Debido al concepto de uso del suelo de "residencial consolidado" la localidad cuenta con una cobertura del 100% en servicios de acueducto, alcantarillado, recolección de basuras y energía eléctrica [22].

En materia de movilidad más del 60% de la población de la localidad se moviliza en los diferentes medios de transporte públicos (Transmilenio, SITP, buses) y un 13,8% de los viajes se realiza en vehículos particulares, además respecto al año 2014 donde un 17,3% de los hogares poseía vehículo propio, se ha visto un notorio

incremento en este indicador pues en 2017 la tenencia de vehículo aumento a un 26,1% de los hogares [22].

La malla vial de la localidad es la tercera más pequeña de entre todas las localidades de la ciudad contando únicamente con un total de 93 kilómetros transitables [20], sin embargo, muchas vías arteriales con elevado flujo vehicular atraviesan la localidad, en la tabla 2-5 se puede observar todas las vías pertenecientes a esta localidad según lo estipulado por el Plan de Ordenamiento Territorial POT de Bogotá.

Tabla 2-5 Vías Arteriales de Los Mártires

Nombre	Malla vial
Avenida Jorge Eliecer Gaitán (calle 26)	Principal
Avenida Caracas	Principal
Avenida Jiménez de Quesada (calle 13)	Principal
Avenida NQS	Principal
Avenida Ciudad de Lima (calle 19)	Principal
Avenida de los comuneros (calle 6°)	Complementaria
Avenida Teusaquillo (calle 34)	Complementaria
Avenida Fucha	Complementaria
Avenida Mariscal Sucre (Carrera 19)	Complementaria
Avenida Camino de la Hortua	Complementaria

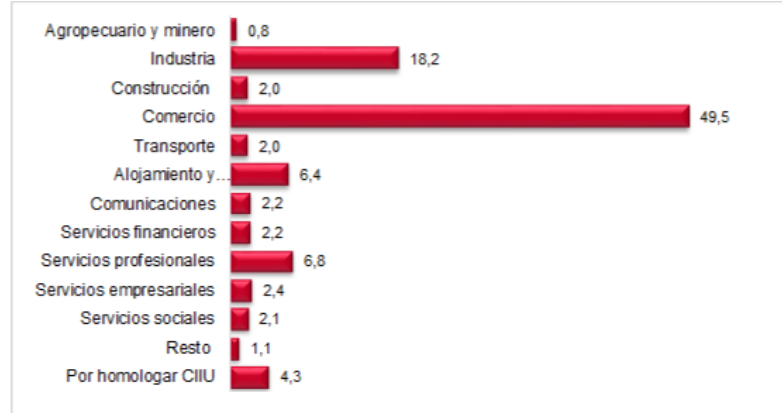
Fuente: [19]

De todas las vías de la localidad únicamente el 5% se encuentra sin construir y de acuerdo al observatorio de movilidad en el año 2016 se reportó a Los Mártires como una de las localidades con un mayor porcentaje (70%) de vías en buen estado [20, 22] .

2.2.3.3 Economía

La localidad de Los Mártires tiene una participación importante en la dinámica empresarial de Bogotá pues para el año 2017 contaba con 27.162 empresas ubicadas dentro de sus límites, de éstas el 77% estén ubicadas en la UPZ La Sabana y 23% en la UPZ Santa Isabel, además de la totalidad de las empresas el sector económico que predomina es el comercial seguido del industrial (Gráfico 2-9) [22].

Gráfico 2-9 Empresas con matrícula activa por sector económico 2017



Fuente: [22]

El elevado número de empresas del sector comercial que posee Los Mártires representa el 6,2% del total de estos establecimientos en Bogotá y respecto al sector industrial, la localidad representan el 5,5% de todas las industrias de la ciudad [21]. Gran parte de las empresas de la localidad son abarcadas por actividades de cadenas de producción de alimentos, textiles, actividades de construcción, y metalmecánicas siendo esta última una actividad que genera diversos problemas, debido a la existencia de múltiples establecimientos ilegales que realizan estas actividades[24].

2.2.4 ASPECTOS AMBIENTALES

Dentro de la extensión de Los Mártires no existen zonas catalogadas como áreas protegidas, y en su estructura ecológica predominan los parques urbanos que tienen un área total de 5,9 hectáreas [22], y debido a la condición de suelo urbano de la localidad, los mayores impactos ambientales están asociados a los recursos aire y suelo, en este último el mayor aspecto es la generación e inadecuada gestión de residuos metálicos, químicos y orgánicos provenientes de las principales actividades económicas de la zona [24].

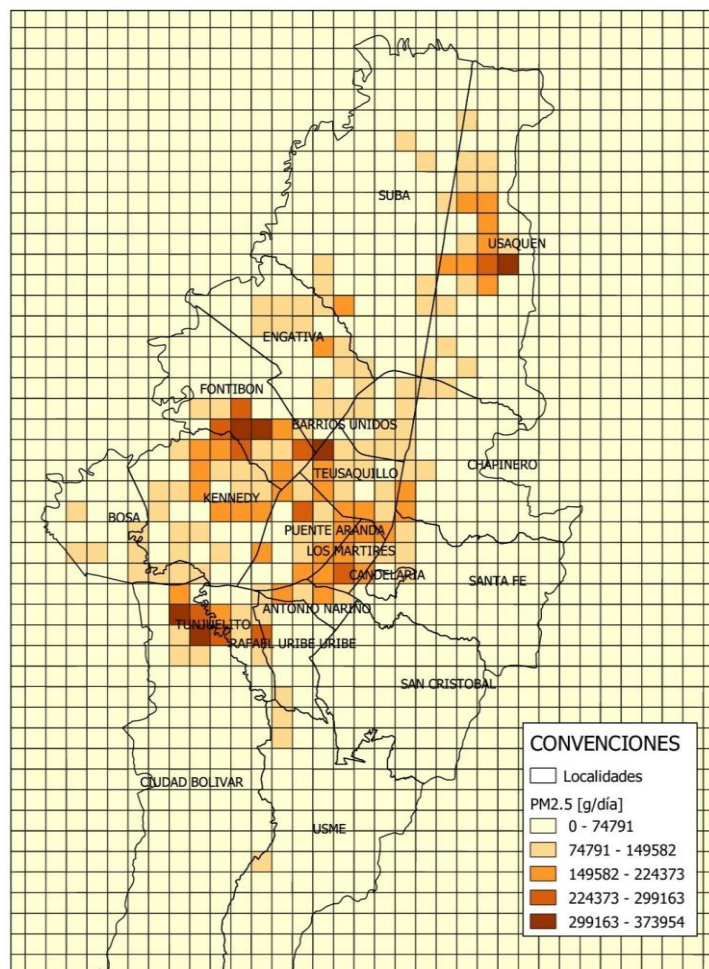
En el componente atmosférico, según el informe de calidad del aire de Bogotá durante el año 2017, en Los Mártires no se presentó ningún nivel de contaminación que sobrepasara los límites diarios o anuales, sin embargo, en los años 2014 y 2015 la localidad presentó numerosas quejas por parte de los residentes respecto a la calidad del aire [7].

Un aspecto muy importante es la cercanía de Lo Mártires a la localidad de Puente Aranda, que, de acuerdo a reportes de la RMCAB, es una de las localidades con mayores niveles de contaminación de la ciudad, si bien en Los Mártires no existe

una estación de monitoreo, mediante modelos se ha estimado que a pesar de que los niveles de contaminantes criterio se mantienen bajo los límites normativos, el $PM_{2.5}$ generado por vehículos que transitan por la malla vial de la localidad, genera uno de los puntos de concentración más alto de éste contaminante (Mapa 2-4) [7].

Lo anterior se atribuye a la presencia de vías con una elevada congestión vehicular, en Los Mártires, principalmente al tráfico en la calle 13, calle 19 y calle 26; en la avenida NQS y avenida Caracas, además, éstas vías junto a las empresas metalmecánicas y litográficas aportan niveles considerables de ruido, generando así problemas por contaminación auditiva [24].

Mapa 2-4 Distribución de $PM_{2.5}$ por vías pavimentadas en Bogotá, 2017



Fuente: [7].

2.4. CADMIO

El cadmio es un metal pesado con número atómico 48 y masa atómica 111, éste elemento normalmente no se encuentra en estado puro en la naturaleza y por el contrario se encuentra asociado a otros elementos, por esta razón el Cd se obtiene generalmente como subproducto de tratamientos metalúrgicos de Zinc o Plomo, en forma de sulfuro de cadmio [26], una vez obtenido en su estado metálico, se utiliza en diversos procesos industriales como:

- Pigmento en diferentes productos industriales (plásticos, textiles, pinturas, etc.)
- Aleación junto al cobre, aluminio y plata.
- Estabilizador de termoplásticos.
- Producción de pilas cadmio-níquel.
- Elemento para procesos de grabado de fotografía y litografía.
- Elemento de galvanoplastia.
- Endurecedor de ruedas de automóviles.

El cadmio es un elemento extremadamente tóxico, ya que se bioacumula, tiene efectos nocivos en la salud y puede transportarse por el suelo, el aire y el agua a grandes distancias, teniendo así una elevada persistencia en el ambiente [26]. Además, debido a sus características químicas como la elevada volatilidad y fácil disolución en el agua (en forma de nitrato y sulfato) [27], el cadmio puede ingresar por diferentes vías en el cuerpo generando distintos problemas; un estudio realizado en Toyama, Japón donde se evidenció que una contaminación en el agua con sulfato de cadmio generó diferentes casos de disentería, osteoporosis, osteomalacia, malformaciones óseas y nefropatías [28].

2.4.1. TOXICOCINETICA

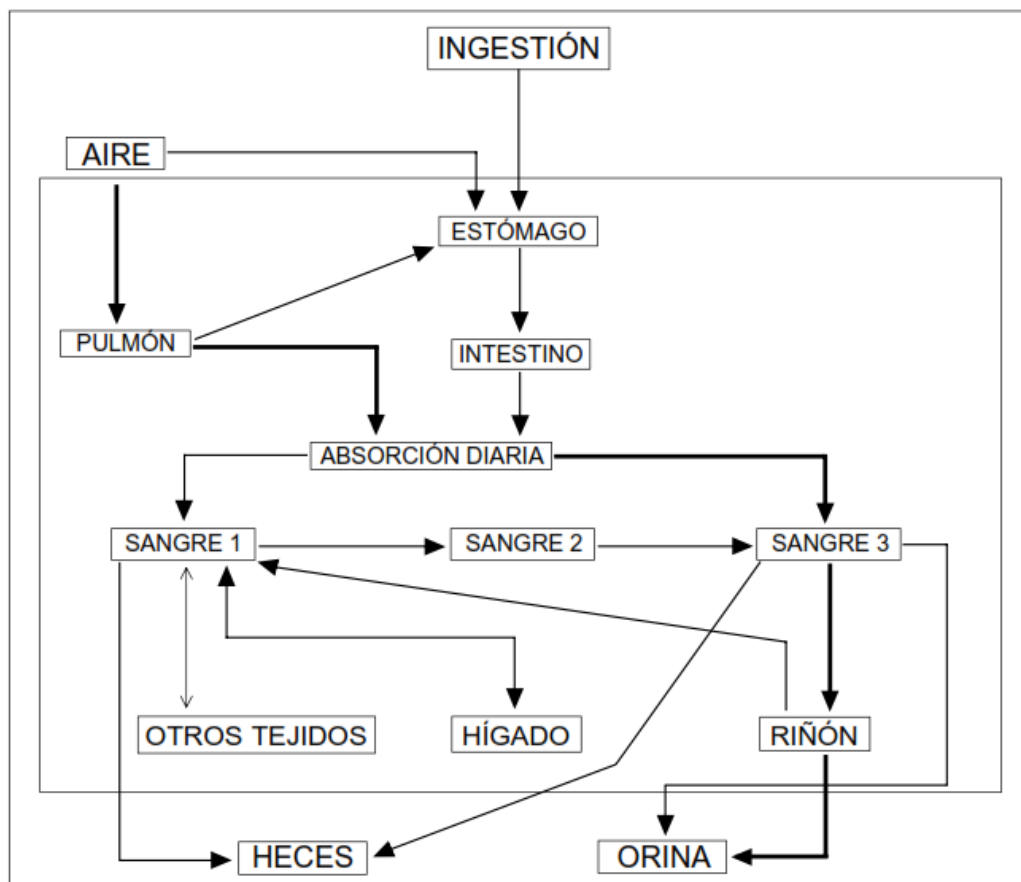
El cadmio puede ingresar tanto por vía oral como por vía respiratoria al organismo, esta última vía de absorción se da principalmente en ambientes laborales por la inhalación de vapores producidos en procesos metalúrgicos. Una vez se inhala en forma de aerosol, entre el 10% y 50% de partículas se depositan en la parte alveolar de los pulmones y de ésta cantidad del 10% al 30% es absorbido aunque en fumadores dicha absorción puede aumentar hasta un 50% [27].

El ingreso por vía oral al organismo es más común en ambientes no laborales y se da principalmente por la ingesta de alimentos contaminados, tanto alimentos de origen vegetal como animal bioacumulan el metal [27], una vez ingresa al organismo se estima que la absorción del xenobiotico por vía gastrointestinal puede llegar a ser de hasta el 50%, aunque diversos factores pueden influir en la absorción, se considera que una deficiencia de hierro, calcio y proteínas en el organismo acelera e incrementa su llegada a circulación sistémica [26].

Tras ser absorbido el cadmio se transporta por el torrente sanguíneo, ya que, es retenido por los glóbulos rojos unido a proteínas de bajo peso molecular como la metalotioneína, es acumulado principalmente en el hígado y los riñones, en estos últimos se concentra del 30% al 50% de la carga corporal, otros órganos donde se acumula son el páncreas y las glándulas salivales. Debido a que se bioacumula es común encontrar en adultos mayores de 50 años, que han tenido exposiciones no laborales, hasta 32 mg del metal en carga corporal [26].

La excreción de Cd se realiza principalmente por la orina, sin embargo, su lenta eliminación es una de las principales causas de que el metal se acumule en el organismo, pues en diferentes estudios se ha evidenciado que diariamente se elimina por vía urinaria menos de un 2% de la dosis diaria absorbida, esto es hasta un 0,007% de la carga total en el organismo, la eliminación por vía fecal corresponde principalmente a cadmio que no fue absorbido, y por vía dérmica tanto la absorción, como la excreción del metal es mínima, por lo que no es relevante [27].

Gráfico 2-10 Esquema toxicocinético del cadmio



Fuente: [26]

2.4.2. TOXICODINAMIA

Como xenobiotico y metal no esencial en el organismo, el cadmio tiene diversos efectos tóxicos, principalmente en el hígado y el riñón por ser su órgano blanco. Los principales efectos a la salud que produce son la neumonitis química, difusión renal con proteinuria y enfisema [26].

Dependiendo de la vía de entrada al organismo y la dosis de cadmio, éste puede producir diferentes efectos por intoxicación aguda como nauseas, salivación, vomito, dolor abdominal, dolor de cabeza, diarrea o shock en caso de ser ingerido. Cuando es inhalado se pueden producir síntomas de fiebre, dolor de cabeza, irritación del tracto respiratorio, tos disnea, escalofríos, insuficiencia respiratoria, edema pulmonar, neumonitis química y en casos más severos la muerte [27], si bien una intoxicación aguda por vapores con óxido de cadmio se da en su mayoría en un ambiente laboral, es recomendado no exceder la exposición a una concentración de 0,002 mg/m³ durante un periodo de 8 horas [29].

El tiempo de latencia de una intoxicación crónica puede variar entre 5 a 30 años, según las dosis absorbidas, cuando ocurre, comúnmente se presenta una decoloración en los dientes, seguido de una pérdida del sentido del gusto. Posteriormente, hay una disminución de glóbulos rojos por daños a la médula ósea, y se presentan dolores lumbares y en las piernas. Debido al daño al riñón, se expulsan en exceso diferentes nutrientes mediante la orina, lo que puede resultar en otros problemas en el organismo (tabla 2-6) [27].

Tabla 2-6 Efectos Crónicos de la exposición a cadmio

Parte afectada	Efecto de intoxicación crónica por Cd
Riñón	Al ser un órgano blanco produce un daño renal irreversible, impidiendo la reabsorción de proteínas en el riñón. También puede generar cálculos renales debido a la alteración en el metabolismo del calcio.
Huesos	Interfiere con el metabolismo del calcio en el riñón, generando osteoporosis, osteomalacia y otras malformaciones óseas.
Sangre	Interfiere con la absorción de hierro, lo que reduce la cantidad de eritrocitos generados en la médula ósea.
Próstata	Se han registrado casos de cáncer en estos órganos causados por exposición a cadmio, además, el Cd es catalogado como cancerígeno por la International Agency for Research on Cancer (IARC).
Pulmones	

Fuente: [11, 27, 29].

2.4.3. CINETICA AMBIENTAL

El cadmio natural no representa una amenaza, pues generalmente no se encuentra en un estado puro y sus depósitos se encuentran geoquímicamente asociados al zinc, además, en proporción a éste último las concentraciones de Cd no superan el 1% [25]. Sin embargo, una vez es obtenido mediante procesos industriales y liberado al ambiente en forma de halogenuros, sulfato, nitrato, óxido, hidróxido, carbonato, etc. Tiene una gran persistencia en el ambiente pues puede desplazarse

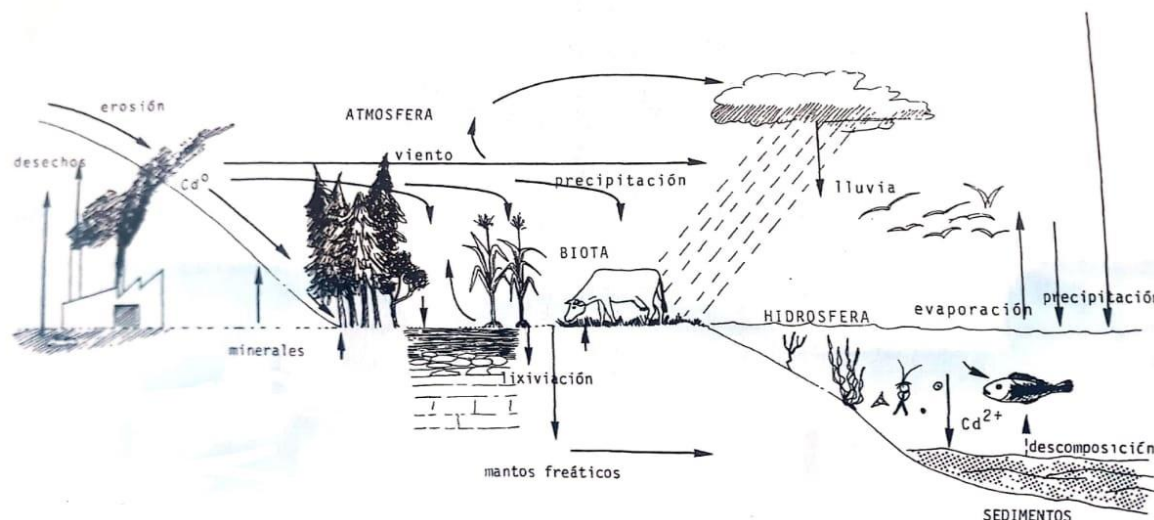
mediante el suelo, el aire y el agua a grandes distancias e incluso bioacumularse en la biota [27]

2.4.3.1. Recurso hídrico

El cadmio puede llegar al recurso hídrico por procesos de sedimentación y erosión de minerales, sin embargo, cuando es producido por una fuente antropogénica, ingresa mediante vertimientos, fertilizantes o precipitaciones que posean con el metal en forma de cloruros, sulfatos y nitratos, ya que en éstas formas es más soluble en agua [25].

En las aguas de mar se encuentran mayores concentraciones de cadmio que en aguas dulces, debido a que en el océano el ion Cd^{+2} tiende a sedimentarse (ver figura 2-1) y puede llegar a re disolverse si hay una disminución en el pH. Además, se ha encontrado que diversos organismos marinos como el zooplancton y diferentes mariscos poseen concentraciones relativamente altas de cadmio, llegando incluso a 15mg/Kg [27].

Figura 2-1 Cinética ambiental del cadmio



Fuente: [27].

2.4.3.2. Recurso Suelo

Aunque la principal fuente natural de cadmio es el desgaste de minerales, en la corteza terrestre se encuentra a concentraciones inferiores a 1 mg/Kg de suelo, así que, el aumento de su concentración se da por el uso de agroquímicos con elevadas concentraciones de sulfato que a su vez puede contener trazas de sulfato de cadmio, además una vez ingresa al suelo, un pH ácido favorece el intercambio de iones de éste metal [27].

El ingreso de cadmio desde el suelo a otros medios se puede dar por vía hídrica mediante aguas subterráneas o mediante las plantas, ya que estas no poseen mecanismos para excretarlo; ciertos granos y cereales como el arroz, la avena y el cacao son más propensos a acumular Cd, y como se mencionó anteriormente condiciones como el pH ácido del suelo favorecerán el aumento de sus concentraciones tanto en el suelo como en los cultivos [27].

2.4.3.3. Recurso Aire

Como es un elemento altamente volátil y en los procesos industriales donde está presente se hace uso de elevadas temperaturas, el cadmio es liberado en forma de vapor al ambiente, donde posteriormente se une a diversas partículas del aire o se oxida y se comporta como un aerosol, siguiendo la misma cinética ambiental de éstos [27]. Siendo mayormente transportado por corrientes de aire y formando parte de las partículas sólidas presentes en el aire ya sea TPS, PM₁₀ o PM_{2,5} [30].

2.5. BIOAEROSOL

Los bioaerosoles son partículas entre < 0.1 µm hasta 100 µm de diámetro, que son transportadas por el aire, éstos son una mezcla de partículas de polvo, organismos vivos y fragmentos de plantas y animales [4, 31], también, se pueden encontrar microorganismos vivos o muertos patógeno y/o no patógenos tales como (virus bacterias, hongos) [32].

Para que se llegue a producir un bioaerosol, se necesitan de tres condiciones: un reservorio en donde de forma natural crece el organismo, un proceso de amplificación generado por condiciones que aumenten de la concentración de la o las especies y por último la diseminación que es la vía por la cual el bioaerosol se dispersará por el aire (estornudos, ductos de ventilación, fuertes corrientes de viento, etc.) [4].

Condiciones ambientales como la temperatura y el contenido de humedad, pueden influir considerablemente en la extensión de su formación y dispersión debido a su efecto controlador sobre la formación de microorganismo [32].

2.5.1. TIPOS DE BIOAEROSOL Y AFECCIONES A LA SALUD

La composición de los bioaerosoles es diversa por lo que pueden ocasionar efectos muy variados en la salud [32], afectando principalmente las vías respiratorias. La mayor parte de los bioaerosoles está formada por bacterias y hongos, así como otros componentes de éstos como micotoxinas, endotoxinas y alérgenos [32]; algunos de los signos y síntomas más comunes generados por bioaerosoles son presentados en la tabla 2-7.

