

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

**Jhon Hanner Reyes Delgado  
Juan Camilo Sánchez Gutiérrez**

**Universidad Santo Tomás  
Facultad de Ingeniería Ambiental  
Bogotá D.C.  
2019**

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

**Jhon Hanner Reyes Delgado  
Juan Camilo Sánchez Gutiérrez**

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

Director  
Ing. Johan Alexander Álvarez Berrio  
Magister Toxicología

Codirector  
Ing. Gabriel Herrera  
Magister Ingeniería Ambiental

Línea de Investigación:  
Salud Ambiental

**Universidad Santo Tomás  
Facultad de Ingeniería Ambiental  
Bogotá D.C., Colombia  
2019**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

**Firma director**

Ing. Johan Alexander Álvarez Berrio  
Magister Toxicología

---

**Firma Jurado**

---

**Firma Jurado**

Bogotá D.C. 08 de mayo de 2019

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, amigos y personas que estuvieron durante toda mi carrera profesional apoyándome en este gran paso para mi vida, a todos gracias por su paciencia y colaboración lo cual fue fundamental para la realización de este proyecto.

***Juan Camilo Sánchez Gutiérrez***

Este trabajo está dedicado a mis padres que hicieron posible el cumplimiento de una meta propuesta, en especial a mis abuelos quienes fueron personas indispensables por su apoyo incondicional y acompañamiento durante todo el proceso, a mis amigos que con sus aportes y apoyo contribuyeron a la culminación del presente proyecto

***Jhon Hanner Reyes Delgado***

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestras familias por su apoyo moral y paciencia, a nuestro director de tesis ingeniero Johan Alexander Álvarez por su colaboración y dedicación a la realización de nuestro proyecto y por el aporte de sus conocimientos para nuestra formación.

A todos y cada de nuestros docentes que durante el camino contribuyeron en nuestra formación académica y profesional, a la Universidad Santo Tomas por acogernos desde el primer momento con altas expectativas y por los espacios otorgados los cuales fueron pieza fundamental en el cumplimiento de nuestros objetivos.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	2
<b>1. OBJETIVOS</b> .....	4
1.1. Objetivo General .....	4
1.2. Objetivos Específicos .....	4
<b>2. MARCO CONTEXTUAL</b> .....	5
2.1. Ciudad Bolívar .....	5
2.1.1. Ubicación .....	5
▪ Unidades De Planeamiento Zonal.....	5
▪ UPZ San Francisco .....	5
2.1.2. Población .....	5
2.1.3. Aspectos socioeconómicos .....	7
2.1.4. Salud .....	7
2.1.5. Aspectos ambientales relacionados con la contaminación atmosférica en la localidad.....	9
2.2. Los Mártires.....	9
2.2.1. Ubicación .....	9
▪ Unidades de planeamiento zonal.....	9
▪ UPZ La Sabana.....	9
2.2.2. Población .....	10
2.2.3. Aspectos Socioeconómicos .....	11
2.2.4. Salud .....	11
2.2.5. Contaminación atmosférica y situación ambiental en Los Mártires .....	12
2.2.6. Red de Monitoreo de Calidad del Aire en Bogotá RMCAB .....	13
<b>3. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	14
3.1. Metales pesados .....	14
3.1.1. Qué son los metales pesados.....	14
3.1.2. Cromo.....	14
3.1.3. Cinética ambiental del cromo .....	16
3.1.4. Cinética ambiental del Cromo en el aire .....	16
3.1.5. Toxicocinética.....	16
3.1.6. Toxicodinamia .....	17
3.2. Contaminantes Biológicos (Bioaerosoles) .....	17

3.2.1.	<b>Qué son los contaminantes biológicos</b> .....	17
3.2.2.	<b>Fuentes de los bioaerosoles</b> .....	18
3.2.3.	<b>Fuentes naturales</b> .....	18
3.2.4.	<b>Fuentes antropogénicas</b> .....	19
3.2.5.	<b>Tipos de Contaminantes Biológicos</b> .....	19
3.2.6.	<b>Bacterias</b> .....	19
3.2.7.	<b>Hongos</b> .....	20
3.3.	<b>Efectos a la salud</b> .....	21
3.3.1.	<b>Enfermedades Respiratorias</b> .....	21
3.4.	<b>Marco legal</b> .....	22
3.5.	<b>Monitoreo Ambiental de Material Particulado</b> .....	22
3.5.1.	<b>Equipos de Medición Hi-Vol.</b> .....	22
3.5.2.	<b>Equipo Calibrador Para Hi-Vol.</b> .....	23
3.5.3.	<b>Selección De Filtros</b> .....	23
3.5.4.	<b>Determinación de metales en partículas, método IO 3.5 USEPA</b> .....	24
3.6.	<b>Monitoreo Ambiental De Microorganismos</b> .....	24
3.6.1.	<b>Equipo de Medición MAS 100-ECO</b> .....	24
3.7.	<b>Medios de Cultivo</b> .....	25
3.7.1.	<b>Sangre Agar</b> .....	25
3.7.2.	<b>Eosin Methylene Blue Agar (EMB)</b> .....	25
3.7.3.	<b>Sabouraud Glucose Agar</b> .....	25
4.	<b>METODOLOGIA</b> .....	26
4.1.	<b>Inventario de Fuentes Fijas</b> .....	26
4.2.	<b>Inventario de Fuentes Móviles</b> .....	27
4.2.1.	<b>Selección de puntos para el aforo</b> .....	27
4.2.2.	<b>Aforo vehicular</b> .....	28
4.3.	<b>Monitoreo atmosférico</b> .....	30
4.3.1.	<b>Recopilación datos meteorológicos</b> .....	30
4.4.	<b>Equipos e insumos</b> .....	31
MAS 100 ECO	.....	31
4.4.1.	<b>Calibración De Equipos</b> .....	32
4.5.	<b>Preparación de medios de cultivo</b> .....	34
4.5.1.	<b>Método</b> .....	34