Tabla 2-7 Tipos de bioaerosoles y efectos a la salud

Tipo de Bioaerosol	Posibles enfermedades o efectos a la salud
Bacterias	Neumonía bacteriana, tuberculosis, meningitis, ántrax, difteria, enfermedad de los legionarios, etc.
Hongos	Asma y Micosis invasivas
Endotoxinas	Obstrucción de las vías respiratorias, disfunción pulmonar, fiebre,
Micotoxinas	Alergias, inflamación, debilitamiento del sistema inmune
Alérgenos	Respuestas alérgicas en diferentes partes del cuerpo.
Virus	Influenza, laringitis, neumonía viral, sarampión, rubeola, etc.

Fuente: [4, 31, 32].

Si bien, los bioaerosoles también cumplen una función de fortalecer el sistema inmune (inmunidad adaptativa), la sobreexposición a estos puede causar efectos adversos a la salud, comúnmente una sobreexposición a alérgenos, micotoxinas y endotoxinas ocasiona una estimulación exagerada del sistema inmunológico generando respuestas alérgicas y asma [31].

Los virus y bacterias son los componentes de los bioaerosoles que pueden ocasionar los efectos más variados, ya que, pueden generar desde inflamaciones en las vías respiratorias hasta alteraciones en el sistema cardiovascular, meningitis y eventualmente la muerte [32]. Es importante aclarar que siempre se está expuesto bioaerosoles y para que estos lleguen a generar efectos negativos es necesario que haya una elevada concentración de patógenos en el aire o que la acción del sistema inmune se encuentre disminuida [33].

Respecto a los hongos, en condiciones normales únicamente generan respuestas alérgicas con sus esporas, sin embargo, en personas inmunodeficientes muchos de estos pueden generar micosis pulmonares invasivas [33], como en el caso del aspergillus que es un hongo muy común en el ambiente y en condiciones normales es inofensivo [34].

2.6. MONITOREO AMBIENTAL DE MATERIAL PARTICULADO

El material particulado comprende una mezcla partículas suspendidas en el aire, solidas o liquidas; orgánicas o inorgánicas [5]; y se clasifica según el tamaño de estas partículas en:

- Partículas totales suspendidas (TSP), que son partículas dispersas en el aire que no se sedimentan en un periodo corto de tiempo debido a características como su densidad o tamaño [5].
- PM₁₀ las cuales son todas las partículas suspendidas en el aire con un diámetro igual o inferior a 10 micrómetros [5].
- PM_{2,5} las cuales tienen un diámetro igual o inferior a 2,5 micrómetros. Son las más peligrosas para la salud, ya que, pueden alcanzar las zonas de los bronquios y los alveolos [5].

La exposición a material particulado y los efectos agudos y crónicos que éste puede causar sobre la salud, es algo altamente estudiado y demostrado, así mismo, diferentes entidades y gobiernos han establecido distintas normativas y metodologías para conocer de forma continua las concentraciones de TSP, PM₁₀ y PM_{2.5} a las que la población se encuentra expuesta [3], puntualmente en Colombia desde el año 2006 se ha establecido el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire publicado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y que a nivel legal es el documento de referencia para realizar mediciones de contaminantes atmosféricos [35].

2.6.1 MUESTREO CON EQUIPO HI-VOL

El IDEAM ha clasificado los Sistemas de vigilancia de calidad del aire de acuerdo a su método de operación siendo estos: manual, automático e híbrido. La metodología manual es aquella que se divide en una fase de muestreo y una fase de análisis de laboratorio, para la primera etapa de éste método es necesario el uso de equipos muestreadores comúnmente en un muestreo de material particulado se hace uso de un equipo Hi-Vol [35].

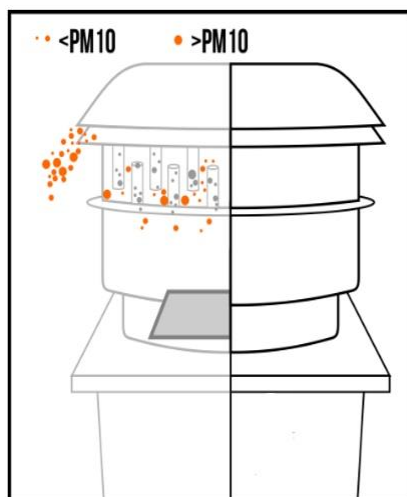
Figura 2-2: Muestreado Hi-Vol



Fuente: [36].

Un muestreador de alto volumen o muestreador Hi-Vol es un equipo que succiona una cantidad medible de aire ambiente hacia una caja de muestreo, éste instrumento utiliza una entrada de tamaño selectivo para separar el material particulado superior a 10 µm, asegurando que a través de un filtro solo se depositen partículas de 10 micras o menos (figura 2-3), comúnmente opera durante un periodo de tiempo conocido (generalmente 24 horas) [36].

Figura 2-3: Funcionamiento de un muestreador Hi-Vol



Fuente: [36].

El filtro utilizado en el muestreador es sumamente importante, pues, según su composición permitirá realizar diferentes análisis para determinar el contaminante que se desee estudiar [37]. De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) existen cuatro tipos de filtro que son presentados en la tabla 2-8

Tabla 2-8 Características de los tipos de filtro para medidores Hi Vol

Tipo de filtro	Características
Filtros de Celulosa	• Genera pocas 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	• Temperatura máxima de hasta 540 °C. • Alta eficiencia de colección. • Bueno para ambientes corrosivos. • Bueno con la extracción. • Eficiencia en la retención de metales.
Filtro Sintético	• La eficiencia de recolección de > 99% para partículas de 0,01 micras • Pocas impurezas. • Excelente para análisis de rayos X. • Excelente para la determinación de la masa total • No higroscópico. • bueno para la colección HNO_3
Filtros de membrana de fibra (gel seco de ésteres de celulosa)	• Frágil; requiere almohadilla de soporte durante el muestreo. • Alta caída de presión. • Bajo residuo cuando se incinera

Fuente: [37].

2.6.2 ANALISIS DE LABORATORIO

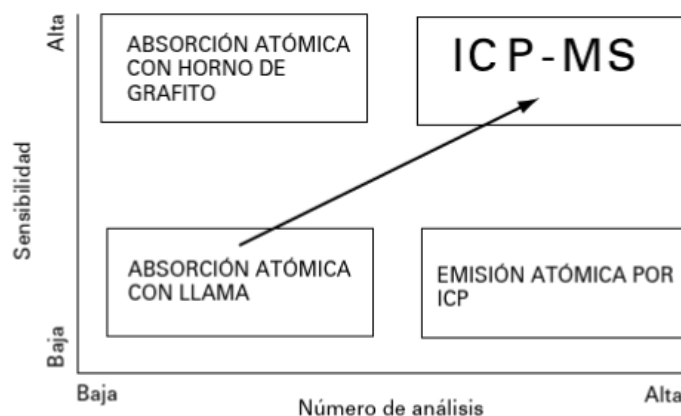
La etapa de análisis o etapa de postmuestreo hace referencia a cualquier procedimiento realizado al filtro una vez es retirado del equipo, ésta etapa abarca desde el transporte del filtro al laboratorio, hasta la disposición final del mismo. Generalmente se realiza un procedimiento de pesaje que permitirá determinar las concentraciones de material particulado presentes en el filtro, sin embargo, para determinar la presencia de contaminantes más específicos, el filtro puede ser sometido a diversos métodos de análisis de laboratorio [35].

2.6.2.1 DETERMINACIÓN DE METALES EN PARTÍCULAS, MÉTODO USEPA IO 3.5

El IO 3.5, es un metodolo estándar utilizada para la determinación de metales en partículas, este método especifica insumos y procedimientos que deben realizarse sobre un filtro de cuarzo para poder determinar concentraciones de metales mediante un sistema de plasma acoplado inductivamente acoplado a espectrometría de masas (ICP-MS) [38].

La espectrometría de masas ofrece muchos beneficios respecto a otras metodologías de análisis, debido a que posee una mayor sensibilidad y permite hace un análisis multielemental de una sola muestra, además, requiere un poco cantidad de muestra y trabaja con disolventes orgánicos, en el Gráfico 2-11 se puede ver las ventajas que ésta metodología de análisis tiene respecto a otras [39].

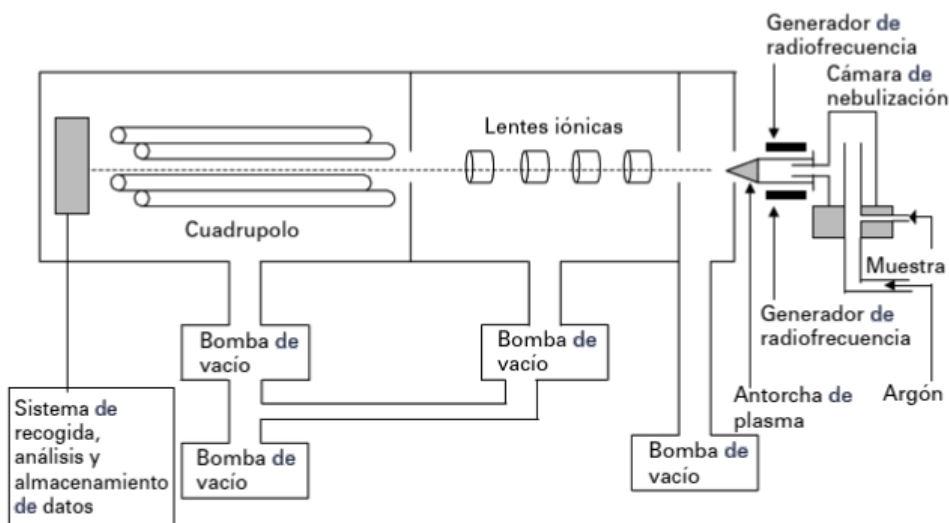
Gráfico 2-11 Comparación de las características de varias técnicas de detección



Fuente: [39]

El ICP-MS es un sistema de análisis multielemental altamente sensible, como se puede ver en la figura 2-4 el instrumento emplea plasma inducido como fuente de vaporización y ionización para realizar un análisis mediante espectrometría de masas.

Figura 2-4 Estructura de un equipo ICP-MS



Fuente: [39]

Como se puede observar, la muestra debe ingresar al equipo en estado líquido por lo tanto el método IO 3.5 especifica que debe realizarse una digestión ácida al filtro de cuarzo mediante el uso de ácido nítrico y ácido clorhídrico [38].

2.7. MUESTREO DE BIOAEROSOL

Para muestrear bioaerosoles existen dos métodos, un método pasivo y un método activo, la principal diferencia radica en que, en un muestreo pasivo se espera que las partículas se sedimenten por el efecto de la gravedad sobre el medio de recolección, y por su parte en un método activo hace uso de ayudas mecánicas que modifican el flujo del aire y lo transportan al interior de un equipo [40].

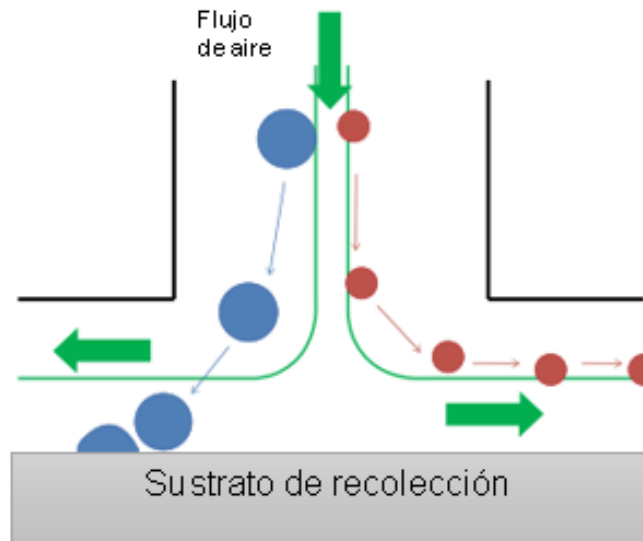
Los equipos usados durante un muestreo activo se clasifican según la forma en la que mueven el flujo del aire, así como el tipo de medio de recolección que éstos utilizan siendo los principales los ciclones, los impregnadores y los impactadores. [40]; generalmente los muestreos activos ofrecen muchos beneficios al momento de realizar un análisis, pues permiten conocer el volumen de aire de la muestra y en ocasiones pueden implementarse filtros que permitan seleccionar el tamaño de partículas que se desea estudiar.

2.7.1. MUESTREO POR IMPACTACIÓN

Los equipos de muestreo impactadores utilizan la inercia de las partículas para atrapar las de mayor tamaño en una placa de agar, mientras que las de menor tamaño no cuentan con una inercia suficiente para impactar con el medio de recolección, como se muestra en la figura 2-5 las partículas más pequeñas siguen

el flujo de aire escapando del equipo quedando únicamente en el medio de recolección las más grandes o densas.

Figura 2-5 Funcionamiento de un equipo impactador



Fuente: [40]

2.7.2. MEDIOS O SUSTRATOS DE RECOLECCION

Los medios de recolección suelen ser agares, filtros o sustratos líquidos siendo estos últimos muy efectivos pues no se secan y someten a menor estrés a los microorganismos colectados, sin embargo los otros dos medios de recolección también tiene una buena viabilidad al momento de realizar investigaciones [40]. Los agares poseen una gran versatilidad al momento de realizar estudios de microorganismos, ya que, existe una amplia cantidad de compuestos que pueden ser selectivos o diferenciales, lo que permite identificar con mayor facilidad la cepa, género o especie que se desee estudiar [41].

2.7.2.1. Agar sangre

Es un medio diferencial, que se prepara mediante una infusión de un agar base y sangre, permite cultivar y aislar microorganismos exigentes, y debido su pH ligeramente ácido favorece las reacciones de hemólisis para identificar organismos de interés clínico, para su preparación se añade un 5% de sangre al agar base una vez se esteriliza [41].

2.7.2.2. Agar EMB (Eosin Methylene Blue Agar)

Es un agar selectivo y diferencial que permite la detección y aislamiento de bacterias entéricas, principalmente bacilos Gram negativos como el *Escherichia coli*, debido a el colorante eosina y el azul de metileno, el medio inhibe a las bacterias Gram positivas y permite diferenciar fácilmente coliformes, (que forman colonias negras o

azules) y especies de *Salmonella* y *Shigella* (que forman colonias incoloras o transparentes) [41].

2.7.2.3. Agar Sabouraud

Es un medio de cultivo recomendado para el aislamiento y desarrollo de hongos, particularmente aquellos asociados a infecciones o enfermedades cutáneas, su pH ácido junto al elevado contenido de nutrientes, como la glucosa y la peptona, y la presencia de cloranfenicol hace que en este agar predomine el crecimiento de hongos sobre el de bacterias. Además, tiene la ventaja de poder ser complementado con agentes selectivos [41].

2.7.2.4. Agar PCA (Plate count Agar)

Es un medio empleado para fines generales, es decir, cualquier bacteria salvo algunas muy exigentes pueden desarrollarse en este medio, se utiliza principalmente para hacer recuentos de cargas microbianas [41].

2.8. MARCO NORMATIVO

Tanto a nivel nacional como internacional se han creado diversas normativas con el fin de controlar y mitigar la contaminación del aire, pues existe suficiente evidencia que demuestra que este problema además de ser de interés ambiental también puede afectar de forma muy negativa la salud de las personas [1], a pesar de que existen muchas normativas, la OMS, la USEPA y la Unión Europea (UE) son los referentes internacionales más importantes en materia de normatividad referente a la calidad del aire.

A nivel nacional el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) establece la legislación referente a la conservación y manejo de los recursos naturales y el medio ambiente. Para regular la calidad del aire en Colombia el MADS ha emitido diferentes normativas, siendo la Resolución 2254 de octubre 2017 la norma vigente para niveles máximos de contaminantes en el aire. En la tabla 2-9 se pueden observar las concentraciones máximas permitidas tanto nacional como internacionalmente para cadmio y PM₁₀ que son los contaminantes de interés de esta investigación [42].

Tabla 2-9 Niveles máximos permisibles, nacionales e internacionales para PM₁₀ y Cd

Contaminante (µg/m ³)	MADS	USEPA	OMS	UE
PM ₁₀	50 anual 100 diario	50 anual 150 diario	20 anual 50 diario	40 anual 50 diario
Cadmio	0,005 anual	Sin establecer	0,005 anual	0,005 anual

Fuente: [42–44]

También es importante hacer mención al TLV determinado por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) que es de 0.002 mg/m³ durante un periodo de 8 horas, pues las enfermedades generadas por cadmio tienen una mayor incidencia cuando se está expuesto a éste en un ámbito ocupacional [29].

Para bioaerosoles no existe un estándar internacional y diversas investigaciones y organizaciones han establecido diferentes límites máximos de concentración de Unidades Formadoras de Colonias (UFC), variando desde 50 UFC/m³ hasta un máximo permisible de 1000 UFC/ m³, sin embargo, cuando hay presencia de algún microorganismo potencialmente patógeno se presentan mayores restricciones [34].

2.8.1. NORMATIVA NACIONAL

Aunque la Resolución 2254 de octubre 2017, dicta los parámetros máximos permisibles para contaminantes en el aire, el gobierno colombiano tiene un amplio marco legal correspondiente a calidad del aire, las normas, decretos, leyes, resoluciones y demás documentos legales de interés para la presente investigación son presentados en la tabla 2-10.

Tabla 2-10 Normativas referentes a calidad del aire en Colombia

Documento/ Ley	Emitido por	Objetivo
Resolución 2254 de 2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.
Resolución 610 de 2010	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Artículo 6: por el cual se declara el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la Calidad del aire como protocolo que debe ser adoptado a nivel nacional, de forma obligatoria, para la ubicación y el diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire
Decreto 174 de 2006	Alcaldía Mayor de Bogotá	Por medio del cual se adoptan medidas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire en el Distrito Capital
Decreto 623 de 2011	Secretaría Distrital de Ambiente	Por medio del cual se clasifican las áreas-fuente de contaminación ambiental Clase I, II y III de Bogotá, D.C
Decreto 515 de 2016	Alcaldía Mayor de Bogotá	Por medio del cual se toman medidas para el mejor ordenamiento del tránsito en las vías públicas de todo el perímetro del Distrito Capital, y se dictan otras disposiciones

Fuente: [9, 35, 42]

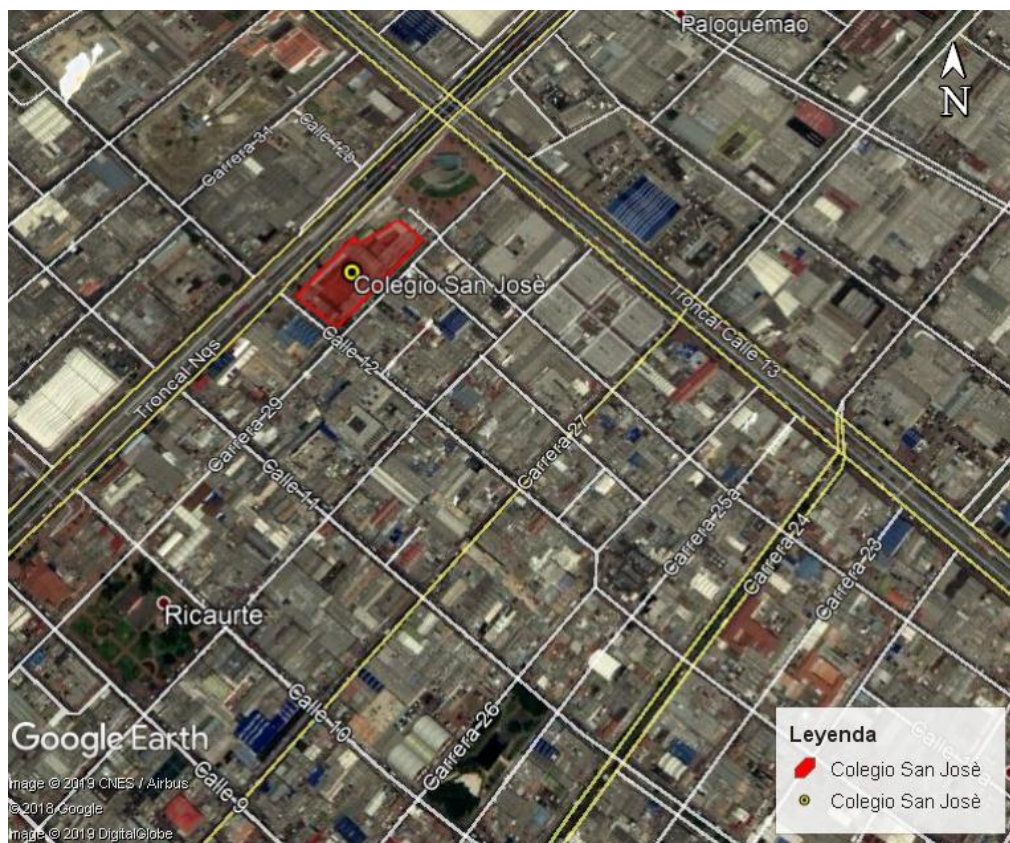
3. METODOLOGIA

3.1. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo fueron seleccionados buscando zonas que pueden estar afectadas por un alto flujo vehicular y por la presencia de actividad industrial y comercial en las localidades de interés, además, otros factores como la seguridad física de los equipos de muestreo y el flujo constante de energía.

Considerando lo anterior para la localidad de Los Mártires se realizó el muestro en el colegio San José (Figura 3-1), ubicado en la UPZ la Sabana, en el barrio Ricaurte. Geográficamente las coordenadas de éste punto de muestreo son $4^{\circ}36'44.59''$ y $-74^{\circ}5'36.26''$ [45], además, se encuentra localizado en una zona industrial compuesta principalmente por talleres de metalmecánica, oxicortes, soldadura y litografías; que son potenciales fuentes emisoras de cadmio contaminante de interés en la presente investigación [24, 27].

Figura 3-1 Ubicación colegio San José



Fuente: [45]

Como se puede observar frente al colegio San José está la carrera 29 que es una vía por la cual constantemente transitan vehículos particulares y articulados de Transmilenio, por otra parte, hay cercanía a la carrera 30 y a la calle 13 que son dos grandes vías arteriales y a su vez troncales del servicio de Transmilenio y de las cuales el colegio se encuentra a tan solo 69 y 180 metros respectivamente. Así mismo cerca a la Calle 12 con Carrera 27 hay presencia de talleres de mecánica que aportan tanto emisiones atmosféricas como contaminación auditiva [24].

Respecto al punto de muestreo en Ciudad Bolívar se seleccionó el colegio Cofraternidad de San Francisco (Figura 3-2), que se encuentra ubicado en la UPZ San Francisco, en el barrio del mismo nombre, cuya ubicación geográfica es $4^{\circ}33'43.18''$ y $-74^{\circ}8'26.71''$. A pesar de estar en una zona de uso residencial y comercial, éste punto se encuentra rodeado de ferreterías, chatarrerías, y pequeñas industrias, que fueron consideradas como fuentes fijas de interés [17].

Figura 3-2 Ubicación Colegio Cofraternidad de San Francisco



Fuente: [45]

Las vías principales más cercanas a éste punto son la Avenida Boyacá a 211 m al oriente, la diagonal 62 sur a 33 m al norte y también hacia el norte se encuentra la avenida Villavicencio a 526 m. Estas vías son altamente transitadas por vehículos de transporte público y carga pesada [20], El elevado tráfico en éstos corredores viales es la mayor causa de conflictos por ruido en la localidad [18].

3.2. REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE FUENTES FIJAS

Para determinar las posibles fuentes fijas de emisión que pueden afectar los resultados de la investigación, se desarrolló para cada uno de los puntos de muestreo un inventario de fuentes fijas.

Teniendo en cuenta que, en condiciones favorables las máximas concentraciones de PM₁₀ se hallan a una distancia de 100 a 200 metros desde el punto de emisión y a su vez, a distancias superiores a 1.000 m el contaminante se dispersa a concentraciones menores y más estables [46]. Diversos autores han planteado diferentes distancias de dispersión de bioaerosoles, pues entre los 100 metros y los 800 metros se han hallado microorganismos viables, [47], [48]. Los inventarios se realizaron a una distancia de 700 metros a la redonda.

Una segunda intención del inventario realizado fue revisar y actualizar bases de información existentes, por tal razón, se solicitó el inventario de fuentes fijas a la Secretaria Distrital De Ambiente (SDA) y el Mapa de Industria y Ambiente a la Secretaria Distrital De Salud (SDS), estas dos fuentes de información fueron compiladas en una sola base de datos que contenía información básica como: nombre del establecimiento, actividad comercial, dirección y coordenadas geográficas.

Posteriormente, con la ayuda de la herramienta de análisis espacial ArcGIS 10.5 se analizó la base de datos para determinar las empresas que serían visitadas dentro del área influencia de 700 metros de cada punto, para verificar su existencia y actualizar en campo la información. Es importante mencionar que previamente se aplicó un filtro a las empresas para contemplar únicamente las que realizaban actividades de interés para la investigación, es decir, potenciales fuentes de emisión de cadmio. Para esto se contempló el código de Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) (tabla 3-1)

Tabla 3-1 Clasificación industrias de los puntos de muestreo

Código CIIU	Actividad Económica	Sector
1811	Actividades de impresión.	Litografía
2431	Fundición de hierro y acero.	Metalurgia
2511	Fabricación de productos metálicos para uso estructural.	Metalmecánica
2823	Fabricación de maquinaria para metalurgia.	
2591	Forja, prensado, estampado y laminado de metal; metalúrgica.	Oxicortes
4520	Mantenimiento y reparación de vehículos automotores (Talleres de mecánica, latonería y pintura).	Latonería y pintura
4542	Mantenimiento y reparación de motocicletas y sus partes y piezas.	

Fuente: [47]

3.3. AFORO DE FUENTES MOVILES

La obtención de una base de fuentes móviles que sería suministrada por la secretaría de movilidad fue imposible, por lo que se procedió a realizar un aforo en corredores viales principales cercanos a los puntos de muestreo. Ya que, diferentes informes de la SDA, han corroborado la carga contaminante que tienen los vehículos sobre la calidad del aire, como fue el caso del día sin carro y sin moto que se realizó en febrero de 2018, donde a comparación de un día análogo la restricción impuesta a los vehículos implicó una reducción del 21% en el PM_{10} del aire de Bogotá [48] y por lo tanto es importante conocer el volumen vehicular y de tránsito que pueda afectar los resultados de la investigación.

Para la elaboración del aforo se procedió a seleccionar los corredores viales con mayor flujo vehicular cercanos a cada punto de muestreo, siendo para el colegio San José (localidad Los Mártires) la Avenida carrera 30 y para al colegio Cofraternidad de San Francisco (ubicado en Ciudad Bolívar) la Avenida Boyacá en la Figura 3-3 se puede observar la ubicación exacta de los puntos donde se realizó el conteo de los vehículos.

Figura 3-3: ubicación de los puntos de aforo vehicular.



Fuente: [45]

Para el Colegio san José fue necesario establecer dos puntos de conteo, pues el flujo vehicular en ambos sentidos era complicado de observar desde una sola ubicación, sin embargo, en el caso del colegio Cofraternidad de San Francisco un solo punto permitió observar el tránsito tanto en sentido sur-norte como norte-sur.

El aforo se realizó en la tercera semana del mes de febrero de 2019 en la localidad de Los Mártires y la cuarta semana del mismo mes en Ciudad Bolívar. Se

seleccionaron tres días de la semana que se consideraron como representativos; los cuales fueron los días lunes, miércoles y sábado, siendo el lunes y el miércoles días que permiten dar un estimativo del comportamiento general del tráfico entre semana, es decir de lunes a viernes. Mientras que el sábado fue seleccionado debido a que durante los fines de semana (sábados, domingos y festivos) el flujo vehicular de Bogotá tiene un comportamiento diferente debido a diferentes factores como: la inexistencia del pico y placa en estos días, los cambios en los horarios de servicios de transporte público, diferentes transportes del sector comercial, entre otros.

Durante los días de aforo se hizo el conteo de vehículos durante seis horas divididas en tres jornadas de dos horas:

- Jornada 1: de 7 a 9 de la mañana (7:00 a 9:00)
- Jornada 2: de 1 a 3 de la tarde (13:00 a 15:00)
- Jornada 3: de 5 a 7 de la noche (17:00 a 19:00)

Las jornadas 1 y 3 corresponden a horarios de “horas pico” donde el tránsito es mayor, mientras que la jornada 2 corresponde a “horas valle” durante las cuales el número de vehículos transitando por la ciudad es menor.

Para el conteo de vehículos se utilizó un método manual, que consistió en ubicar un grupo de tres personas responsables de realizar el aforo en cada punto seleccionado. Estas personas contaron cada vehículo que transitaba, clasificándolo en una de las tipologías establecidas a partir de las categorías utilizadas por el Instituto Nacional De Vías (Tabla 3-2).

Tabla 3-2 clasificación de los vehículos aforados

Tipología	Clasificación Instituto Nacional De Vías	Descripción
Particulares	Tipo A	Automóviles de cualquier tamaño, camionetas con y sin platón, furgonetas y minivan
Servicio publico	Tipo B	Micro bus, buseta, autobús y articulados.
Carga pesada	Tipo C2, C3, C4, >C5	Furgones, camiones de dos, tres cuatro y más de cinco ejes, grúas y tracto camiones.
Motocicletas	-	Motocicletas de cualquier modelo, tiempo y cilindraje

Fuente: [49]

La información obtenida del aforo fue registrada en el “Anexo A- Aforo de fuentes Móviles”, donde se puede observar la cantidad de vehículos de cada categoría durante cada una de las jornadas, así como su porcentaje en la composición de flujo vehicular total. Adicionalmente se realizó una breve medición de la velocidad promedio del tránsito en donde se seleccionaron vehículos de cada categoría de forma aleatoria y se tomó el tiempo que tardaban recorriendo un tramo de 100 metros.

Con los resultados obtenidos por el aforo se procedió a estimar la posible carga contaminante que el tránsito de vehículos puede generar, para esto mediante una revisión bibliográfica referente a factores de emisión de fuentes móviles (tabla 3-3), y se establecieron los factores de emisión para PM₁₀ propuestos por Rojas et al (2015) [50].

Tabla 3-3 Factores de emisión para fuente móviles

Tipo de vehículo	Factor de emisión para PM ₁₀ (g/Km)
Particulares	0,01
Motos	0,22
Carga pesada	1,02
Servicio publico	0,48

Fuente: [50]

3.4. MONITOREO DE PM₁₀

Con el fin de determinar las concentraciones de cadmio presentes en las áreas de interés, se realizó la medición atmosférica de PM₁₀ en cada punto de muestreo de manera simultánea. Según lo establecido por el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire , el muestreo se realizó durante un periodo de 18 días continuos, pues este es el tiempo mínimo para que un monitoreo atmosférico sea representativo [35], este periodo fue desde el 24 de noviembre de 2018 hasta el 11 de diciembre del mismo año .

3.4.1 EQUIPOS E INSUMOS

Para el muestreo de material particulado se utilizó un equipo medidor de alto volumen con controlador de flujo másico marca Tisch Environmental del laboratorio de La Universidad de La Salle (CTAS), para cada punto de muestreo (figura 3-4), durante la adecuación de estos equipos en cada uno de los colegios se tuvo en cuenta que la disponibilidad eléctrica asegurara un voltaje continuo de 110 voltios y para evitar la fluctuación de energía se conectó directamente a un estabilizador de energía, además se aseguró la protección de las conexiones contra factores como lluvia y radiación solar.

También se utilizó un filtro para cada día de muestreo en cada punto, por lo tanto, para la investigación se utilizó un total de 37 filtros de fibra de cuarzo, ya que es necesario incluir un filtro como blanco para realizar los análisis y como control. Otros

insumos importantes a mencionar son, las cartas de flujo que permitieron mantener un control sobre el volumen de aire muestreado y los implementos para almacenar los filtros y asegurar la cadena de custodia durante su transporte al laboratorio.

Figura 3-4 Equipos Hi vol en cada punto de muestreo



Fuente: Autor

3.4.2 SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE FILTROS

Los filtros de fibra de cuarzo fueron seleccionados para realizar el monitoreo, pues según lo establecido por la metodología IO 3.5 de la USEPA para realizar un análisis de metales mediante un sistema de ICP-MS el filtro de cuarzo es el que permite realizar la digestión ácida para el procedimiento [38], la preparación de filtro se realizó siguiendo los lineamientos establecidos por el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del IDEAM y la metodología IO 3.1 de la USEPA [35, 37].

En primera instancia los filtros fueron inspeccionados, rotulados y pesados, para posteriormente ser ubicados en un desecador del CTAS, durante 24 horas. Tras éste periodo los filtros fueron nuevamente pesados en un cuarto de pesaje con unas

condiciones ambientales controladas de temperatura y humedad ($t^{\circ}25\pm10C$ y HR <50%); con la ayuda de una balanza analítica de 5 dígitos fue posible hacer el pesaje de cada filtro y establecer porcentajes de error inferiores al 1,5% para obtener un valor inicial más preciso en el peso de cada filtro (Anexo B-Pesaje de filtros).

3.4.3 CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

Con el fin de garantizar que el muestreo de material particulado sea representativo, se requiere que el equipo muestreador trabaje siempre bajo unas mismas condiciones, para esto antes de iniciar con el muestreo se realizó una calibración a cada Hi-vol con el fin de asegurar que durante su acomodación y transporte a campo; el dispositivo de control de flujo no haya tenido ningún daño que afectara el caudal del aire de entrada. La calibración consistió en una verificación de que el flujo de entrada se encontrara en un rango de 1,02 m³/min a 1,24 m³/min, ya que, en este rango se garantiza la separación de las partículas inferiores a 10 µm [35].

Para la calibración fue necesario el uso de dos manómetros de agua, que permiten medir los cambios de presión; y de un sistema con una resistencia de flujo variable, el cual consiste en un cilindro metálico que se acopla a un par de discos con aperturas de diferentes tamaños y que permiten modificar el flujo de aire al girar los discos (Figura 3-5)

Figura 3-5 kit de calibración de un Hi-Vol



Fuente: [36]

Para realizar la calibración del equipo se siguieron los pasos descritos en el “Anexo C–Protocolo de calibración y elaboración de curvas de calibración”, que fue elaborado siguiendo las instrucciones indicadas por el Protocolo para el monitoreo

y seguimiento de la calidad del aire del IDEAM para equipos con un controlador de flujo de tipo másico.

De acuerdo a las curvas de calibración realizadas (Anexo C), ambos equipos utilizados contaban con un caudal de muestreo apropiado según lo establecido por el IDEAM, es decir, dentro de un rango de 1,02 m³/min a 1,24 m³/min.

3.4.4 FASE DE MUESTREO

La fase de muestreo se realizó durante un periodo de 18 días continuos. El monitoreo inicio a las 7:00 de la mañana del 24 de noviembre de 2018; y la recolección y cambio de filtros se realizó cada 24 horas con una diferencia máxima de 30 minutos (Anexo D – Protocolo para el cambio y recolección del filtro)

3.4.5 CADENA DE CUSTODIA DE FILTRO

Un apropiado manejo de las muestras permite que los resultados de la investigación sean consistentes, ya que, reduce posibles errores como pérdidas o confusión de muestras [35]. Por ésta razón cada filtro fue identificado con un numero único que fue escrito sobre éste con tinta a prueba de agua, además se asignó a cada filtro un sobre de manila rotulado con el mismo número para evitar la confusión de muestras.

Los filtros transportados desde el laboratorio al punto de muestreo y viceversa, eran cuidadosamente almacenados en un sobre de aluminio y en su respectivo sobre de manila, éste último contaba con información básica como el día de muestra y responsable de recolectar el filtro. Adicionalmente los sobres de manila totalmente sellados eran transportados en una nevera, para evitar la exposición a cambios de temperatura o humedad.

3.4.6 ANALISIS GRAVIMETRICO

Cada vez que se recolectaba una muestra, era transportada a los laboratorios de la Universidad La Salle (Figura 3-6), en donde se realizaba un análisis gravimétrico para poder determinar las concentraciones de PM₁₀, este análisis consistía en realizar un pesaje al filtro que debía ser sometido a los mismos procedimientos de preparación mencionados en el numeral 3.4.2

Figura 3-6 Pesaje de filtro impactado en balanza analítica



Fuente: Autor

Una vez obtenido el nuevo peso del filtro se aplicaron diferentes ecuaciones matemáticas con el fin de obtener la concentración de PM_{10} ($\mu g/m^3$) del respectivo día (Anexo E – Calculo de concentraciones de PM_{10} y Cadmio).

3.4.7. ANALISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE CADMIO

Una vez identificadas todas las concentraciones de PM_{10} de los 36 filtros, se seleccionaron tres filtros representativos de cada punto de muestreo, que corresponden a las concentraciones de PM_{10} máximas, mínimas y promedio, estas 6 muestras escogidas fueron enviadas al laboratorio instrumental de alta complejidad (LIAC) para ser sometidas a un análisis ICP/MS, según lo estipulado en la metodología IO 3.5 de la USEPA y así determinar las concentraciones de cadmio presentes en cada muestra (Anexo E).

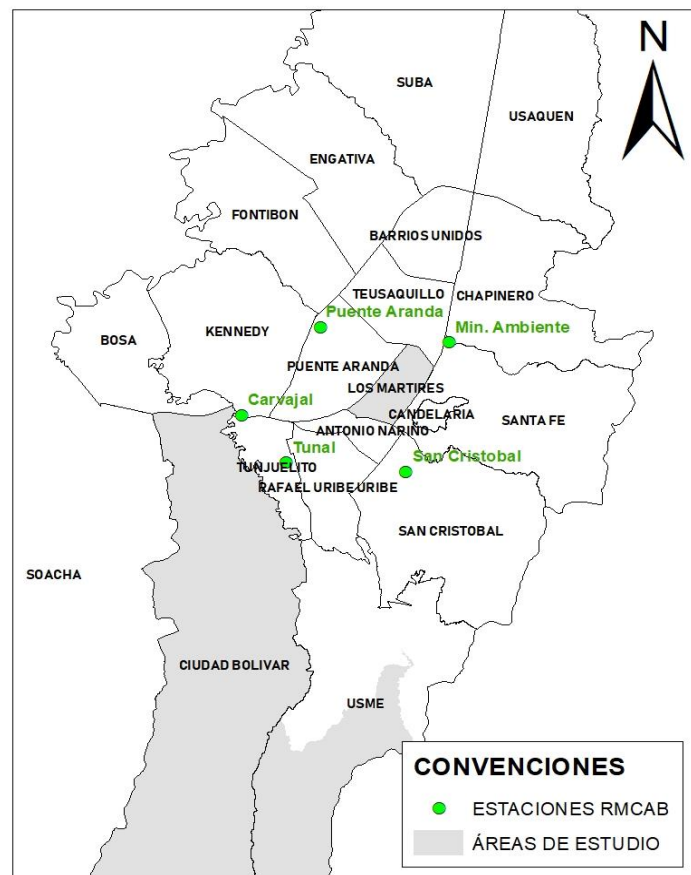
De acuerdo a la información suministrada por el LIAC, durante el procedimiento se realizó una digestión ácida de los filtros utilizando ácido clorhídrico al 5,55% y ácido nítrico al 16,75%, previo a esta digestión se realizó un corte a cada uno de los filtros y una filtración antes de ser llevados a un espectrómetro compacto de emisión ICP ICAP 6300.

3.5. OBTENCIÓN DE DATOS METEOROLOGICOS

Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la RMCAB, donde se seleccionó la información suministrada por las estaciones de Tunal, Ministerio de Ambiente, San

Cristóbal, Carvajal y Puente Aranda por su proximidad a la zona de estudio (Mapa 3-1). Los parámetros que se tuvieron en cuenta fueron la temperatura, precipitación, dirección y velocidad del viento; y humedad relativa ya que son factores determinantes tanto en la concentración de PM₁₀ como de UFC [46, 51].

Mapa 3-1: Estaciones de la RMCAB utilizadas para la obtención de datos meteorológicos



Fuente: [13, 52].

3.6. MUESTREO DE BIOAEROSILES

Con el objetivo de encontrar la densidad bacteriana y micótica presente en el aire del área de estudio, simultáneamente al monitoreo de material particulado se realizó un muestreo de bioaerosoles. Sin embargo, dado que los componentes de los bioaerosoles presentan concentraciones con variaciones considerables y siguiendo las recomendaciones del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), las muestras se tomaron con una frecuencia de 12 horas y por duplicado con el fin de obtener una muestra lo suficientemente grande y representativa [53].

Para la toma de muestras se establecieron dos jornadas (7:00 am y 7:00 pm), pero antes de iniciar el muestreo, se llevó a cabo una prueba de saturación de medios para conocer el volumen óptimo con el cual fuese posible realizar un apropiado conteo de UFC sin saturar el medio, tras esta etapa preliminar se estableció un volumen de 100 litros/minuto.

3.6.1 EQUIPOS E INSUMOS

Para la recolección de muestras se utilizaron dos equipos de monitoreo microbiológico de aire MAS-100 ECO, uno del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás (USTA) y otro del CTAS (Figura 3-7), este equipo funciona bajo el principio de impactación, es decir que aspira un flujo de aire y aprovecha la inercia de las partículas para impactarlas sobre un medio de recolección [40], que en éste caso fueron agares en cajas de Petri de 90 mm de diámetro.

Figura 3-7: Equipos MAS 100 utilizados para el muestreo



Fuente: Autor

Para los medios de recolección se hizo uso de tres tipos agares (sangre, sabouraud y EMB) con el fin de determinar diferentes clases de microorganismos, por lo tanto, para todo el muestreo se hizo uso de aproximadamente 450 cajas de Petri, ya que,

por cada tipo agar eran necesarias 144 muestras y considerando posibles contaminaciones o pérdidas de 6 medios de cultivo por agar.

3.6.2 SELECCIÓN Y PREPARACION DE AGARES

Para poder identificar posibles bacterias patógenas se utilizaron dos agares, los cuales fueron el agar EMB y el agar sangre, este último es un medio diferencial que permite observar procesos de hemólisis, dicho proceso es muy útil para identificar bacterias de interés clínico como los estreptococos [41]. Por otra parte, el agar EMB se utilizó como medio de control, ya que es un medio selectivo que permite determinar la presencia de bacterias entéricas como el *Escherichia coli*, las cuales son muy poco frecuentes en bioaerosoles [54].

En el muestreo de hongos se utilizó el agar sabouraud, el cual es un medio de enriquecimiento y por lo tanto funciona para promover el crecimiento de cualquier especie de hongo, por último, se hizo uso del agar PCA en el proceso de aislamiento e identificación de bacterias, ya que, genera condiciones óptimas para el crecimiento de casi cualquier bacteria, salvo algunas con requisitos nutricionales muy exigentes o específicos [41].

Para la preparación de todos los medios de cultivo se siguió el mismo procedimiento, el cual consistió en hacer una disolución del agar en agua destilada (Tabla 3-4) y posteriormente buscar que la mezcla fuese homogénea y se disolviera completamente mediante un calentamiento y agitación frecuente; luego se esterilizó en autoclave a 121°C durante 15 minutos. Finalmente se dejó enfriar a aproximadamente 50°C mezclando bien y evitando la formación de burbujas, para cuidadosamente servir la mezcla en placas de Petri. Es importante mencionar que en el agar sangre se agregaron 50 ml de sangre ovina desfibrada estéril por cada 950 ml de mezcla antes de servirlo.

Tabla 3-4 Cantidades de agar por litro de agua

Agar	gramos por litro de agua
Sangre	28
EMB	36
Sobouraud	65

Fuente: Autor

En cada caja de Petri se sirvieron aproximadamente 20 ml de mezcla, por lo tanto, considerando posibles pérdidas durante el proceso de preparación y posibles contaminaciones de algunos medios, se preparó un aproximado de 3 litro de cada medio de cultivo que se distribuyó en un total de 150 cajas de Petri

3.6.3 CADENA DE CUSTODIA DE LOS MEDIOS DE CULTIVO

Todos los medios de cultivo al momento de ser transportados a los puntos de muestreo fueron envueltos en filme plástico y almacenados en una nevera con geles refrigerantes, para así asegurar su conservación y evitar que las cajas de Petri se abrieran durante su movilización.

Una vez tomada la muestra, ésta era rotulada, y se llevaba a laboratorio en las mismas condiciones de transporte mencionadas. Salvo ciertas excepciones como los días sábado y domingo, tras realizar el muestreo en la mañana (jornada 1) inmediatamente se llevaban a incubación las muestras tomadas ese día y las de la tarde (jornada 2) del día anterior.

La codificación (Tabla 3-5) permitió evitar pérdidas o confusiones con las muestras, para que los resultados de la investigación fuesen más consistentes, ya que, cada muestra tenía un rotulo único. De modo que, por ejemplo, la codificación S-5-J1-M-R, hace referencia a la muestra duplicada tomada en agar Sangre, el quinto día (28 de noviembre de 2018) a las 7:00 A.M en el colegio San José en la localidad de Los Mártires.

Tabla 3-5 Codificación de muestras de bioaerosoles.

Variable	x	D	J	Y	R
Descripción	Tipo de medio de cultivo	Día de muestreo	Jornada de la muestra	Punto de muestreo	Replica
Posibles opciones	S: Agar Sangre Sb: Agar Sabouraud E: Agar EMB	Va del 1 al 18, siendo el 1 el primer día y 18 el último	Va de 1 a 2, siendo: 1. 7:00 am 2. 7:00 pm	M: Colegio San José, Mártires CB: Colegio Cofraternidad de San Francisco, Ciudad Bolívar	Se incluía una R al final del rotulo si era el duplicado de la muestra

Fuente: Autor

3.6.4 TOMA DE MUESTRAS DE BIOAEROSOLES

La toma de muestras se hizo las franjas horarias de 7:00 A.M y 7:00 P.M, las cuales corresponden con "horas pico" en la ciudad, es decir, que hay un mayor tráfico tanto vehicular como peatonal.

Cada muestra tardaba un minuto en realizarse, ya que es el tiempo en que el MAS 100 capta un volumen de 100 litros, por lo tanto, se intentó realizar la toma de todas las muestras lo más rápido posible, pues la composición de los bioaerosoles puede variar ampliamente en un corto periodo de tiempo [53].

Durante la toma de la muestra se sostuvo el equipo a una altura de entre 1,7 a 2 metros, con el objetivo de alejarlo de superficies para evitar la resuspensiones de polvo que pudieran afectar los resultados de la investigación.