4.5.2.	Cadena de custodia bioaerosoles .....	36
4.6.	Selección y Preparación de los Filtros .....	36
4.6.1.	Cadena de Custodia Filtros de Cuarzo .....	37
4.7.	Muestreo Material Particulado .....	38
4.8.	Análisis de Laboratorio .....	38
4.8.2.	Análisis gravimétrico .....	38
4.9.	Determinación de las concentraciones de cromo .....	39
4.10.	Bioaerosoles .....	40
4.10.1.	Cuantificación de Colonias .....	40
4.10.2.	Identificación de microorganismos .....	40
4.10.3.	Identificación de microorganismos correspondientes a bacterias .....	41
4.10.4.	Identificación de hongos .....	42
4.11.	Análisis Estadístico .....	43
5.	ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	44
5.1.	Inventario de Fuentes Fijas .....	44
5.1.1.	Los Mártires (UPZ La Sabana) .....	44
5.1.2.	Ciudad Bolívar (UPZ San Francisco) .....	46
5.2.	Inventario Fuentes Móviles .....	48
5.2.1.	Estimación de emisión de material particulado por fuentes móviles .....	50
5.3.	Resultados Monitoreo Atmosférico .....	53
5.4.	Resultados de las Concentraciones de Cromo en el Aire .....	54
5.6.	Resultados Bioaerosoles .....	57
5.6.1.	Relación de concentraciones de microorganismos expresada en UFC/m <sup>3</sup> con parámetros meteorológicos .....	57
5.7.	Correlaciones con Material Particulado PM <sub>10</sub> .....	68
5.7.1.	PM <sub>10</sub> y bioaerosoles .....	68
5.7.2.	Correlación Variables Meteorológicas y Bioaerosoles (Anexo 16) .....	71
5.8.	Identificación de microorganismos .....	73
6.	Conclusiones .....	74
7.	Bibliografía .....	77

## Lista de figuras

Figura 1. Muestreador Hi-Vol PM <sub>10</sub> .....	23
Figura 2. Ubicación puntos de aforo vehicular .....	28

## Lista de tablas

Tabla 1. Índices calculados con población proyectada para la localidad de Ciudad Bolívar 2016-2020 .....	7
Tabla 2. Consulta según diagnóstico por grupo y género de la población menor a 5 años atendidas en salas de ERA, Localidad Ciudad Bolívar.....	8
Tabla 3. Enfermedades respiratorias asociadas a bioaerosoles .....	21
Tabla 4. Niveles máximos permisibles para PM <sub>10</sub> y cromo (Cr).....	22
Tabla 5. Clasificación vehicular.....	29
Tabla 6. Solubilidad agares selectivos .....	35
Tabla 7. Descripción codificación de medios de cultivo.....	36
Tabla 8. Inventario de industrias que emiten cromo y bioaerosoles en el área de influencia, UPZ La Sabana .....	45
Tabla 9. Inventario industrias que emiten cromo y bioaerosoles en el área de influencia, UPZ San Francisco.....	47
Tabla 10. Emisión de PM <sub>10</sub> estimada por tipo de vehículo Av. Carrera 30 .....	51
Tabla 11. Emisión de PM <sub>10</sub> estimada por tipo de vehículo Av. Boyacá .....	51
Tabla 12. Estimación emisiones de PM <sub>10</sub> con medida de pico y placa ambiental.....	53
Tabla 13. Número de eventos de ERA informados por localidad, año 2018.....	56
Tabla 14. Correlación PM <sub>10</sub> y Concentraciones de bioaerosoles.....	70

## Lista de fotos

Fotografía 1. Calibración equipos de muestreo Hi-Vol .....	33
Fotografía 2. Pesaje de filtros impactados en balanza analítica del CTAS.....	39