3.6.5 TRATAMIENTO DE MUESTRAS Y SELECCIÓN DE MICROORGANISMOS

Todas las muestras de agar sangre y EMB, fueron puestas en una incubadora en donde se dejaron por un periodo de 48 horas a una temperatura de 37°C, por su parte, las muestras de sabouraud se incubaron a temperatura ambiente por un periodo de 72 horas, una vez transcurrido el tiempo de incubación, se tomó un registro fotográfico de las muestras, para realizar la cuantificación de colonias. Finalmente, las muestras fueron almacenadas en un refrigerador para prolongar su conservación.

Una vez se completaba el muestreo de 6 días consecutivos, se tomaron todas las muestras, para mediante características macroscópicas de las colonias, identificar el microorganismo más frecuente por agar en cada punto de muestreo. Los microorganismos seleccionados fueron aislados en placas de agar PCA, mediante la técnica de siembra por agotamiento. Las muestras de hongos eran sometidas al mismo proceso de selección y a diferencia de las bacterias el aislamiento se realizó en agar sabouraud.

3.6.6 CUANTIFICACIÓN DE COLONIAS

Mediante los registros fotográficos, se hizo un conteo de UFC en cada muestra, el valor obtenido se dividió sobre 0,1m³ para así obtener la concentración de UFC por metro cubico de aire, cuando el conteo de UFC era superior a 200, se consideraba la muestra como no representativa (Anexo F - Registro y conteo de colonias).

3.6.7 IDENTIFICACION DE MICROORGANISMOS: BACTERIAS

A las bacterias seleccionadas para identificación, se les realizó un estudio considerando tres aspectos, características macroscópicas, microscópicas y bioquímicas, estas pruebas fueron realizadas en el laboratorio de bacteriología de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.

Inicialmente, la identificación macroscópica se realizó sobre la muestra, es decir, en los medios de cultivo EMB y agar sangre, ya que al ser medios diferenciales permiten observar ciertos aspectos de la colonia como: el diámetro, color, textura y forma, los cuales dan lugar a una orientación básica sobre el microorganismo presente en el medio. Las bacterias aisladas sobre agar PCA se llevaron a incubación durante 24 a 48 horas a 37°C, y pasado este tiempo fueron retiradas con el fin de realizar el paso correspondiente a identificación microscópica.

La fase de microscopía para la identificación bacteriana, está basada en la coloración de Gram, pues se considera la técnica estándar que permite clasificar las bacterias en Gram negativas o Gram positivas, acorde con la afinidad del

microorganismo por los colorantes. Para la tinción se usaron como colorantes el cristal violeta, lugol, alcohol y fucsina [55]. Ésta tinción permitió determinar formas equivalentes a cocos, bacilos y cocobacilos haciendo uso del objetivo de 100x y aceite de inmersión.

Conociendo la forma y coloración de las bacterias, se realizó nuevamente un aislamiento por agotamiento en agar sangre, para microorganismos Gram positivos y en EMB para Gram negativos; con el fin de conseguir UFC bien delimitadas y dar lugar al montaje de las pruebas Índice Analítico De Perfil (API) (Figura 3-8), el cual es un sistema de identificación automatizado que cuenta con 20 cúpulas y cada una de estas posee un sustrato diferente que el microorganismo puede o no utilizar en su función metabólica. Para la siembra del microorganismo fue necesario realizar previamente una dilución con una cantidad de UFC en solución salina proporcionada por el kit, el llenado de las cúpulas se hizo acorde a la descripción del manual de uso proporcionado por la casa comercial BioMerieux. El periodo de incubación fue de 18 a 24 horas [56].

Figura 3-8 Tiras API utilizadas para la identificación de bacterias

	ONPG	ADH	LDC	ODC	CIT	H ₂ S	URE	TDA	IND	VP	GEL	GLU	MAN	INO	SOR	RHA	SAC	MEL	AMY	ARA	OX
Negativo																					
Positivo																					

Fuente: [56].

3.6.8 IDENTIFICACION DE MICROORGANISMOS: HONGOS

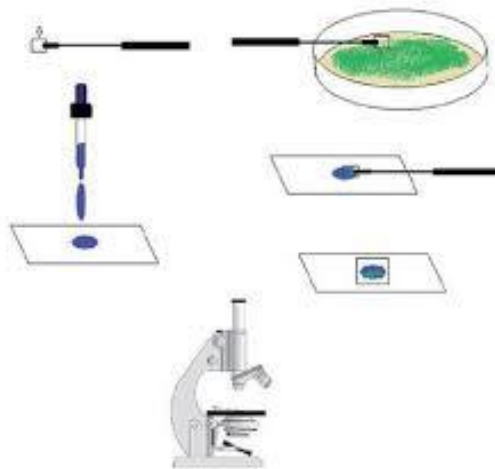
Para identificar las especies fúngicas aisladas, se hizo únicamente un análisis macroscópico y microscópico, el primero se realizó teniendo en cuenta aspectos como el diámetro, color, textura, anverso y reverso de las cajas, ya que, brindan una orientación hacia el posible hongo a identificar.

Las muestras aisladas en agar saboraud fueron incubadas a temperatura ambiente durante 5 días, y una vez transcurrido éste tiempo, se realizó el montaje para hacer el análisis tanto macroscópico como microscópico. Para la observación de las estructuras de los hongos se usó el colorante azul de lactofenol que tiñe las estructuras micóticas haciendo visible la presencia de hifas, conidias, fiálides, entre otras [55].

El montaje se realizó poniendo una gota de azul de lactofenol en una lámina, sobre este se puso la muestra proveniente del aislamiento y finalmente se sobrepuso una laminilla para generar el montaje en fresco, éste fue observado bajo el objetivo de

40x de un microscopio (Figura 3-9). Las estructuras de los hongos se identificaron haciendo uso de claves dicotómicas.

Figura 3-9: Montaje para la identificación microscópica de hongos



Fuente: [55]

3.7. ANALISIS ESTADISTICO

Con el fin de poder determinar la influencia de variables meteorológicas sobre los resultados obtenidos de concentraciones de PM_{10} , Cd y UFC; se realizó un análisis estadístico de variables, con el software IBM SPSS STATISTICS 25; con el cual se determinó el coeficiente de correlación considerando las variables meteorológicas como variables independientes que pueden actuar directa o indirectamente en las concentraciones de los contaminantes investigados.

Para realizar el análisis estadístico, el primer paso fue determinar el tipo distribución de las variables con ayuda de la prueba de Shapiro Wilk, para saber si eran variables de distribución normal o no. En caso de tener una distribución normal se calculó el coeficiente de correlación de Pearson, de lo contrario se calculó el coeficiente de Spearman. Es importante mencionar que para determinar la normalidad de las variables se trabajó con intervalos de confianza del 90%, así mismo, para la presente investigación fueron aceptados coeficiente de correlación con una significancia del 90% ($p < 0,1$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INVENTARIO DE FUENTES FIJAS

Durante la visita a campo de los establecimientos, en ambas localidades se encontró que muchas de las empresas ya no existían o habían cambiado su razón social, esto se debe a que ambas bases de datos utilizadas como fuentes de información no se actualizaban desde el año 2014 (Anexo G - Inventario de fuentes fijas).

Hay ausencia del 87% de las industrias, visitadas en Los Mártires, en las bases de datos de la SDA y la SDS, lo que demuestra un fuerte cambio en la dinámica empresarial de la localidad durante los últimos cuatro años, concordando con informes de la Cámara de Comercio, en donde el número de matrículas activas de establecimientos de comercio para la localidad, fue de 25.044 en el año 2014 y para el año 2018 éste valor ascendió a 29.983, presentando un incremento de 19,72%. En Ciudad Bolívar para el mismo periodo de tiempo hubo un aumento de establecimientos con matrículas activas del 36,63 %, y aunque este crecimiento fue mayor al presentado en Los Mártires, el 60% de empresas visitadas en Ciudad Bolívar si contaba con un registro previo en el inventario de fuentes fijas a la SDA o en el Mapa de Industria y Ambiente a la SDS.

Dentro del buffer de 700 metros del punto de muestreo, generado por el software ArcGis 15.1, se identificaron 240 establecimientos que pueden ser potenciales fuentes de emisión de Cd para el punto ubicado en el Colegio San José, en contraposición con el área de influencia de Ciudad Bolívar donde el número de empresas identificadas fue de 135 (Tabla 4-1).

Tabla 4-1 Inventario de industrias potenciales fuentes de Cd

Actividad Comercial	Colegio San José. Los Mártires	Colegio Cofraternidad, Ciudad Bolívar
Latonería y Pintura	2	19
Litográfica	2	7
Metalmecánica	176	82
Metalúrgica	6	7
Oxicorte	54	20

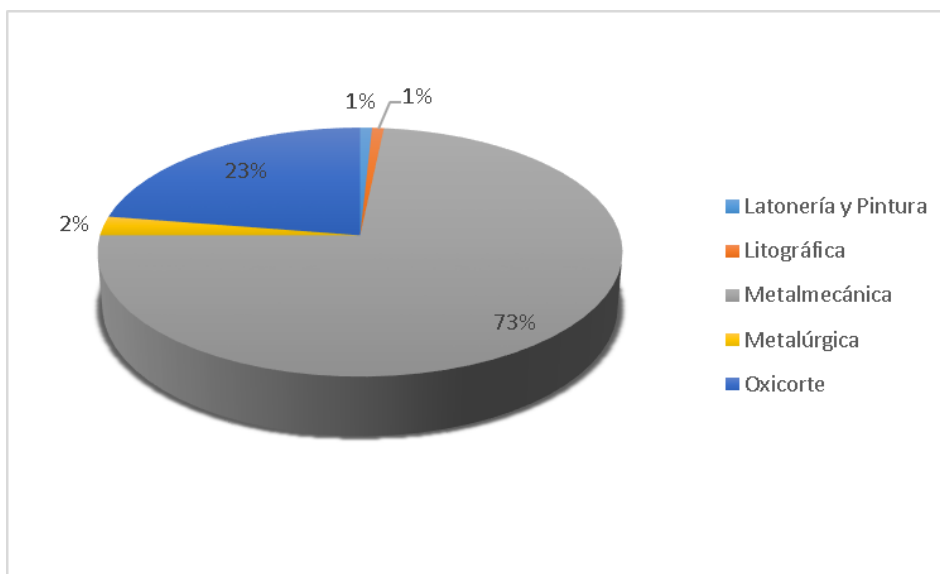
Fuente: Autor

En ambos puntos de muestreo se evidenció un alto número de empresas metalmecánicas, representando estas un 73% en Los Mártires y un 61% en Ciudad Bolívar (Gráfico 4-1 y 4-2) del total de las posibles fuentes de emisión de Cd. La

segunda fuente de emisión en ambas localidades se atribuye a los establecimientos en donde se realizan actividades de oxicorte con un 23% y un 15%.

Aunque la presencia de empresas metalúrgicas fue poca (2% en Los Mártires y 5% en Ciudad Bolívar), es junto con las industrias metalmecánicas, el tipo de fuente que puede aportar mayores niveles de cadmio, ya que generan varios tipos de gases y emisiones al ambiente, debido a los hornos, soldadoras y fundidoras que utilizan en su procesos productivos, dentro de estas emisiones están el monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado que contiene diferentes componentes, entre esos, metales pesados [57].

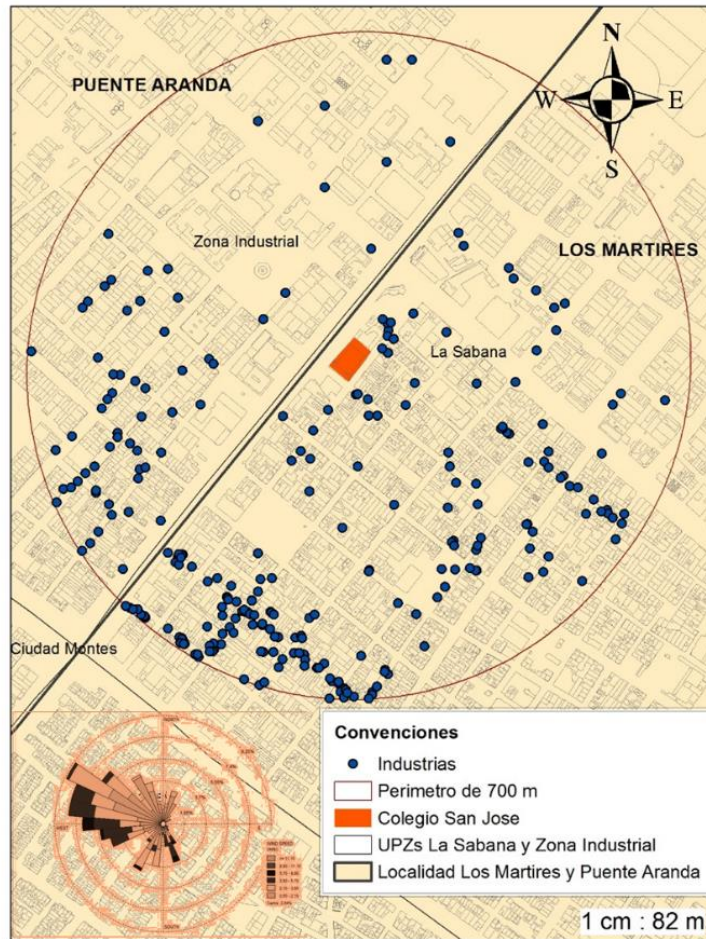
Gráfico 4-1: Proporción de Industrias emisoras de Cd, Los Mártires



Fuente: Autor

Del total de las industrias identificadas en Los Mártires, gran parte se ubica en el sur del búfer de 700 metros (Mapa 4-1), sin embargo, observando la rosa de vientos se puede afirmar que la mayoría de los contaminantes atmosféricos identificados proviene de industrias ubicadas al noroccidente y de fuente móviles.

Mapa 4-1 Industrias en área de influencia a del Colegio San José

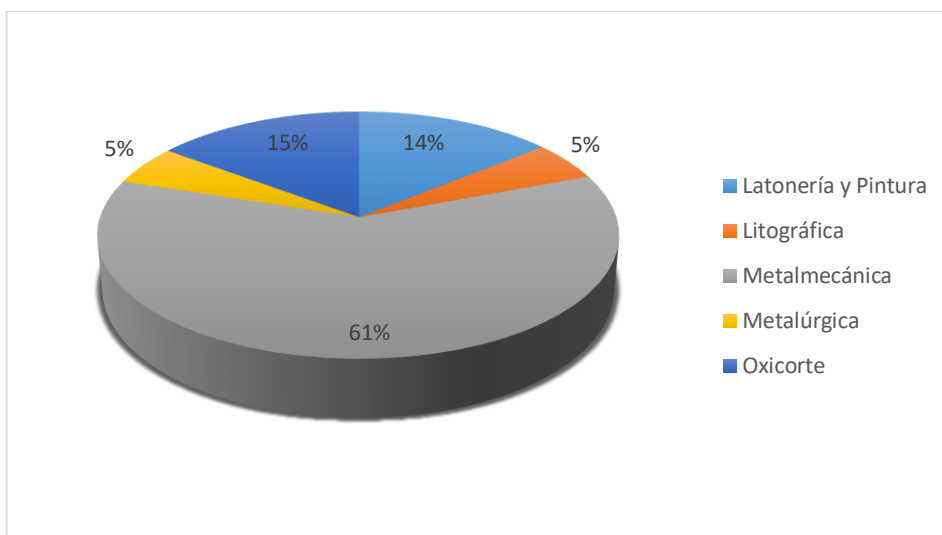


Fuente: Autor

En los Mártires se identificó un número mayor de empresas respecto a Ciudad Bolívar, esto se debe principalmente a que el suelo de la UPZ La Sabana (donde se encontraba ubicado el punto de muestro) es de uso comercial, mientras que el suelo de la UPZ San Francisco (Punto de muestro de Ciudad Bolívar) es catalogado como residencial [12, 22].

En cuanto a la composición de las industrias en Ciudad Bolívar, si bien mantiene proporciones similares a las de Los Mártires, se encontró un número mayor de empresas litográficas y de latonería y pintura, representando estas un 5% y 14% respectivamente, frente al 2% que corresponde a éstas empresas en Los Mártires.

Gráfico 4-2 Proporción de Industrias emisoras de Cd, Ciudad Bolívar

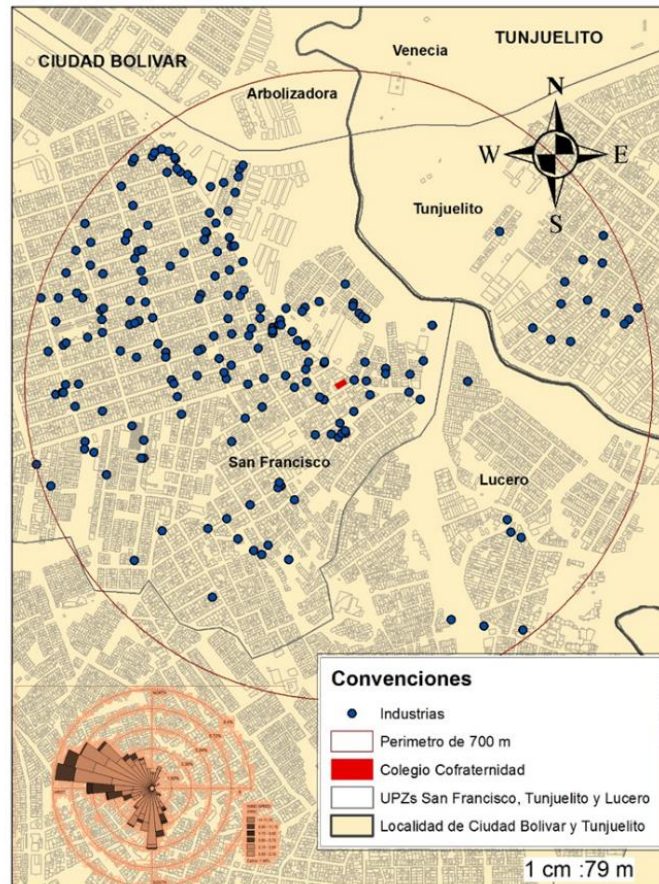


Fuente: Autor

Aunque no son consideradas fuentes significativas de Cd, se observó un gran número de ferreterías, carpinterías e industrias del sector textil en Ciudad Bolívar, éstas pueden ser consideradas como fuentes importantes de PM_{10} y algunos contaminantes biológicos, especialmente el sector de curtiembres ubicado al suroriente (Mapa 4-2), ya que, en varias de sus procesos unitarios pueden promover la generación de malos olores y proliferación de algunos microorganismos.

La mayoría de las industrias se encuentran ubicadas al noroccidente del punto de muestreo del Colegio Cofraternidad, y como se puede observar en la rosa de vientos, la dispersión de contaminantes proviene principalmente de ésta dirección, además hubo fuertes vientos sentido sur-norte durante el periodo de muestreo, por lo que es posible atribuir una cantidad importante de contaminantes provenientes de dicho sentido.

Mapa 4-2 Industrias en área de influencia a del Colegio Cofraternidad



Fuente: Autor

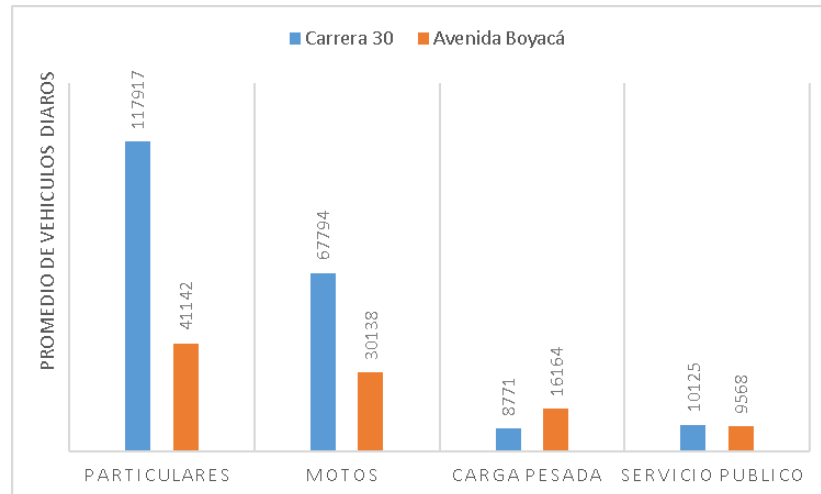
4.2. AFORO DE FUENTES MOVILES

Durante el aforo se pudo evidenciar un elevado flujo vehicular tanto en la Avenida carrera 30 como en la Avenida Boyacá, siendo los vehículos particulares y las motocicletas los que presentaban un mayor porcentaje en la composición del tráfico (Gráfico 4-3), sin embargo, a pesar de que en la carrera 30 se estimó que circulaban casi el doble de particulares y motocicletas respecto a la avenida Boyacá, en ésta última hubo un mayor número de vehículos de carga pesada y casi la misma cantidad de vehículos de transporte público.

Es importante mencionar que el cálculo de vehículos diario, se hizo considerando que en la franja horaria de 11 P.M a 5 A.M el tráfico de vehículos es mucho menor,

por lo tanto, en cada una de estas 6 horas se estableció que el número de vehículos que circulaba era el 50% de una hora de tráfico normal (5 AM a 11 PM).

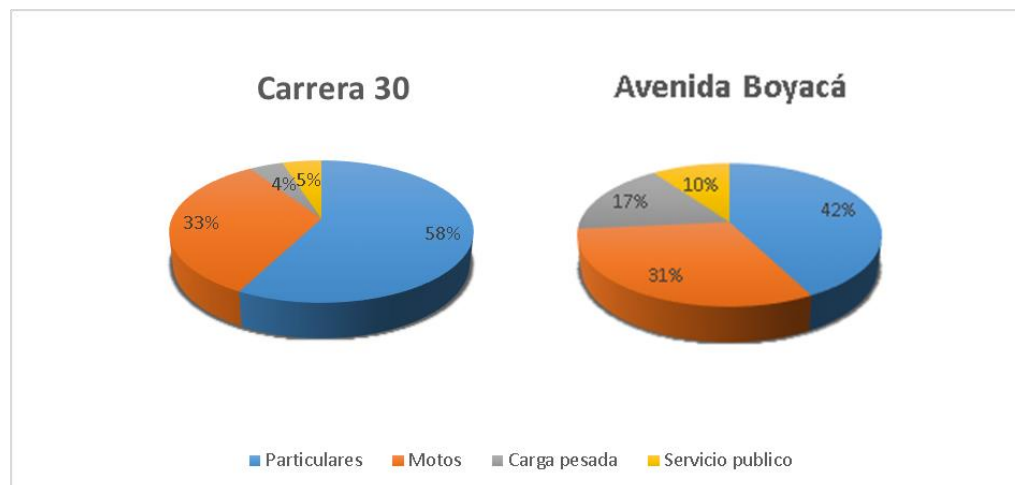
Gráfico 4-3 Promedio diario de vehículos que transitan por las vías aforadas



Fuente: Autor

Entre los dos puntos, es evidente que la avenida Boyacá tiene un menor flujo vial y aunque la carrera 30 tiene una mayor presencia en porcentaje de particulares (57%) y motos (33%), la avenida Boyacá presenta mayores porcentajes en carga pesada (17%) y servicio público (10%) (Gráfico 4-4); esto puede atribuirse a la ubicación de las avenidas, pues, la avenida Boyacá conduce a los límites de la ciudad, por lo tanto, es común una mayor presencia de vehículos con destinos fuera de la ciudad como lo son buses intermunicipales, tractocamiones o volquetas; también debido a que en Ciudad Bolívar está ubicado el relleno sanitario Doña Juana es muy común el tráfico de camiones compactadores por la localidad.

Gráfico 4-4 Proporción de los tipos de vehículos, que transitan en las vías aforadas



Fuente: Autor

Respecto a los días y jornadas de aforo, no fue posible establecer un patrón del comportamiento temporal en el tráfico de ambas zonas, ya que por ejemplo los días sábado, en donde se esperaba un aumento en el tráfico vehicular, en la carrera 30 ocurrió lo contrario; presentándose una disminución en el número de vehículos particulares del 1%, del 17% en motos y del 23% en transporte público; respecto a los días lunes y miércoles; mientras que en la avenida Boyacá, el día sábado aumentó el tráfico a 18% para particulares, 43% para motos, 92% para carga pesada y 25% para servicio público.

4.2.1. ESTIMATIVO DE MATERIAL PARTICULADO EMITIDO POR FUENTES MOVILES

El valor de PM_{10} emitido se obtuvo considerando la velocidad media que se determinó para cada tipo de vehículo, y diferentes factores de emisión seleccionados tras una revisión bibliográfica [50], éstos resultados son presentados en la tabla 4-2.

Tabla 4-2 Emisiones generadas por fuentes móviles en las áreas de estudio

Vehículo	Factor (g/Km)	Velocidad Promedio (Km/h)	Carrera 30 (Mártires)		Avenida Boyacá (Ciudad Bolívar)	
			Promedio diario de vehículos	PM ₁₀ Emitido (Kg/día)	Promedio diario de vehículos	PM ₁₀ Emitido (Kg/día)
Particulares	0,01	25	117917	707,5	41142	246,8
Motos	0,22	27	67794	9664,6	30138	4296,5
Carga pesada	1,02	16,55	8771	3553,7	16164	6548,9
Servicio publico	0,48	21	10125	2449,5	9568	2314,8

Fuente: [50]

Se evidencia que en la carrera 30 hay una mayor emisión de PM₁₀ proveniente de fuentes móviles, debido a que se tiene un flujo de vehículos mayor (principalmente particulares y motos), sin embargo, la principal diferencia entre ambas vías, está en el aporte que hacen los vehículos de carga pesada y las motocicletas. Pues, en la avenida Boyacá los vehículos de carga pesada aportan un 52% del total de las emisiones, mientras en la carrera 30 éste tipo de vehículo solo tiene un aporte del 22%.

Respecto a motocicletas, éstas fueron las que más contribuyeron a la emisión en la localidad de Los Mártires, con un 59%, a comparación del 21% de aporte que tienen en la avenida Boyacá.

Si bien hay una gran diferencia respecto a vehículos particulares y motos entre ambas vías, la emisión generada por fuentes móviles en los mártires es solo un 18,1% superior a la generada en Ciudad Bolívar, ya que, el factor de emisión de vehículos de carga pesada es el más alto de los 4 tipos de vehículos, debido al tipo de combustible y motor que estos utilizan.

4.3. RESULTADOS DEL MONITOREO ATMOSFERICO

Tras realizar los análisis y las respectivas correcciones de los datos obtenidos, se obtuvieron las concentraciones para PM₁₀ presentadas en la Tabla 4-3

Tabla 4-3: Concentraciones de PM₁₀ en los puntos de muestreo.

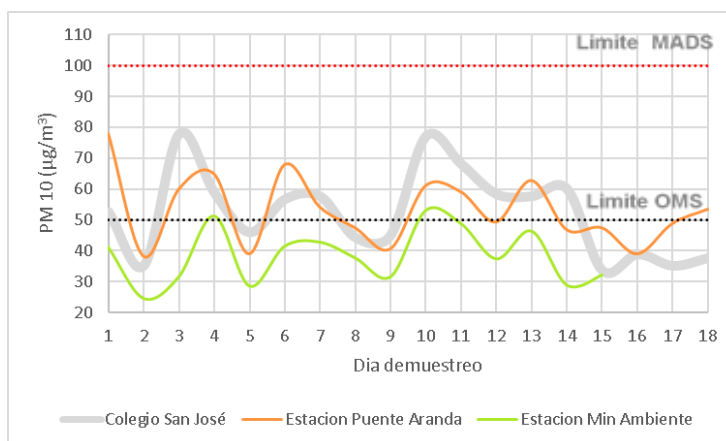
	FECHA DE MUESTREO	CONCENTRACION DE PM ₁₀ (µg/m ³)	
		Colegio San José	Colegio Cofraternidad
1	24/11/2018	52,51	78,61
2	25/11/2018	35,21	43,36
3	26/11/2018	77,94	69,80
4	27/11/2018	58,80	83,89
5	28/11/2018	45,97	108,53
6	29/11/2018	56,65	80,00
7	30/11/2018	57,59	77,43
8	1/12/2018	44,24	68,15
9	2/12/2018	45,05	83,25
10	3/12/2018	77,15	110,82
11	4/12/2018	68,11	79,57
12	5/12/2018	58,34	63,76
13	6/12/2018	57,65	57,15
14	7/12/2018	60,01	47,78
15	8/12/2018	33,51	58,36
16	9/12/2018	38,80	67,23
17	10/12/2018	35,07	53,79
18	11/12/2018	37,60	61,21

Fuente: Autor

Durante los días de muestreo en la localidad de los mártires, nunca se excedió la concentración diaria máxima permitida a nivel nacional (100 µg/m³), pero respecto a las directrices internacionales de la OMS (50 µg/m³), únicamente hubo 8 días en que se cumplió con este estándar (color verde). En el caso de Ciudad Bolívar las concentraciones encontradas fueron más elevadas, incluso durante los días 5 y 10 del muestreo, se superaron los límites máximos permisibles del MADS (color naranja) y únicamente en los días 2 y 14 hubo valores de PM₁₀ en los rangos permitidos por la OMS.

Para corroborar la información obtenida, se realizó una comparación entre los resultados de la investigación y los datos registrados por las estaciones de la RMCAB más cercanas a los puntos de muestreo, siendo para el colegio San José las estaciones de Puente Aranda y Ministerio De Ambiente (Gráfico 4-5), y para el colegio Cofraternidad las estaciones de Tunal y Carvajal (Gráfico 4-6).

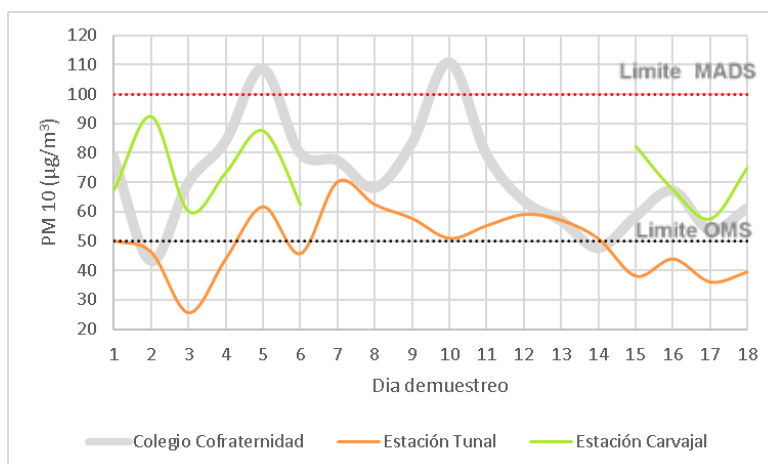
Gráfico 4-5 Comportamiento de la concentraciones de PM₁₀ Colegio San José y estaciones RMCAB



Fuente: [52]

Frente a las estaciones de Puente Aranda y Ministerio de Ambiente, la información obtenida para la localidad de los Mártires muestra un comportamiento similar en el PM₁₀, ya que, el punto del Colegio San José presenta sus máximas concentraciones en los días de muestreo número 3, 6, 10 y 14; mientras que las estaciones de la RMCAB mostraron picos de concentraciones los días 4, 6, 10 y 13, éste desfase temporal entre los registros del muestro y la información de las estaciones, puede deberse al hecho de que el filtro era cambiado a las 7:00 AM, y por lo tanto el PM₁₀ muestreado corresponde a periodos de 24 horas entre 7:00 AM y la misma hora del día siguiente; mientras que las estaciones expresan valores para 24 horas entre las 00:00 y 00:00 del día siguiente.

Gráfico 4-6 Comportamiento de la concentraciones de PM₁₀ Colegio Cofraternidad y estaciones RMCAB



Fuente: [52]

De forma contraria a lo ocurrido en Los Mártires, el punto de muestreo ubicado en Ciudad Bolívar no presentó ninguna similitud respecto a las concentraciones registradas por las estaciones de Tunal y Carvajal, incluso ésta última no tuvo registros del contaminante entre los días 6 y 15 del muestreo, esto demuestra la necesidad de que una estación de la RMCAB sea instalada en la localidad de Ciudad Bolívar, ya que, las estaciones cercanas no permiten conocer el comportamiento real de contaminantes como el PM_{10} en el aire.

4.4. CONCENTRACIONES DE CADMIO ATMOSFERICO

Los análisis de concentraciones de cadmio se realizaron para 3 filtros representativos en cada punto de muestreo, los resultados obtenidos por los análisis fueron convertidos (Anexo E) con el fin de obtener el valor en microgramos por metro cubico de aire (Tabla 4-4).

Tabla 4-4 Concentraciones de cadmio obtenidas

<i>Día de muestreo</i>	<i>Punto de muestreo</i>	<i>Cd ($\mu g/m^3$)</i>	<i>PM₁₀ ($\mu g/m^3$)</i>
25/11/2018	CIUDAD BOLIVAR	0,00041	43,36268
26/11/2018		0,00008	69,79856
3/12/2018		0,00015	110,81942
8/12/2018	LOS MÁRTIRES	0,00006	33,51
5/12/2018		0,00012	58,34
26/11/2018		0,00017	77,94

Fuente: Autor

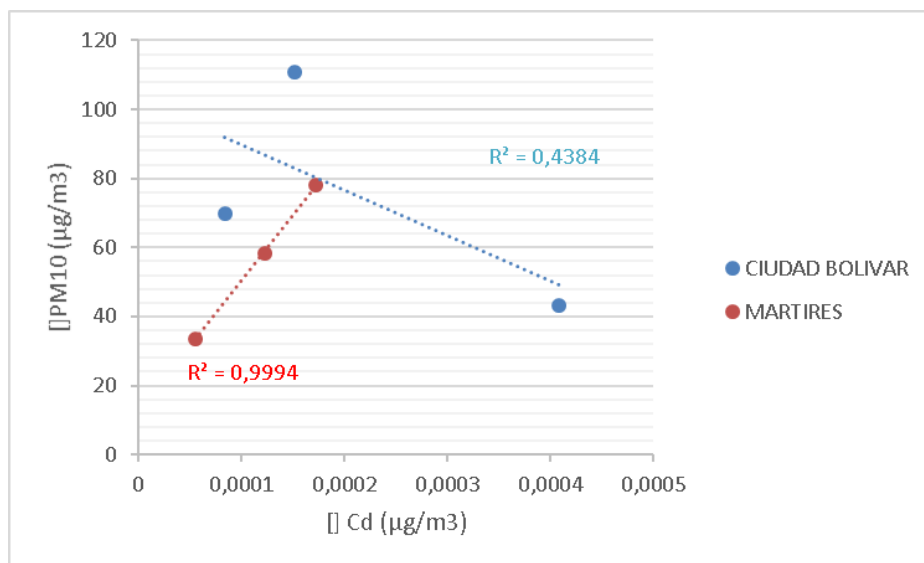
Los valores de las concentraciones de cadmio no superaron el límite máximo establecido por el MADS, la OMS o la unión europea ($0,005 \mu g/m^3$) en ninguna de las dos localidades, tampoco fueron concentraciones considerables en comparación al TLV establecido por el INSHT ($0,01 mg/m^3$) [29, 42–44].

De acuerdo a la OMS un nivel de exposición continuo de cadmio de $0,3 \mu g/m^3$, es suficiente para generar problemas renales o desarrollar cáncer de pulmón a largo plazo, sin embargo, también establece que en áreas urbanas e industriales la concentración de Cd en el aire es cincuenta veces menor al valor mencionado ($0,006 \mu g/m^3$) y por lo tanto todos los niveles del metal identificados no representan riesgo alguno para la población en ninguna de las dos zonas de estudio [58].

Para la localidad de los Mártires se pudo evidenciar una relación directa entre las concentraciones de PM_{10} y Cd, sin embargo, en Ciudad Bolívar no fue posible determinar una correlación, ya que, la línea de tendencia (Gráfico 6-7) demuestra un comportamiento inverso entre ambas variables, sin embargo, la estimación

calculada para Ciudad Bolívar es poco confiable ($R^2 = 0,4384$), por lo tanto, sería oportuno realizar un análisis con una cantidad de datos más amplia.

Gráfico 4-7 Concentraciones de cadmio VS concentraciones de PM₁₀



Fuente: Autor

Las trazas de cadmio encontradas en ambas localidades se pueden atribuir a las empresas metalmecánicas, litográfica, metalúrgicas y de latonería y pintura presentes en las dos áreas de estudios [10, 26], sin embargo, es posible que actividades como la incineración de residuos, especialmente residuos de empresas litográficas y de pinturas electrostáticas, puedan aportar cadmio a la atmosfera debido a que este es utilizado como pigmento, y en ambas localidades se ha evidenciado una mala gestión de residuos, llegando incluso a observarse la quema de éstos [18, 24].

4.5. VARIABLES METEOROLOGICAS

Los contaminantes biológicos se ven fuertemente afectados por su interacción con factores meteorológicos; la humedad relativa, la temperatura, y la velocidad del viento pueden afectar la dispersión y crecimiento de microorganismos. Dichos factores también alteran la distribución de los contaminantes biológicos causando cambios en su concentración, composición y en su tiempo de vida en el ambiente [51].

Por esta razón las variables meteorológicas obtenidas de las estaciones de la RMCAB cercanas a los puntos de muestreo, son presentadas mediante algunos datos estadísticos descriptivos (tabla 6-5), para realizar un análisis que contempla la variación temporal de las concentraciones de bioaerosoles tanto entre días de muestreo, como su variación entre jornadas.

Tabla 4-5 Información descriptiva de las variables meteorológicas durante los días de muestreo para Los Mártires (Mr) y Ciudad Bolívar (CB)

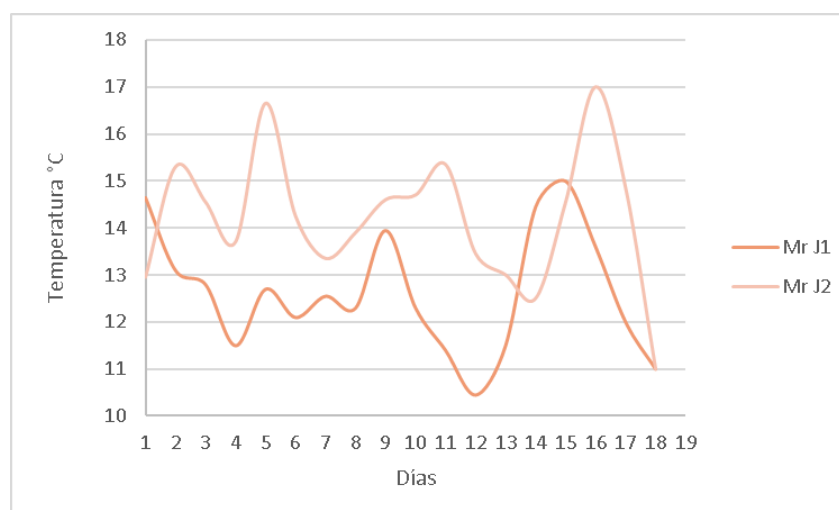
	Jornada	Media $\bar{x}$	Desviación estándar σ	Rango
Temperatura CB (°C)	J1	14,83	0,87	13,13 - 16,17
	J2	15,96	0,80	14,23 - 17,3
Humedad Relativa CB (%)	J1	69,30	4,08	63 - 80,67
	J2	64,82	7,06	54,67 - 77
Velocidad de Viento CB (m/S)	J1	1,06	0,39	0,53 - 2
	J2	1,61	0,30	0,83 - 1,96
Temperatura Mr (°C)	J1	12,63	1,29	10,45 - 15
	J2	14,20	1,44	11 - 17
Humedad Relativa Mr	J1	75,58	9,03	62,5 - 90,5
	J2	70,86	11,47	53,5 - 88,5
Velocidad de Viento Mr	J1	1,24	0,42	0,33 - 2,1
	J2	2,21	0,63	1,25 - 3,4

Fuente: Autor

4.5.1. TEMPERATURA

La temperatura de Los Mártires (Gráfico 4-8) fue inferior la registrada en Ciudad Bolívar (Gráfico 4-9) durante ambas jornadas, así mismo en esta última localidad fue donde se evidencio menores fluctuaciones en los cambios de temperatura, ya que los datos presentan una desviación estándar de $\sigma=0,80$ para J1 y $\sigma=0,87$ para J2, mientras que en los mártires se obtuvo una desviación estándar de los datos de $\sigma=1,29$ y $\sigma=1,44$ para J1 y J2 respectivamente.

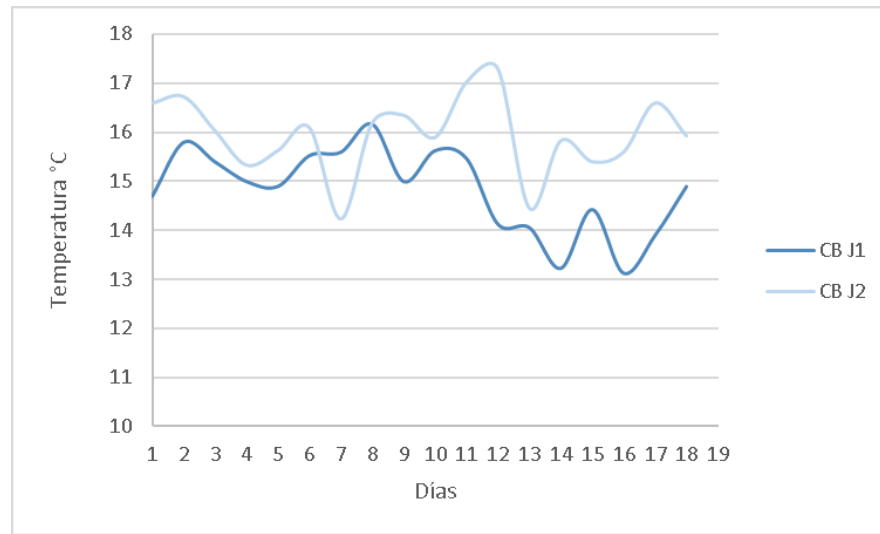
Gráfico 4-8 Variaciones de la temperatura durante el muestreo, Los Mártires



Fuente: Autor

La temperatura de la J1 fue inferior a la de J2 en un 7% en Ciudad Bolívar y un 11% en Los Mártires, y en pocas ocasiones la temperatura registrada durante J1 fue superior la de J2, ocurriendo este escenario únicamente los días 1 y 14 en Los Mártires y el día 7 en Ciudad Bolívar.

4-9 Variaciones de la temperatura durante el muestreo, Ciudad Bolívar



Fuente: Autor

4.5.2. HUMEDAD RELATIVA

En Los Mártires (Gráfico 4-10) los valores de humedad relativa presentaron amplias variaciones ($\sigma=9,3$ en J1 y $\sigma=11,47$ en J2) que frente a las fluctuaciones de los datos en Ciudad Bolívar ($\sigma=4,08$ en J1 y $\sigma=7,06$ en J2) demuestran que las condiciones meteorológicas del punto de muestreo del colegio Cofraternidad fueron más estables durante el periodo de muestreo (Gráfico 4-11).

Gráfico 4-10 Variaciones de la humedad relativa durante el muestreo, Los Mártires

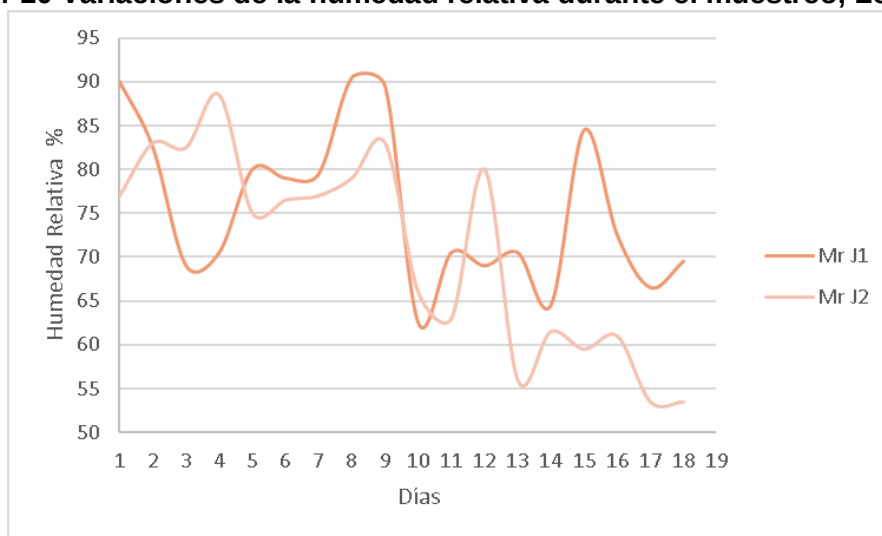
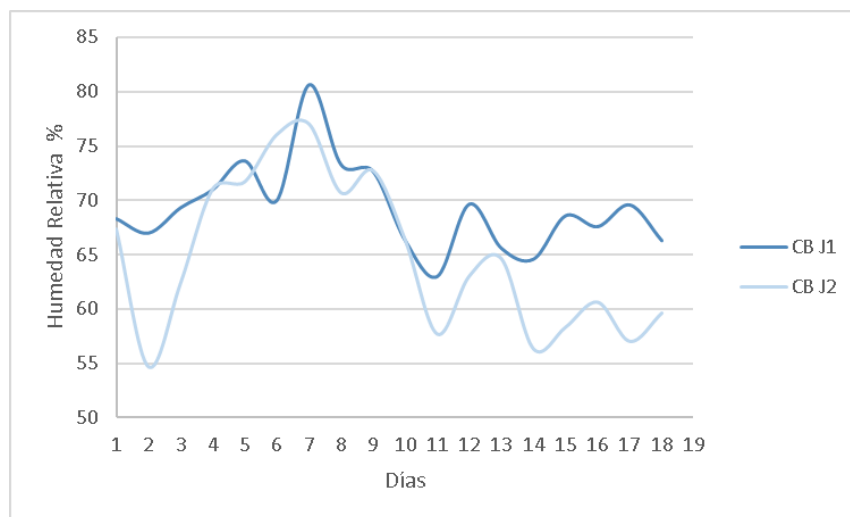


Gráfico 4-11 Variaciones de la humedad relativa durante el muestreo, Ciudad Bolívar



Fuente: Autor

Aunque hay una estrecha relación entre temperatura y humedad, pues a mayor temperatura mayor es la proporción de vapor de agua que puede contenerse en el aire [59], los promedios de éstas variables muestran un comportamiento inverso entre localidades, es decir que, aunque Ciudad Bolívar presento los promedios de temperatura más elevados ($\bar{x}=14,83^{\circ}\text{C}$ en J1 y $\bar{x}=15,96^{\circ}\text{C}$ en J2), tuvo promedios de humedad más bajos ($\bar{x}=69,3\%$ en J1 y $\bar{x}=64,8\%$ en J2) frente a los promedios de humedad en Los Mártires ($\bar{x}=75,58\%$ en J1 y $\bar{x}=70,86\%$ en J2), cuyos promedios de temperatura fueron inferiores ($\bar{x}=12,63^{\circ}\text{C}$ en J1 y $\bar{x}=14,20^{\circ}\text{C}$ en J2).

4.5.3. VELOCIDAD DEL VIENTO

La velocidad del viento si bien no tiene efectos sobre el metabolismo de las bacterias y hongos, si influye considerablemente en su dispersión y cambio en las concentraciones de bioaerosoles, como ocurrió con la temperatura y la humedad, en Los Mártires se observó una mayor variación de los datos ($\sigma=0,42$ en J1 y $\sigma=0,63$ en J2) frente a la información obtenida para Ciudad Bolívar ($\sigma=0,39$ en J1 y $\sigma=0,30$ en J2). Aunque en la J1 de ambas localidades los vientos tuvieron valor similar, hubo fuertes fluctuaciones en la velocidad del viento que se presentaron durante el muestreo para la J2 en el Colegio San José.

Gráfico 4-12 Variaciones de la velocidad del viento durante el muestreo, Los Mártires

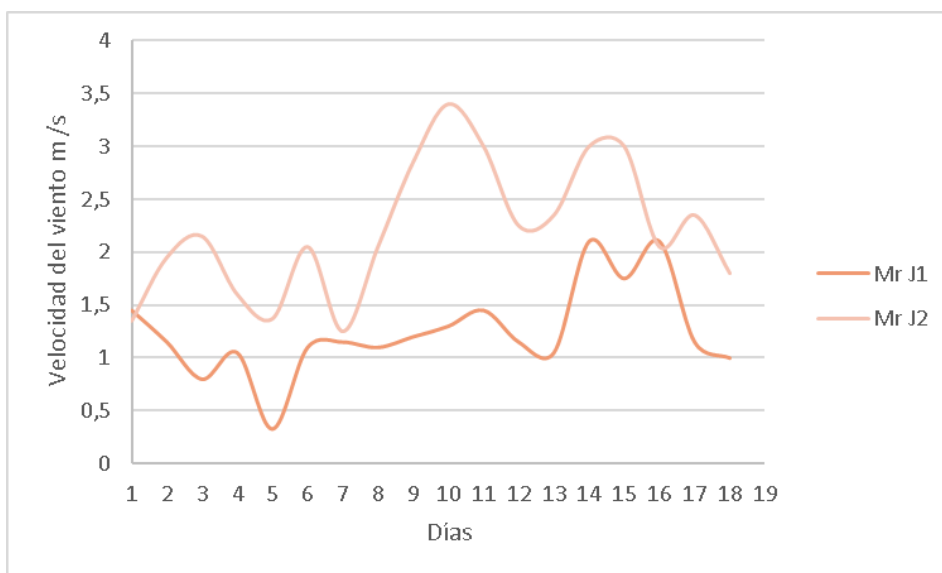
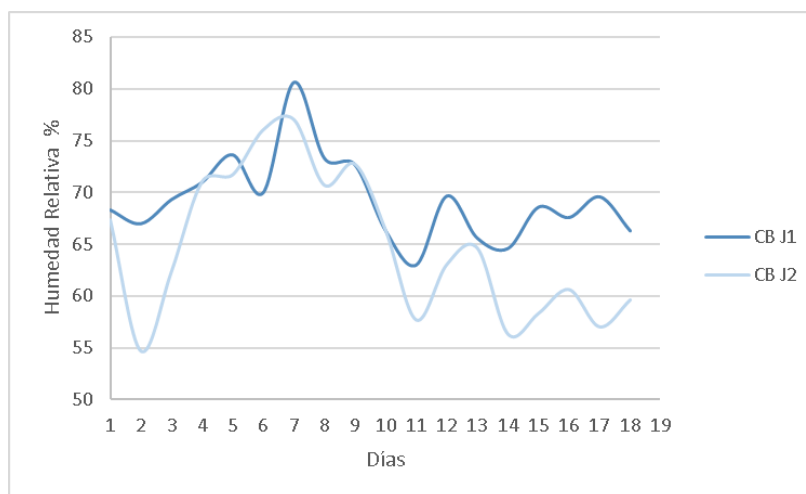


Grafico 4-13 Variaciones de la velocidad del viento durante el muestreo, Ciudad Bolívar



Fuente: Autor

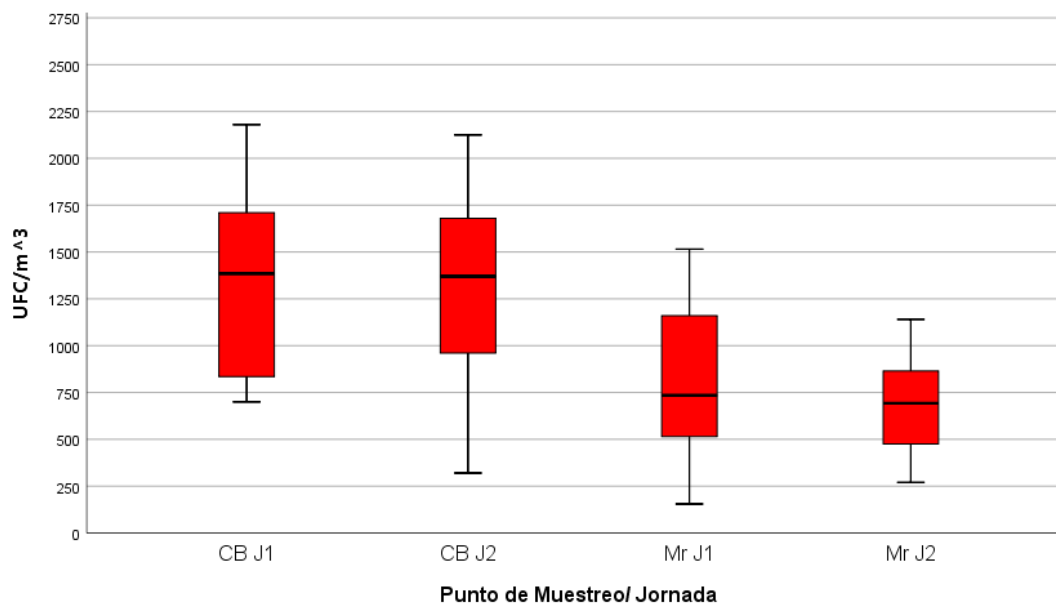
Durante los días 8 a 17, el comportamiento de la velocidad del viento en Los Mártires tuvo un fuerte cambio durante la J2, pues todos los valores de estos días fueron superiores a 2 m/s, la información restante no presenta fluctuaciones considerables por lo tanto los escenarios mencionados anteriormente puede ser los que más influyan en los resultados del muestro de bioaerosoles.

4.6. RESULTADOS DEL CONTEO DE UFC

4.6.1. AGAR SANGRE

En ambos puntos de muestreo se presentó un elevado número de UFC de bacterias en las muestras de agar sangre (Gráfico 4-14), siendo este el medio con las concentraciones más altas, seguido de las colonias de hongos identificadas en el medio sabouraud y, por último, las UFC identificadas en el agar EMB presentaron las menores concentraciones. Esto debido a que las bacterias Gram positivas presentan una mayor resistencia y persistencia en el aire, respecto a las bacterias Gram negativas que fueron recuperadas con el agar EMB, a causa de que estas últimas poseen una pared celular más delgada [59].

Gráfico 4-14 Diagrama de cajas de las concentraciones de UFC en agar sangre



Fuente: Autor

En Ciudad Bolívar se presentaron mayores concentraciones de bacterias de interés clínico, ya que, para la J1 los datos mínimos (660 UFC/m³) y máximos (2170 UFC/m³) fueron superiores a los obtenidos en la misma jornada en la localidad de Los Mártires (80 UFC/m³ y 1420 UFC/m³), para la J2 ocurrió lo mismo en Ciudad Bolívar, pues el 50% de las cantidades de UFC registradas superan el 100% de los datos obtenidas en Los Mártires.

Se puede afirmar que en el punto de muestreo del colegio Cofraternidad se concentra una mayor densidad bacteriana, pues el promedio de UFC identificadas durante las jornadas 1 y 2 fue 1,9 y 1,7 veces superior al promedio de UFC que hubo en el colegio San José. Esto puede atribuirse en parte a los procesos unitarios en las actividades de las curtiembres que se encuentran cercanas al punto de muestreo.

Las concentraciones determinadas en Ciudad Bolívar concuerdan con estudios realizados a 23 curtiembres en México, en donde se identificó que al interior de las estos establecimientos la densidad bacteriana en el aire oscila entre 400 a 6000 UFC/m³, y las concentraciones extramurales de estas empresas llegan a ser hasta un 66% de las intramurales es decir en un rango de 264 a 3960 UFC/m³ [60].

El hecho de que durante la J1 se presentara una mayor densidad bacteriana a la identificada en la J2, se debe a que unas bajas temperaturas y elevadas humedades aumentan la viabilidad de los microorganismos en el aire [59], y estas dos

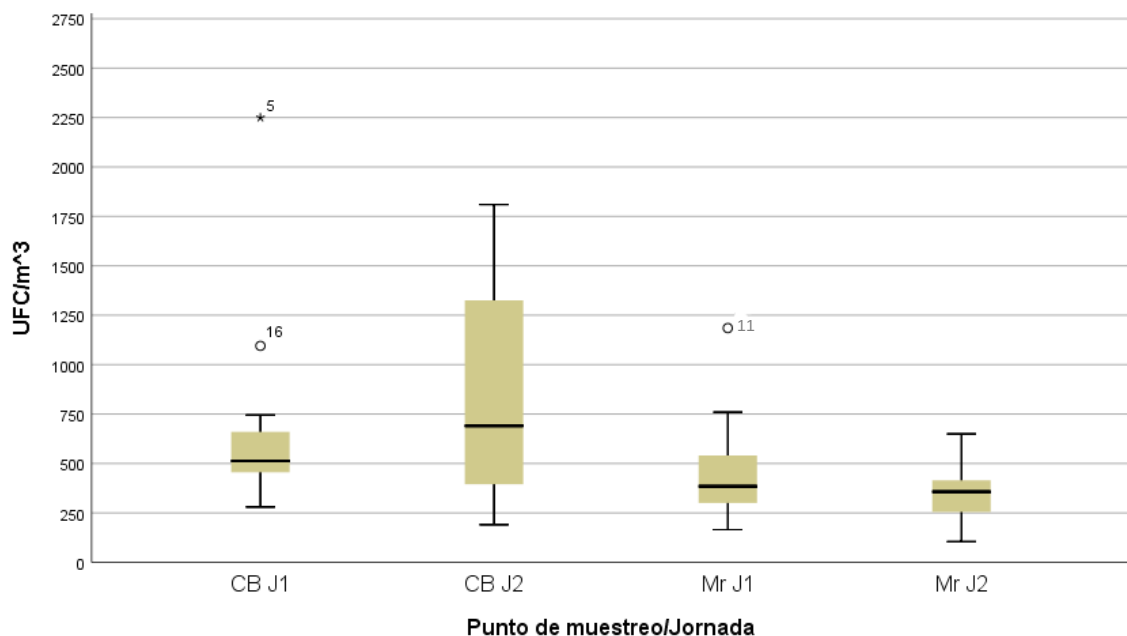
condiciones se dieron en ambos puntos de muestreo en la J1, en donde respecto a la J2 hubo menores temperaturas y mayor humedad relativa.

En la J2 de los Mártires se tienen lo menores registros de UFC, este comportamiento puede atribuirse a las alta velocidades del viento que se presentaron durante el 50% de los días de muestro (día 8 a día 17), pues estas oscilaron entre 2,05 y 3,4 m/s, lo que permite una alta dispersión de bioaerosoles, disminuyendo así sus concentraciones en la zona de estudio.

4.6.2. AGAR SABOURAUD

A pesar de que las condiciones meteorológicas favorecían la proliferación de hongos debido a una humedad relativa superior al 60% [59], en todos los escenarios la densidad bacteriana fue superior a la fúngica (Grafico 4-15), coincidiendo con estudios similares realizados en Turquía y Malasia, que mostraron resultados en donde las UFC de hongos (401 ± 235 UFC/m³) eran inferiores a las UFC bacterianas (1473 ± 1261 UFC/m³) [51, 61].

Grafico 4-15 Diagrama de cajas de las concentraciones de UFC en agar sabouraud



Fuente: Autor

Para Ciudad Bolívar se presentaron dos valores atípicos durante la J1, el valor extremo de 2250 UFC/m³, que se presentó durante el día 5, puede atribuirse al hecho de que durante ese día se realizaron actividades de adecuación de zonas verdes a pocos metros del colegio Cofraternidad, lo que pudo favorecer enormemente la dispersión de esporas. Por otra parte, para el valor presentado durante el día 16 (1095 UFC/m³) no hubo factores meteorológicos extremos que

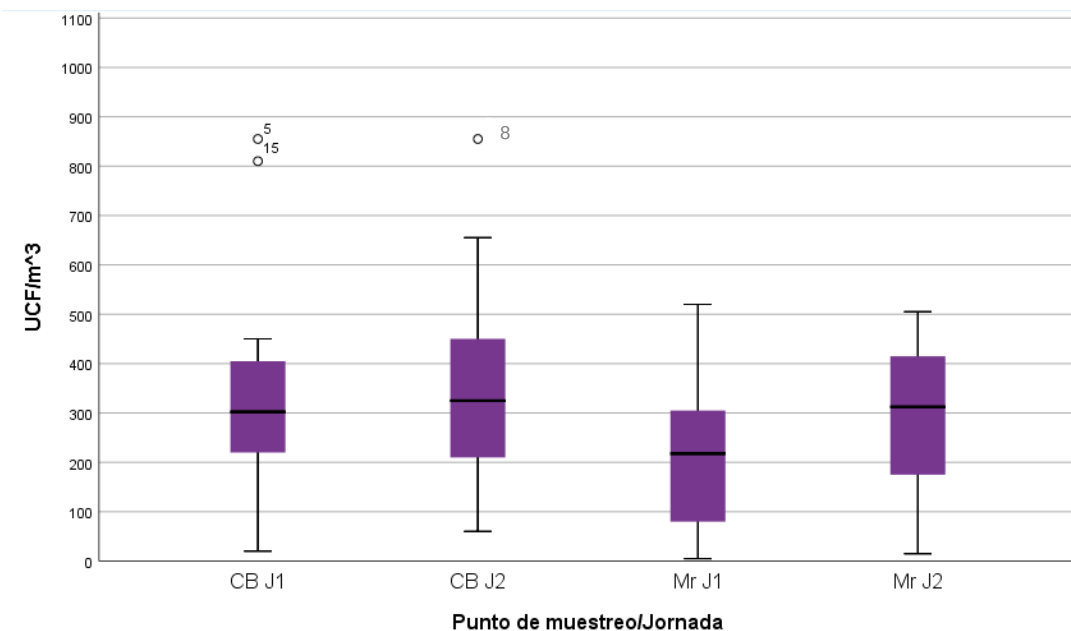
permitan dar alguna explicación a este comportamiento, por lo tanto, es posible que este valor se halla dado por algún evento externo que no fue contemplado durante la investigación. En Los Mártires se puede observar un valor atípico durante la J1 del día 11, y al igual que lo ocurrido durante el día 16 en Ciudad Bolívar no se presentaron condiciones meteorológicas extremas que permitan dar una razón a este dato.

En la J2 de Ciudad Bolívar fue donde se presentaron mayores valores para UFC de hongos, pues aproximadamente el 50% de los datos presento concentraciones superiores al 100% las cantidades identificadas en los demás escenarios, esto puede deberse principalmente a que durante la J2 en la localidad se presentaron las temperaturas más elevadas de todos los escenarios, esto pudo favorecer la proliferación y crecimiento de hongos ya que una cantidad considerable de especies micóticas presenta un desarrollo óptimo a temperaturas ambiente de los 25 a 35°C [59].

4.6.3. AGAR EMB

Aunque se utilizó como un medio de control, pues las bacterias entéricas no son muy comunes en el aire debido a su baja resistencia a condiciones atmosféricas [59], se evidenciaron pocas colonias de bacilos Gram negativos, además pese a ser un medio de cultivo selectivo, en este se presentó la proliferación de varios hongos en un número considerable de muestras, por lo que para el conteo de colonias se tomaron en cuenta tanto colonias de hongos como de bacterias (Gráfico 4-16).

Gráfico 4-16 Diagrama de cajas de las concentraciones de UFC en agar EMB



Fuente: Autor

En Ciudad Bolívar se presentaron tres datos atípicos, el valor correspondiente a la J1 del día 5 (855 UFC/m³), es atribuido a las actividades de adecuación de zonas verdes realizadas durante ese periodo que pudieron generar una gran diseminación de esporas de hongos. Para los otros valores atípicos (día 15-J1 y día 8-J2) no se puede identificar una relación frente a variables meteorológicas pues no se presentaron datos máximos o mínimos de humedad, temperatura o velocidad de viento durante esos escenarios, por lo tanto, estos valores atípicos son atribuidos a eventos externos que no fueron contemplados durante el muestreo.

En ambas localidades se observaron mayores concentraciones durante la J2, esto debido a que en la mayoría de los días en la J2 hubo valores superiores de temperatura y velocidad del viento, lo que pudo favorecer la dispersión de especies fúngicas capaces de crecer en el agar EMB.

4.7. CORRELACION ESTADISTICA ENTRE VARIABLES METEOROLOGICAS Y BIOAEROSOL

Los análisis estadísticos se realizaron estableciendo coeficientes de correlación bivariados, considerando las concentraciones de UFC como variables dependientes y los factores meteorológicos como valores independientes, debido a esto se realizó una prueba de normalidad a las variables meteorológicas, estimando la normalidad de éstas con intervalos de confianza del 90%. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson si la variable presentaba una distribución normal y en caso contrario se calculó el coeficiente de correlación de Spearman (Tabla 4-6 y 4-7).

Tabla 4-6 Coeficientes de correlación UFC/m³ vs variables meteorológicas en la localidad de Los Mártires

Variable Meteorológica	JORNADA		SANGRE	SABOURAUD	EMB
TEMP °C	1	Coef Pearson	-0,252	-0,171	-0,116
		Significancia	0,314	0,498	0,647
HR (%)		Coef Pearson	0,202	0,286	0,465
		Significancia	0,420	0,250	0,052
Vel Viento (m/s)		Coef Spearman	-0,530	-0,429	-0,549
		Significancia	0,024	0,076	0,018
TEMP °C	2	Coef Pearson	0,213	0,117	-0,088
		Significancia	0,396	0,644	0,728
HR (%)		Coef Spearman	0,382	0,449	0,557
		Significancia	0,118	0,061	0,016
Vel Viento (m/s)		Coef Pearson	-0,407	-0,462	-0,351
		Significancia	0,094	0,054	0,153

Fuente: Autor

Para la presente investigación coeficientes de correlación con un valor $p < 0,1$ fueron considerados estadísticamente significativos (color amarillo). En la localidad de Los Mártires se determinó que la variable meteorología que tiene mayor influencia sobre las concentraciones (UFC/m³) es la velocidad del viento, pues en la J1 presentó valores $p < 0,1$ para los tres tipos de agares utilizados, mientras que en la J2 presentó valores $p < 0,1$ para los medios de sangre y sabouraud.

La relación establecida por los cinco coeficientes estadísticamente significativos entre UFC y velocidad del viento, es inversa moderada, es decir, que a mayores velocidades de viento menores serán las concentraciones de bioaerosoles, este comportamiento concuerda con estudios realizados previamente donde se determinó que las altas velocidades del viento, tienen un efecto de dilución atmosférica, que disminuirá las concentraciones ambientales de microorganismos, sin embargo puede generar la presencia de especies exógenas [62].

Otra variable estadísticamente significativa fue la humedad relativa, ésta presentó correlaciones importantes con el agar EMB para la J1 y con el agar sabouraud y EMB para la J2, los tres coeficientes mostraron una relación directa moderada y aunque la influencia de la humedad relativa sobre los bioaerosoles no ha sido del todo establecida, es posible afirmar que las especies fúngicas y los bacilos Gram negativos presentes en la localidad de Los Mártires presentan una mayor viabilidad cuando la humedad en el aire aumenta [34, 59].

Tabla 4-7 Coeficientes de correlación UFC/m³ vs variables meteorológicas en la localidad de Ciudad Bolívar

Variable Meteorológica	JORNADA		SANGRE	SABOURAUD	EMB
TEMP °C	1	Coef Pearson	-0,190	-0,077	-0,100
		Significancia	0,451	0,760	0,693
HR (%)		Coef Pearson	-0,148	-0,104	0,260
		Significancia	0,558	0,681	0,297
Vel Viento (m/s)		Coef Spearman	0,220	0,071	-0,081
		Significancia	0,381	0,779	0,748
TEMP °C	2	Coef Pearson	-0,640	-0,046	-0,245
		Significancia	0,004	0,855	0,328
HR (%)		Coef Pearson	0,324	0,291	0,337
		Significancia	0,189	0,241	0,171
Vel Viento (m/s)		Coef Spearman	-0,120	-0,146	-0,260
		Significancia	0,634	0,564	0,298

Fuente: Autor

Para Ciudad Bolívar únicamente se obtuvo una correlación estadísticamente significativa que corresponde a la temperatura y el agar sangre para la J2, ésta correlación es de carácter inverso moderado y por lo tanto una menor temperatura generara mayores concentraciones de UFC en el aire ya que el aire frío facilita la suspensión y transporte de bacterias [34].

4.8. CORRELACION ESTADISTICA ENTRE PM₁₀ Y BIOAEROSOLES

El material particulado es un factor importante en la dispersión de bioaerosoles, pues, muchos microorganismos pueden encontrar en estas partículas un medio de transporte aéreo que facilite su movimiento a través del ambiente [34], debido a esto se realizó también un análisis estadístico entre las concentraciones de PM₁₀ obtenidas y los resultados de bioaerosoles, sin embargo, como los valores de PM₁₀ son de un total de 24 horas, se realizó un promedio aritmético entre los valores de UFC de las dos jornadas de muestro para realizar el análisis apropiado, los coeficientes de correlación son presentados en la tabla 4-8.

Tabla 4-8 Coeficientes de correlación UFC/m³ vs PM₁₀

PM ₁₀		SANGRE	SABOURAUD	EMB
Mártires	Coef Pearson	0,527	0,188	0,177
	Significancia	0,025	0,46	0,482
Ciudad Bolívar	Coef Pearson	-0,026	0,467	0,13
	Significancia	0,97	0,051	0,608

Fuente: Autor

El agar sangre y el PM₁₀ mostraron una correlación significativa $p < 0,1$ en la Localidad de Los Mártires, esta correlación es de carácter directo y de una fortaleza moderada, es decir que a mayores concentraciones de PM₁₀ habrá mayor densidad bacteriana, a pesar de que la relación entre el material particulado y concentraciones de bacterias no ha sido del todo establecida, diversos estudios demostraron que el PM₁₀ si puede favorecer el transporte de microorganismos en el aire, sin embargo esto es atribuible a componentes específicos presente en el material particulado de las zonas de estudio [34].

En Ciudad Bolívar se presentó una correlación estadísticamente significativa entre agar sabouraud y PM₁₀, este valor indica una relación directa entre los niveles de PM₁₀ y concentraciones de hongos en el ambiente, esto puede indicar que una parte del PM₁₀ puede estar compuesto por esporas fúngicas, o bien puede existir una afinidad de los hongos a ciertos compuesto en el material particulado del área de estudio, como fue el caso de un estudio en Brasil, que estableció una correlación

directa entre las concentraciones de esporas y ciertos componentes presentes en el PM_{2.5} (Bario, Calcio ,Hierro, Zinc, Potasio y Silicio) [63].

4.9. MICROORGANISMOS IDENTIFICADOS

De los 18 organismos aislados, dos no presentaron crecimiento, y en uno de ellos no se logró determinar la estructura completa, por tanto, solo se pudo establecer la presencia de hifas estériles (Tabla 4-9), esto se puede atribuir a condiciones ambientales las cuales no fueron favorables para el correcto desarrollo de dicho microorganismo.

Tabla 4-9 Especies identificadas con la metodología API

Agar	Los Mártires	Ciudad Bolívar
Sangre	• <i>Salmonella enteritidis</i> • <i>Aspergillus spp</i>	• <i>Bacillus Cereus</i> • <i>Acinetobacter baumannii complex</i> • <i>Pseudomonas luteola</i>
EMB	• Levadura • <i>Ewingella americana</i>	• <i>Staphylococcus epidermidis</i> • <i>Staphylococcus aureus</i> • <i>Bacillus subtilis</i>
Sabouraud	• <i>Microsporum spp</i> • <i>Penicillium</i>	• <i>Trichophyton spp</i> • Hifas Estériles • <i>Paecilomyces spp</i>

Fuente: Autor

Dentro de las especies identificadas, no todas han sido reportadas como causantes de enfermedades respiratorias o cutáneas (ANEXO H–Identificación de microorganismos), algunas de las bacterias identificadas como la *Salmonella Enteritidis* y *Pseudomona Luteola* son consideradas como especies patógenas causantes de infecciones gastrointestinales, endoftalmitis, conjuntivitis, e infecciones localizadas. A su vez se encuentran asociadas a animales, por lo que generalmente se adquiere por alimentos contaminados [32].

Los bacilos Gram positivos encontrados en el estudio se asocian principalmente a infecciones cutáneas, respiratorias superiores, pulmonares y bronquiales, como neumonía, sinusitis, empiema, foliculitis y ántrax, siendo *S. aureus* y *S. epidermidis* los microorganismo de mayor interés, dada su relevancia médica, ya que dentro de los estafilococos, estas son unas de las especies que se asocian con mayor frecuencia a enfermedades en el ser humano, siendo *S. aureus* el miembro más virulento y conocido del género. Así mismo estas bacterias son relativamente resistentes a los cambios de temperatura y se adaptan rápido al medio en donde se encuentran, lo que facilita su presencia en el medio ambiente y conlleva a que la población sea más susceptible a su exposición [64].

Por otra parte, los bacilos Gram negativos *Acinetobacter baumannii* y *Ewingella americana* son patógenos oportunistas, que rara vez causan infecciones en humanos [33].

De los cinco hongos identificados los de mayor interés clínico son el *Microsporum* y *Trichophyton*, ya que, se encuentran asociados a efectos alérgicos y a enfermedades cutáneas (dermatofitosis), afectando la piel de distintas partes del cuerpo [64]. Los tres géneros restantes están relacionados con enfermedades respiratorias y cutáneas, como la neumonía, sinusitis, bronquitis e infección de nódulos cutáneos, sin embargo, para que generen complicaciones a la salud la persona afectada debe tener una respuesta inmune disminuida, es decir que el *Paecilomyces spp*, el *Aspergillus spp* y el *Penicillium spp*, son patógenos oportunistas [33], además los dos últimos son géneros de hongos mencionados son sumamente comunes en el ambiente, pues se han encontrado especies de *Aspergillus spp* y *Penicillium spp* en más del 85% de estudios de bioaerosoles [54].

5. CONCLUSIONES

- En la UPZ La Sabana (Los Mártires) existe una mayor presencia de industrias de metalmecánica, oxicorte, metalurgia, litografías y talleres de latonería y pintura; respecto a la UPZ San Francisco (Ciudad Bolívar); es importante mencionar que a pesar de que entidades como la SDP o la Cámara de Comercio mantienen un registro actualizado de establecimientos con matrícula comercial activa, documentos con información más específica de establecimientos comerciales e industrias, como los son el inventario de fuentes fijas a la SDA y el Mapa de Industria y Ambiente a la SDS, deben ser actualizados con más frecuencia pues zonas como Los Mártires y Ciudad Bolívar tienen una dinámica empresarial que presenta grandes variaciones con el tiempo y una base de datos desactualizada impide la realización de estudios de carácter ambiental con resultados consistentes.
- Si bien para las áreas de estudio las concentraciones de cadmio en el material particulado se encontraban muy por debajo de los límites nacionales e internacionales, el haber encontrado trazas del metal hace que cobre importancia la vigilancia y monitoreo de este, pues puede transportarse a grandes distancias vía aire, agua o suelo; llegando a afectar la salud de las personas expuestas por otras vías de ingreso al organismo, además, no se descartan las afecciones por exposiciones crónicas muy largas al metal.
- En ambas localidades la densidad bacteriana fue superior a la fúngica, y si bien diversos autores y entidades plantean valores inferiores a 1000 UCF/m³ como un nivel aceptable de bioaerosoles tanto para bacterias como para hongos, en Ciudad Bolívar muchas veces se superó éste límite, y aunque las especies identificadas no son catalogadas como patógenos con efectos graves a la salud, cobra importancia el hecho de que el punto de muestreo fue una institución educativa y, por lo tanto los niños que frecuentan el área de estudio pueden llegar a presentar complicaciones en su salud a causa de bioaerosoles, pues su sistema inmune no se ha desarrollado completamente.
- Aunque se encontró que el riesgo de intoxicación por exposición a cadmio es bajo y los riesgos a la salud por bioaerosoles no se pudieron establecer del todo, la investigación permitió determinar que existe un riesgo considerable por exposición a PM₁₀ especialmente en la localidad de Ciudad Bolívar, pues en muchas ocasiones se superaron los límites diarios nacionales e internacionales.

6. RECOMENDACIONES

- Debido a la alta actividad industrial de las áreas de estudio puede ser oportuno evaluar los riesgos de exposición laboral y realizar campañas de buenas prácticas industriales y ambientales que puedan reducir la generación de emisiones de cadmio, así como, evitar intoxicaciones laborales por el metal.
- Se recomienda la realización de estudios de bioaerosoles a nivel intramural en las instituciones educativas, centros médicos y casas geriátricas presentes en las áreas de estudio, para evaluar posibles riesgos a los que grupos etarios sensibles pueden estar expuestos. Por otra parte, un mayor control por parte de las entidades ambientales y de salud sobre el sector de curtiembres de Ciudad Bolívar sería oportuno, pues además de generar impactos ambientales, éstas empresas pueden generar complicaciones en la salud pública.
- Además, a pesar de que para Los Mártires es posible establecer valores de PM_{10} con ayuda de las estaciones de la RMCAB, tanto en esta localidad como en Ciudad Bolívar es recomendable la instalación de una estación de monitoreo de calidad del aire, pues su ubicación, orografía y tráfico vehicular hacen que su calidad atmosférica varíe mucho frente a otras zonas de la ciudad.

7. LIMITACIONES

Aunque el estudio realizado permitió identificar algunos problemas respecto a la calidad del aire en las áreas de estudio, la información correspondiente a niveles de cadmio en el material particulado y patógenos presentes en el aire fue muy limitada, debido a que fue imposible identificar y analizar todas las muestras obtenidas durante el muestreo a falta de presupuesto. También, a pesar de que el monitoreo de PM_{10} se realizó de acuerdo a lo establecido en el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del IDEAM, la falta de una estación meteorológica que suministrara información in situ, impide afirmar en su totalidad la relación entre variables meteorológicas y los contaminantes a estudiar.

Por lo tanto, para futuros estudios es recomendable considerar estas limitaciones para poder obtener resultados más consistentes

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] OMS. Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado, <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> (accessed 3 May 2019).
- [2] Joanne Green, Sergio Sánchez. *La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica*. Washington D.C: Clean Air Institute, https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/La_Calidad_del_Aire_en_Am%C3%A9rica_Latina.pdf (2013, accessed 3 May 2019).
- [3] Riojas-Rodríguez H, Texcalac-Sangrador JL, Moreno-Banda GL. Air pollution management and control in Latin America and the Caribbean: implications for climate change. *Rev Panam Salud Publica* 2016; 10.
- [4] Martí M, Obiols J. *NTP 288: Síndrome del edificio enfermo: enfermedades relacionadas y papel de los bioaerosoles*. INSHT, 1991.
- [5] IDEAM. *Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2016*. Bogotá D.C, <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/3.+Informe+del+Estado+de+la+Calidad+del+Aire+en+Colombia+2016.pdf/fb3eee92-6bcf-4979-9ea2-de0101496a2f?version=1.0> (2017, accessed 3 May 2019).
- [6] Malo DC, Pulido PA. *Informe De Evento Infección Respiratoria Aguda, Colombia, 2017*. INS, 2018.
- [7] Secretaria Distrital de ambiente. *Informe anual de calidad del aire en Bogotá 2017*. Bogotá D.C: SDA, June 2018.
- [8] Secretaria Distrital de ambiente. Resolución de declaratoria N° 0298.
- [9] Secretaria Distrital de ambiente. Decreto 623 de 2011, http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/decreto-623-de-2011.pdf (2019, accessed 4 May 2019).
- [10] Johan Alvarez. *Modelo para la evaluación de la concentración de plomo, cadmio y cromo contenidos en el material particulado respirable en la localidad de Los Martires, Bogotá D.C*. Universidad Nacional de Colombia, 2016.

- [11] OMS. List of classifications, Volumes 1–123 – IARC, <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications-volumes/> (2012, accessed 4 May 2019).
- [12] Secretaria distrital de planeación. Monografía De Localidades – No.19 Ciudad Bolívar.
- [13] IDECA. Datos de Referencia | La IDE de Bogotá, <https://www.ideca.gov.co/datos-de-referencia> (accessed 8 May 2019).
- [14] Secretaria distrital de planeación. *Visor de Proyecciones de Población SDP*. Bogotá D.C, 2017.
- [15] Secretaria distrital de planeación. Proyecciones de población por localidad para Bogotá 2016-2020.
- [16] Secretaria distrital de Salud. *Informe ejecutivo de Análisis de Condiciones, Calidad de Vida, Salud y Enfermedad: Localidad ciudad bolivar*. Bogotá D.C: SDS, 2017.
- [17] Hospital Vista Hermosa. *Diagnóstico Local Con Participación Social Ciudad Bolívar*. Bogotá D.C: SDS, http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Diagnosticos%20distritales%20y%20locales/Local/2014/19_DiagnosticoLocal2014CiudadBolivar_12Abril2016.pdf (April 2016, accessed 4 May 2019).
- [18] Alcaldia local Ciudad Bolivar. *Plan ambiental local: localidad 19 Ciudad Bolivar (2017-2020)*. Bogotá D.C: SDA, 2017.
- [19] Alcaldía mayor de Bogotá. Decreto 619 del 2000., https://camacol.co/sites/default/files/base_datos_juridico/DECRETO_ALCALDIA_BOGOTA_0619_2000.pdf (2000, accessed 4 May 2019).
- [20] Aristizábal J, Bustos P. Observatorio de movilidad 2017. 2017; 83.
- [21] Secretaria distrital de planeación. Boletín Estadístico # 5 Dinámica Empresarial De Bogotá, <http://www.sdp.gov.co/system/tdf/repositorio-dice/dice201-dinamicaempresarial-31032018.pdf?file=1&type=node&id=8794&force=> (2018, accessed 4 May 2019).
- [22] Secretaria distrital de planeación. Monografía De Localidades – No.14 Los Mártires.
- [23] Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Resultados del censo de habitantes de calle, 2017,

<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/censo-habitantes-calle/presentacion-resultados-hab-calle-bogota-2017.pdf> (2018, accessed 4 May 2019).

- [24] Secretaria Distrital de ambiente. Plan ambiental local: localidad 14 Los mártires (2017-2020).
- [25] Secretaria distrital de Salud. *Informe ejecutivo de Análisis de Condiciones, Calidad de Vida, Salud y Enfermedad: Localidad los mártires*. Bogotá D.C: Subred Integrada de Servicios de Salud Centro oriente, <http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Diagnosticos%20distritales%20y%20locales/Local/2017/Subred%20Centro%20Oriente/LOS%20M%C3%81RTIRES.pdf> (2016, accessed 4 May 2019).
- [26] Ramírez A. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *An Fac Med* 2002; 63: 51–64.
- [27] Albert LA. *Curso basico de toxicología ambiental*. 2°. Mexico, 1999.
- [28] Manuel Repetto. *Toxicología fundamental*. Ediciones Díaz de Santos, 2009.
- [29] International Programme on Chemical Safety, Comisión Europea. Fichas internacionales de seguridad química: Cadmio, <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FI/SQ/Ficheros/0a100/nspn0020.pdf> (2005, accessed 4 May 2019).
- [30] OAR US EPA. About AQS Hazardous Air Pollutants - Border Air Quality Data | CICA | US EPA, https://www3.epa.gov/ttnecatc1/cica/help/haqshaps_e.html (2006, accessed 4 May 2019).
- [31] Humbal C, Gautam S, Trivedi U. A review on recent progress in observations, and health effects of bioaerosols. *Environ Int* 2018; 118: 189–193.
- [32] Kim K-H, Kabir E, Jahan SA. Airborne bioaerosols and their impact on human health. *J Environ Sci* 2018; 67: 23–35.
- [33] José RJ, Brown JS. Opportunistic bacterial, viral and fungal infections of the lung. *Medicine (Baltimore)* 2016; 44: 378–383.
- [34] Zhai Y, Li X, Wang T, et al. A review on airborne microorganisms in particulate matters: Composition, characteristics and influence factors. *Environ Int* 2018; 113: 74–90.
- [35] IDEAM. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

- [36] Tisch Environmental. PM10 Particulate Samplers - Tisch Environmental. *Tisch Environmental*, <https://tisch-env.com/high-volume-air-sampler/pm10> (accessed 6 May 2019).
- [37] Environmental Protection Agency. Compendium Method IO-3.1: Selection, Preparation and Extraction Of Filter Material, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-io-3.1.pdf> (1999, accessed 6 May 2019).
- [38] Environmental Protection Agency. Compendium Method IO 3.5 ‘Determination Of Metals In Ambient Particulate Matter Using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry’, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-io-3.5.pdf> (1999, accessed 5 May 2019).
- [39] Sogorb Sánchez MÁ. *Técnicas analíticas de contaminantes químicos: aplicaciones toxicológicas, medioambientales y alimentarias*. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaustasp/detail.action?docID=3173210> (2004, accessed 7 May 2019).
- [40] Haig CW, Mackay WG, Walker JT, et al. Bioaerosol sampling: sampling mechanisms, bioefficiency and field studies. *J Hosp Infect* 2016; 93: 242–255.
- [41] Vanegas López MC. *Guías para el laboratorio de bacteriología*. Bogotá, COLOMBIA: Universidad de los Andes, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaustasp/detail.action?docID=5636595> (2015, accessed 7 May 2019).
- [42] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Resolución 2254 de 2017, <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf> (2017, accessed 5 May 2019).
- [43] Union Europea. DIRECTIVA 2004/107/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO.
- [44] Gonzales K, Mogollon J, Sonia H. *Legislación de benceno y cadmio en la calidad de aire entre países*. Bogotá D.C: Subred Integrada de Servicios de Salud Sur E.S.E, <http://www.subredsur.gov.co/sites/default/files/documentos/PUBLICACION%20UNO%20-%20BENCENO%20Y%20CADMIO.pdf> (March 2017, accessed 5 May 2019).
- [45] Google LLC. *Google earth pro*. 2019.

- [46] Rojano RE, Mendoza YI, Arregoces H, et al. Dispersión de Contaminantes del Aire (PM10, NO2, CO, COV y HAP) emitidos desde una Estación Modular de Compresión, Tratamiento y Medición de Gas Natural. *Inf Tecnológica* 2016; 27: 99–110.
- [47] Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Clasificación Industrial Internacional Uniforme De Todas Las Actividades Económicas, https://www.dane.gov.co/files/nomenclaturas/CIIU_Rev4ac.pdf (2012, accessed 4 May 2019).
- [48] Secretaria Distrital de ambiente. *Informe Dia Sin Carro Y Sin Moto Febrero 1 De 2018*. Bogotá D.C: SDA, 2018.
- [49] Instituto Nacional de Vías. Volúmenes de tránsito: TPD Cundinamarca. *INVIAS*, <https://invias.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=daa4687ad91b4c4d9ad92ae6adc2f8e0> (2017, accessed 5 May 2019).
- [50] Rojas A. *Estimación De Emisiones De Contaminantes Provenientes De Fuentes Móviles En La Jurisdicción CAR*. Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [51] Mentese S, Rad AY, Arisoy M, et al. Seasonal and Spatial Variations of Bioaerosols in Indoor Urban Environments, Ankara, Turkey. *Indoor Built Environ* 2012; 21: 797–810.
- [52] Secretaria Distrital de ambiente. Red de Calidad del Aire - Secretaria Distrital de Ambiente, <http://ambientebogota.gov.co/web/sda/red-de-calidad-del-aire> (2019, accessed 22 May 2019).
- [53] Culver M. *NTP 1064-Calidad del aire interior. Contaminantes biológicos (I): estrategia de muestreo*. INSHT, <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/1055a1065/ntp-1064w.pdf> (2015, accessed 10 May 2019).
- [54] Goyer N, Lavoie J, Lazure L. Bioaerosols in the Workplace: Evaluation, Control and Prevention Guide, <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/T-24.pdf> (2001, accessed 11 May 2019).
- [55] López-Jácome LE, Hernández-Durán M, Colín-Castro CA, et al. Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología. 2014; 9.
- [56] API®. *bioMérieux Colombia*, <https://www.biomerieux.com.co/diagnostico-clinico/apir> (accessed 11 May 2019).

- [57] Pinedo CFD. *Manuales de buenas prácticas ambientales: Soldadura*. España: Departamento De Medio Ambiente, Ordenación Del Territorio Y Vivienda, 2001.
- [58] OMS (ed). *Air quality guidelines for Europe*. 2nd ed. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe, 2000.
- [59] de la Rosa MC, Mosso MA, Ullan C. El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 2002, <http://www.divulgameteo.es/uploads/aire-microorganismos.pdf> (2002, accessed 21 May 2019).
- [60] Castellanos-Arévalo AP, Camarena-Pozos DA, Castellanos-Arévalo DC, et al. Microbial contamination in the indoor environment of tanneries in Leon, Mexico. *Indoor Built Environ* 2016; 25: 524–540.
- [61] Hussin NHM, Sann LM, Shamsudin MN, et al. Characterization of Bacteria and Fungi Bioaerosol in the Indoor Air of selected Primary Schools in Malaysia. *Indoor Built Environ* 2011; 20: 607–617.
- [62] Zhong X, Qi J, Li H, et al. Seasonal distribution of microbial activity in bioaerosols in the outdoor environment of the Qingdao coastal region. *Atmos Environ* 2016; 140: 506–513.
- [63] Degobbi C, Lopes FDTQS, Carvalho-Oliveira R, et al. Correlation of fungi and endotoxin with PM2.5 and meteorological parameters in atmosphere of Sao Paulo, Brazil. *Atmos Environ* 2011; 45: 2277–2283.
- [64] Patrick Murray, Ken Rosenthal, Michael Pfaller. *Microbiología médica 7th Edition*. 2014.

9. ANEXOS

Anexo A- Aforo de fuentes Móviles

10. Carrera 30 -Lunes- Acceso Sur norte				Carrera 30 -Lunes- Acceso Norte-Sur			Total	Composición
Tipo de vehículo	J1	J2	J3	J1	J2	J3		
Particulares	6221	6984	5646	6910	6900	7020	39681	57%
Motos	5772	2978	2998	2531	2324	6954	23557	34%
Carga pesada	560	496	217	390	780	374	2817	4%
Servicio publico	624	437	672	715	361	660	3469	5%
TOTAL							69524	100%
Carrera 30 -Miércoles- Acceso Sur norte				Carrera 30 -Miércoles - Acceso Norte-Sur			Total	Composición
Tipo de vehículo	J1	J2	J3	J1	J2	J3		
Particulares	6305	6560	5300	6320	7340	7373	39198	55%
Motos	6182	2730	3284	2160	3095	7250	24701	35%
Carga pesada	583	709	286	497	957	489	3521	5%
Servicio publico	723	591	647	710	480	782	3933	6%
TOTAL							71353	100%
Carrera 30 -Sábado- Acceso Sur norte				Carrera 30 -Sábado - Acceso Norte-Sur			Total	Composición
Tipo de vehículo	J1	J2	J3	J1	J2	J3		
Particulares	7166	4521	6787	6814	6552	7201	39041	61%
Motos	6486	2407	3532	1867	3466	2074	19832	31%
Carga pesada	497	237	335	574	455	422	2520	4%
Servicio publico	612	280	464	498	500	464	2818	4%
TOTAL							64211	100%
pico y placa ambiental								
Carrera 30 -Lunes- Acceso Sur norte				Carrera 30 -Lunes- Acceso Norte-Sur			Total	Composición
Tipo de vehículo	J1	J2	J3	J1	J2	J3		
Particulares	5221	3984	3646	3910	2900	4020	23681	66%
Motos	2210	1010	1320	1170	900	1260	7870	22%
Carga pesada	424	237	372	515	261	336	2145	6%
Servicio publico	260	496	217	290	580	241	2084	6%
TOTAL							35780	100%

Boyacá -Lunes- Acceso Sur norte				Boyacá -Lunes- Acceso Norte-Sur			total	Composición
Tipo de vehículo	J1	J2	J3	J1	J2	J3		
Particulares	2000	2901	1318	1718	2490	1524	11951	44%
Motos	1005	1481	994	938	1529	2470	8417	31%
Carga pesada	705	1064	340	627	1021	356	4113	15%
Servicio publico	386	551	308	467	711	356	2779	10%
TOTAL							27260	100%
Boyacá -Miércoles- Acceso Sur norte				Boyacá -Miércoles- Acceso Norte-Sur			total	Composición
Tipo de vehiculo	J1	J2	J3	J1	J2	J3		
Particulares	2230	3114	2170	1845	2748	1925	14032	45%
Motos	1120	1510	1068	896	1693	3120	9407	30%
Carga pesada	815	1095	612	465	1114	450	4551	15%
Servicio publico	415	610	389	435	785	502	3136	10%
Total							31126	100%
Boyacá -Sábado- Acceso Sur norte				Boyacá -Sábado- Acceso Norte-Sur			total	Composición
Tipo de vehículo	J1	J2	J3	J1	J2	J3		
Particulares	3012	2841	2345	2348	2089	2745	15380	38%
Motos	1714	2741	1682	1614	2896	2158	12805	32%
Carga pesada	1345	1996	1512	1478	947	1079	8357	21%
Servicio publico	576	785	609	485	741	527	3723	9%
Total							40265	100%

Anexo B: Pesaje de filtros

Día	PUNTO	N° de filtro	Inicial		% e relativo	P inicial (g)
24/11/2018	C.B	1	4,2368	4,2364	0,094	4,2364
	M	2	4,2346	4,2344	0,047	4,2344
25/11/2018	C.B	3	4,2461	4,2459	0,047	4,2459
	M	4	4,2473	4,247	0,071	4,247
26/11/2018	C.B	5	4,2425	4,2421	0,094	4,2421
	M	6	4,2137	4,2132	0,119	4,2132
27/11/2018	C.B	7	4,2384	4,2382	0,047	4,2382
	M	8	4,2448	4,2443	0,118	4,2443
28/11/2018	C.B	9	4,2309	4,2308	0,024	4,2308
	M	10	4,2436	4,2434	0,047	4,2434
29/11/2018	C.B	11	4,2236	4,2235	0,024	4,2235
	M	12	4,2239	4,2235	0,095	4,2235
30/11/2018	C.B	13	4,2296	4,2296	0,000	4,2296
	M	14	4,2064	4,2062	0,048	4,2062
1/12/2018	C.B	15	4,2214	4,2209	0,118	4,2209
	M	16	4,2243	4,2242	0,024	4,2242
2/12/2018	C.B	17	4,2246	4,2245	0,024	4,2245
	M	18	4,2216	4,2216	0,000	4,2216
3/12/2018	C.B	19	4,186	4,1859	0,024	4,1859
	M	20	4,2034	4,2033	0,024	4,2033
4/12/2018	C.B	21	4,216	4,2156	0,095	4,2156
	M	22	4,2089	4,2089	0,000	4,2089
5/12/2018	C.B	23	4,2213	4,2212	0,024	4,2212
	M	24	4,2207	4,2207	0,000	4,2207
6/12/2018	C.B	25	4,3472	4,3471	0,023	4,3471
	M	26	4,3446	4,3444	0,046	4,3444
7/12/2018	C.B	27	4,3073	4,307	0,070	4,307
	M	28	4,3385	4,3385	0,000	4,3385
8/12/2018	C.B	29	4,3169	4,3169	0,000	4,3169
	M	30	4,3377	4,3374	0,069	4,3374
9/12/2018	C.B	31	4,3318	4,3317	0,023	4,3317
	M	32	4,3351	4,3349	0,046	4,3349
10/12/2018	C.B	33	4,3225	4,3224	0,023	4,3224
	M	34	4,3277	4,3276	0,023	4,3276
11/12/2018	C.B	35	4,3456	4,3454	0,046	4,3454
	M	36	4,3255	4,3254	0,023	4,3254

Anexo C – Protocolo de calibración y elaboración de curvas de calibración

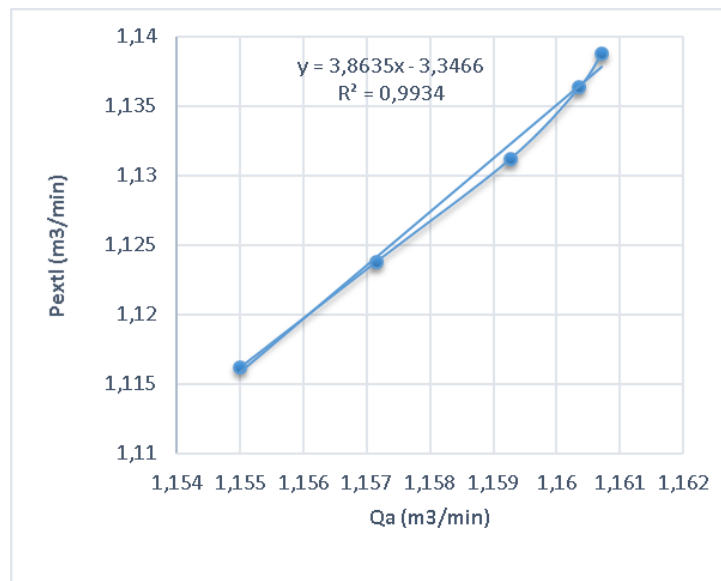
1	registre la temperatura y la presión barométrica del sitio de muestreo
2	Opere el equipo durante 5 minutos para establecer un equilibrio térmico
3	Apague el equipo e instale el kit de calibración
4	Conecte un manómetro diferencial a la toma de presión del kit de calibración
5	Conecte un manómetro diferencial a la derivación de presión que se encuentra en la parte inferior del motor
6	Ubique el calibrador en la posición de máxima abertura y encienda el equipo por 5 minutos
7	Lea y registre las caídas de presión de ambos manómetros
8	Repita los pasos 6 y 7 por lo menos cuatro veces, hasta llegar a una abertura mínima
9	Verifique que el caudal obtenido esté en el rango aceptable y apague el equipo.
10	Calcule la lectura de presión transformada del manómetro del muestreador (P_{ext}) y el caudal real a través del calibrador (Q_a), mediante las ecuaciones B1 y B2 Ecuación B1 Cálculo del caudal real a través del calibrador: $Q_a = \frac{\sqrt{\Delta H(T_a/P_a) - b}}{m}$ Donde: Q_a= Caudal real a través del calibrador (m³/min) H=Caída de presión a través del calibrador (Pulgadas de agua) T_a=Temperatura ambiente (K) P_a=Presión barométrica (mm Hg) b= Intercepto de la relación de calibración del orificio m= Pendiente de la relación de calibración del orificio Todos estos valores obtenidos del manómetro conectado al equipo calibrador permiten estimar el caudal que pasa a través de éste. Además, los valores de m y b son constantes y suministrados de acuerdo a la revisión realizada con un equipo verificador ($m=0.9981708$, $b=0.0453955$) Ecuación B2 presión transformada del manómetro del muestreador $Q_{ext} = \frac{\sqrt{\Delta P_{ex}(T_a + 30)}}{P_a}$ Donde: Q_{ext}=lectura de presión transformada del manómetro del muestreador (m³/min) P_{ex}=lectura de presión en el manómetro del muestreador (in de agua) T_a=Temperatura ambiente (K) P_a=Presión barométrica (mm Hg)

11

Cuando se hallan identificado por lo menos 5 valores para P_{ext} y Q_a , realice la curva de calibración del equipo utilizando para el eje X los valores de Q_a y para el eje Y la variable P_{ext} .

HI-VOL MARTIRES							
Punto	Delta de presión		T ambiente	Presión	Q_a (m ³ /min)	P_{ext} (m ³ /min)	%e
	P equipo ln.H2O	P estancamiento ln. H2O	k	mmHg			
1	2,8	2,2	287,15	560	1,155	1,116	3,358
2	2,8	2,2	287,15	560	1,157	1,124	2,882
3	2,8	2,3	287,15	560	1,159	1,131	2,420
4	2,8	2,3	287,15	560	1,160	1,136	2,070
5	2,8	2,3	287,15	560	1,161	1,139	1,886

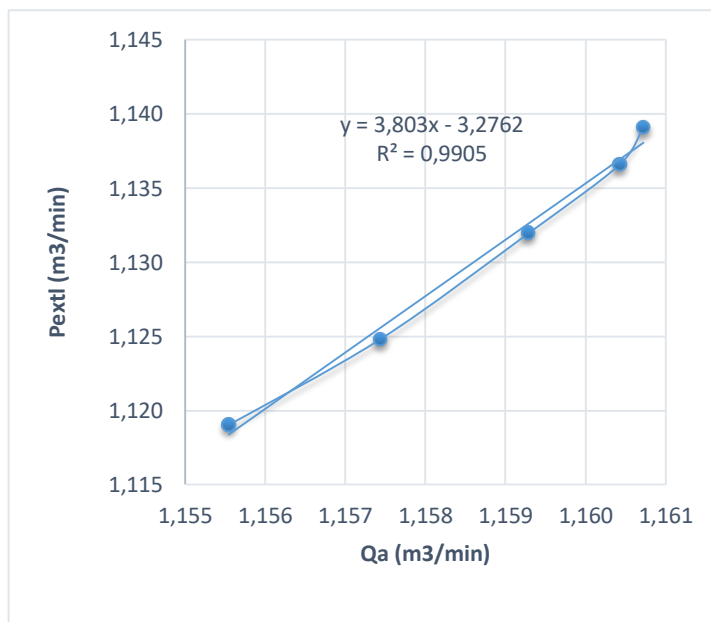
Gráfico B1: Curva de Calibración Colegio San José



}

HI-VOL CIUDAD BOLIVAR							
Punto	Delta de presión		T ambiente	Presión	Qa (m³/min)	Pext (m³/min)	%e
	P equipo In.H2O	P estancamiento In. H2O	k	mmHg			
1	2,8	2,2	287,15	560	1,155	1,116	3,358
2	2,8	2,2	287,15	560	1,157	1,124	2,882
3	2,8	2,3	287,15	560	1,159	1,131	2,420
4	2,8	2,3	287,15	560	1,160	1,136	2,070
5	2,8	2,3	287,15	560	1,161	1,139	1,886

Gráfico B1: Curva de Calibración Colegio Cofraternidad



Anexo D – Protocolo para el cambio y recolección del filtro

1	Apague el motor y retire la carta de flujo
2	Cuidadosamente abra el cabezal y retire el marco
3	Retire el filtro haciendo uso de pinzas y guantes de nitrilo
4	Doble el filtro por el lado más largo e introdúzcalo en un sobre de aluminio
5	Introduzca el sobre de aluminio (con el filtro) en un sobre de manila debidamente rotulado
6	Cuidadosamente ponga un nuevo filtro en el equipo
7	Ponga el marco asegurándose de que quede bien ajustado y cierre el cabezal.
8	Coloque una nueva carta de flujo en el medidor de flujo y encienda el equipo

Anexo E– Calculo de concentraciones de PM10 y Cadmio

1	Una vez realizado el pesaje del filtro, para determinar y corregir concentraciones de PM₁₀ aplique las ecuaciones D1 A D5
2	Primero es necesario conocer el volumen real de muestreo que se determina mediante la carta de flujo del equipo Hi-Vol Ecuación D1 Cálculo de la lectura transformada de la carta de flujo $L_{\text{corregida}} = \frac{\sqrt{L(Ta + 30)}}{Pa}$ Donde: L_{corregida}= lectura transformada de la carta de flujo (m3/min) L=lectura de la carta record (m3/min) Ta=Temperatura ambiente (K) Pa=Presión barométrica (mm Hg) Ecuación D2 Cálculo del caudal medio $Qm = \frac{L_{\text{corregida}} - b}{m}$ Donde: Qm=Tasa de flujo operativa real promedio del muestreador (m3/min) m=0.9981708 b=0.0453955 Ecuación D3 Cálculo para hallar el caudal corregido $Q_{\text{corregido}} = Qm \frac{100\% - e_{\text{promedio}}}{100}$ Donde: e_{promedio}= al promedio del porcentaje de error calculado entre P_{ext} y Qa para cada una de las posiciones del sistema de resistencia de flujo variable Ecuación D4 Cálculo para hallar el caudal estándar $Q_{\text{std}} = Q_{\text{corregido}} \frac{T_{\text{std}} * Ta}{P_{\text{std}} * Pa}$ Donde: Q_{std}=Caudal estándar (m3/min) T_{std}=temperatura estándar (definida como 298k) P_{std}=presión estándar (definida como 760mmHg) Ta=promedio de temperatura ambiente registrada en el día de muestreo Pa=presión barométrica en el sitio de muestreo Ecuación D5 Cálculo para hallar el volumen estándar

$$V_{std} = Q_{std} * t * 60$$

Donde:
 V_{std} =Volumen estándar de muestreo (m3)
 t =tiempo de muestreo

Ecuación D6 Cálculo para hallar la concentración de material particulado

$$[]PM_{10} = \frac{P_1 - P_0}{V_{std}} * 10^6$$

Donde:
 $[]PM_{10}$ =Concentración de material particulado (µg/m3)
 P_1 =peso final del filtro (g)
 P_0 =peso inicial del filtro (g)

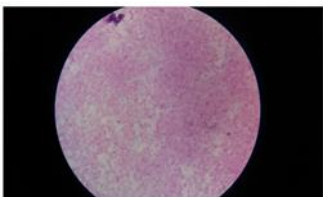
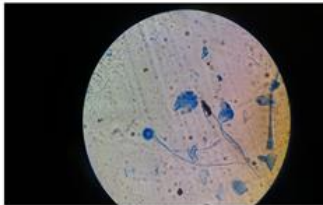
Nº	Lectura (m³/min)	Temperatura °K	I corregida (m³/min)	Qa	Q corregido	Q STD	T de muestreo (h)	Vol muestreado (m3)	[]PM10 (µg/m3)
2	1,13	288,2	0,801	1,074	1,045	0,796	24,16	1154,13	52,51
4	1,13	288,7	0,802	1,074	1,045	0,795	24	1144,67	35,21
6	1,13	287,7	0,801	1,073	1,045	0,797	24	1148,30	77,94
8	1,13	286,9	0,800	1,073	1,044	0,799	24,25	1163,22	58,80
10	1,13	287	0,800	1,073	1,044	0,799	24	1150,86	45,97
12	1,13	288,2	0,801	1,074	1,045	0,796	23,5	1122,60	56,65
14	1,13	287	0,800	1,073	1,044	0,799	23,5	1126,88	57,59
16	1,13	286,8	0,799	1,073	1,044	0,800	18,75	899,68	44,24
18	1,13	286,8	0,799	1,073	1,044	0,800	23,5	1127,60	45,05
20	1,13	286,8	0,799	1,073	1,044	0,800	23,5	1127,60	77,15
22	1,13	286,8	0,799	1,073	1,044	0,800	20,5	983,65	68,11
24	1,13	286,7	0,799	1,073	1,044	0,800	21	1007,96	58,34
26	1,13	286,3	0,799	1,073	1,044	0,801	23,75	1141,41	57,65
28	1,13	287,2	0,800	1,073	1,044	0,799	23,75	1138,15	60,01
30	1,13	287,2	0,800	1,073	1,044	0,799	23,1	1107,00	33,51
32	1,13	287,2	0,800	1,073	1,044	0,799	23,5	1126,17	38,80
34	1,13	287,2	0,800	1,073	1,044	0,799	24,1	1154,92	35,07
36	1,13	286,8	0,799	1,073	1,044	0,800	23,5	1127,60	37,60

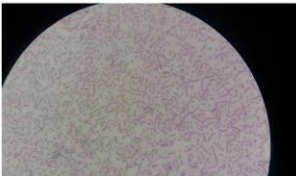
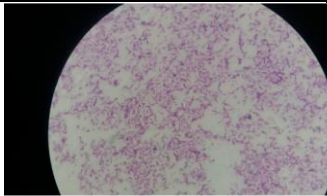
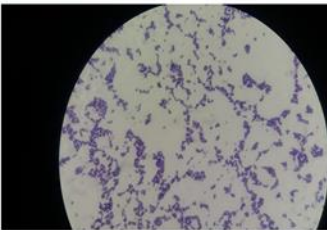
N°	Lectura (m³/min)	Temperatura °K	I corregida (m³/min)	Qa	Q corregido	Q STD	T de muestreo (h)	Vol muestreado (m3)	[]PM10 (µg/m3)
2	1,13	285,85	0,798	1,073	1,044	0,802	23,74	1142,39	78,61
4	1,13	285,75	0,798	1,073	1,044	0,802	24,05	1157,68	43,36
6	1,13	286,15	0,799	1,073	1,044	0,801	18	865,35	69,80
8	1,13	285,75	0,798	1,073	1,044	0,802	23,5	1131,20	83,89
10	1,13	284,65	0,797	1,072	1,044	0,805	23,5	1135,19	108,53
12	1,13	285,75	0,798	1,073	1,044	0,802	23,5	1131,20	80,00
14	1,13	284,98	0,797	1,073	1,044	0,804	23,5	1133,99	77,43
16	1,13	284,48	0,797	1,072	1,044	0,806	23,5	1135,81	68,15
18	1,2	285,15	0,822	1,079	1,050	0,809	23,25	1127,90	83,25
20	1,13	285,15	0,797	1,073	1,044	0,804	23,5	1133,38	110,82
22	1,2	284,75	0,821	1,079	1,050	0,810	23,75	1153,63	79,57
24	1,13	284,15	0,796	1,072	1,044	0,806	23,5	1137,02	63,76
26	1,2	283,45	0,820	1,078	1,049	0,813	23,75	1158,45	57,15
28	1,13	283,75	0,796	1,072	1,043	0,807	23,5	1138,48	47,78
30	1,2	280,75	0,816	1,077	1,049	0,820	23,75	1168,60	58,36
32	1,13	284,75	0,797	1,072	1,044	0,805	23,5	1134,83	67,23
34	1,13	284,75	0,797	1,072	1,044	0,805	24,1	1163,80	53,79
36	1,13	284,15	0,796	1,072	1,044	0,806	22,25	1076,54	61,21

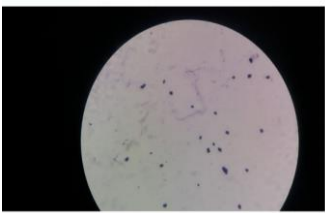
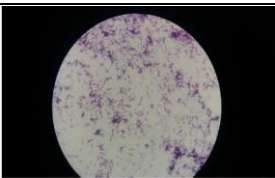
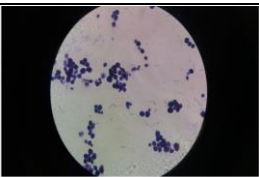
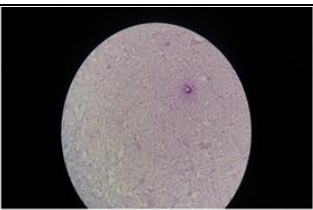
3	Con las concentraciones de Cadmio suministradas por el LIAC, se debe realizar una conversión de unidades aplicando la ecuación D7 para obtener los resultados en (µg/m3)
4	Ecuación D7 Cálculo para hallar la concentración Cadmio $[]Cd = \frac{[]LIAC * P_1}{Vstd}$ Donde: []Cd= concentración de cadmio (µg/m3) []LIAC =Concentración de la traza dada por el laboratorio (mg(m)/Kg filtro) Vstd=Volumen estándar de muestreo (m3) P1=peso final del filtro (g)

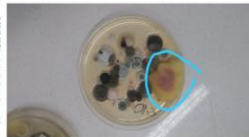
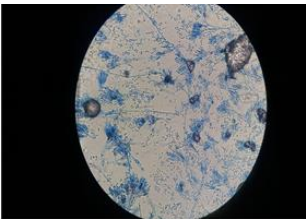
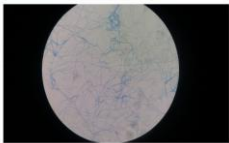
<i>N°de filtro</i>	<i>Dia</i>	<i>Punto de muestreo</i>	<i>Wf filtro (gr)</i>	<i>mg Cd/Kg filtro</i>	<i>Cd (µg/m3)</i>
3	25/11/2018	CIUDAD BOLIVAR	4,296	0,110	0,00041
5	26/11/2018	CIUDAD BOLIVAR	4,303	0,017	0,00008
19	3/12/2018	CIUDAD BOLIVAR	4,312	0,040	0,00015
30	8/12/2018	LOS MÁRTIRES	4,375	0,014	0,00006
24	5/12/2018	LOS MÁRTIRES	4,28	0,029	0,00012
6	26/11/2018	LOS MÁRTIRES	4,303	0,046	0,00017

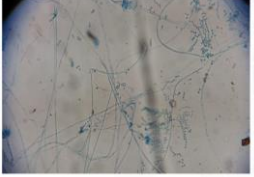
Anexo H – Identificación de microorganismos

AGAR	CÓDIGO	MUESTRA	DESCRIPCIÓN	ENFERMEDADES ASOCIADAS
SANGRE	S-6-J2-MR		Sin crecimiento	
	S-9-J1-MR		Bacilos Gram negativos Salmonella enteritidis	Salmonelosis (no tifoidea), gastroenteritis.
	S-13-J2-MR		Aspergillus	Aspergilosis, bronquitis, neumonía micetoma, empiema, endocarditis, pericarditis, infección superficial, infección cutánea, infección en nódulos subcutáneos, queratitis micótica, aspergilosis broncopulmonar alérgica, aspergilosis invasiva, sinusitis, aspergiloma, meningitis; Formas clínicas de micosis: Pulmón, encéfalo, piel, tubo digestivo, corazón

	S-1-J2-CB		Bacilos Gram positivos - Bacillus cereus	Neumonía, intoxicación alimentaria, infecciones oculares, endocarditis, meningitis
	S-5-J2-CB-R		Bacilos Gram negativos - Acinetobacter baumannii complex	Neumonía, bronquiolitis, conjuntivitis, endoftalmitis, endocarditis, peritonitis
	S-18-J2-CB		Bacilos Gram negativos - Pseudomonas luteola	Peritonitis y endocarditis (pacientes con trastornos de salud o con dispositivos permanentes)
EMB	E-3-J1-CB		Cocos Gram positivos agrupados - Staphylococcus epidermidis	Infecciones supurativas, infecciones nosocomiales; impétigo, foliculitis, ántrax, heridas Infecciones diseminadas: endocarditis, neumonía, empiema.

E-8-J2-CB-R		Cocos Gram positivos agrupados en racimo - Staphylococcus aureus	Sinusitis, Epiglottitis, otitis externa, otitis media, conjuntivitis, queratitis, endoftalmitis, endocarditis, miocarditis, pericarditis, impétigo, foliculitis, ántrax, osteomielitis, síndrome de piel escaldada, síndrome del shock tóxico.
E-16-J1-CB-R		Bacilos Gram positivos - Bacillus subtilis	Intoxicación alimentaria
E-8-J1-M		Levaduras	Neumonía, criptococosis, criptococosis cutánea, bronquitis, endocarditis, infección en nódulos subcutáneos e infecciones orofaríngeas
E-8-J2-M-R		Levaduras	
E-10-J2-M		Bacilos Gram negativos - Ewingella americana	Conjuntivitis, neumonía

SB	SB-10-J1-M-R		Sin crecimiento	
	SB-10-J1-M-R		Penicillium	Neumonía, queratitis, meningitis, peniciliosis, endoftalmitis, endocarditis, infecciones cutáneas y orofaríngeas. Efectos alérgicos; irritación de las vías respiratorias, asma, alergias respiratorias, reactividad cutánea, alveolitis alérgica extrínseca y neumonitis por hipersensibilidad
	SB-13-J2-M		Microsporum	Dermatofitosis
	SB-2-J1-CB-R		Trichophyton	Dermatofitosis. Efectos alérgicos; asma y rinitis (en individuos sensibilizados). Induce una respuesta alérgica eccematosa e inflamatoria en el huésped.
	SB-2-J2-CB-R		Hifas Estériles	

	Sb-16-J1-CB		paecilomyces	Infecciones cutáneas y subcutáneas, absceso pulmonar (infrecuente), sinusitis.
--	-------------	---	--------------	--