## Lista de gráficas

Gráfico 1. Pirámide poblacional Ciudad Bolívar 2015 .....	6
Gráfico 2. Pirámide poblacional Los Mártires, 2017 .....	10
Gráfico 3. Principales actividades económicas, localidad Los Mártires .....	11
Gráfico 4. Proyección de producción de cromo en millones de toneladas (MT) .....	15
Gráfico 5. Curva de calibración Hi-Vol Los Mártires.....	34
Gráfico 6. Distribución industrial UPZ La Sabana .....	44
Gráfico 7. Distribución industrial UPZ San Francisco.....	46
Gráfico 8. Distribución aforo vehicular Av. Carrera 30.....	49
Gráfico 9. Distribución aforo vehicular Av. Boyacá, Ciudad Bolívar.....	50
Gráfico 10. Distribución emisiones estimadas Av. Carrera 30 vs Av. Boyacá .....	52
Gráfico 11. Concentraciones de PM <sub>10</sub> Colegio San José, UPZ La Sabana .....	53
Gráfico 12. Concentraciones de PM <sub>10</sub> Colegio Cofraternidad de San Fernando, UPZ San Francisco.....	54
Gráfico 13. Concentraciones cromo (Cr) UPZ La Sabana y San Francisco .....	55
Gráfico 14. Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 1 y temperatura .....	57
Gráfico 15. Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 1 y humedad relativa .....	58
Gráfico 16. Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 1 y velocidad del viento ..	58
Gráfico 17. Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 2 y temperatura .....	60
Gráfico 18. Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 2 y humedad relativa .....	61
Gráfico 19. Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 2 y velocidad del viento ..	61
Gráfico 20. Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 1 y temperatura .....	63
Gráfico 21. Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 1 y humedad relativa .....	63
Gráfico 22. Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 1 y velocidad del viento ..	64
Gráfico 23. Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 2 y temperatura .....	65
Gráfico 24. Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 2 y humedad relativa .....	66
Gráfico 25. Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 2 y velocidad del viento ..	66
Gráfico 26. Concentración bioaerosoles vs concentraciones PM <sub>10</sub> , UPZ San Francisco.....	69
Gráfico 27. Concentraciones bioaerosoles vs concentraciones PM <sub>10</sub> , UPZ La Sabana.....	69

## Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Emisión fuentes móviles .....	29
Ecuación 2. Cálculo número de medios de cultivo .....	32
Ecuación 3. Cálculo del caudal real .....	33
Ecuación 4. Cálculo presión transformada .....	33
Ecuación 5. Cálculo de lectura transformada .....	34
Ecuación 6. Cálculo caudal medio .....	34
Ecuación 7. Cálculo volumen medios de cultivos.....	35
Ecuación 8. Cálculo cantidad de Gramos de agar .....	35
Ecuación 9. Volumen total .....	36
Ecuación 10. Volumen total agar sangre.....	36
Ecuación 11. Cálculo error relativo .....	37
Ecuación 12. Caudal corregido .....	39
Ecuación 13. Caudal estándar .....	39
Ecuación 14. Volumen estándar .....	39
Ecuación 15. Cálculo concentración $PM_{10}$ .....	39
Ecuación 16. Cálculo concentración de cromo .....	40
Ecuación 17. Cálculo concentración UFC .....	40

## Lista de anexos

- Anexo 1a.** Mapa ubicación UPZ San Francisco, localidad Ciudad Bolívar
- Anexo 1b.** Mapa Ubicación UPZ La Sabana, localidad Los Mártires
- Anexo 2.** Distribución sectores económicos localidad Ciudad Bolívar
- Anexo 3a.** Causas de morbilidad y atención en salud primera y segunda infancia, localidad Ciudad Bolívar
- Anexo 3b.** Causas de morbilidad y atención en salud en adultos y adultos mayores, localidad Ciudad Bolívar
- Anexo 4.** Ubicación RMCAB cercanos a las zonas de estudio
- Anexo 5.** Modelo toxicocinético del cromo
- Anexo 6.** Sectores económicos encontrados en las UPZ La Sabana y San Francisco
- Anexo 7.** Estimativo aforo de movilidad UPZ La Sabana y San Francisco
- Anexo 8a.** Factores de emisiones globales para  $PM_{10}$
- Anexo 8b.** Velocidades promedio según tipo de vehículo
- Anexo 9a.** Ubicación puntos de muestreo  $PM_{10}$  UPZ La Sabana y San Francisco
- Anexo 9b.** Muestreo de bioaerosoles UPZ La Sabana y San Francisco
- Anexo 10.** Procedimiento calibración High Vol
- Anexo 11.** Procedimiento cálculo error relativo
- Anexo 12.** Formato cadena de custodia para filtros de cuarzo
- Anexo 13.** Procedimiento para la recolección de filtros
- Anexo 14a.** Actualización Inventario fuentes fijas UPZ La Sabana
- Anexo 14b.** Mapa distribución industrias de interés UPZ La Sabana
- Anexo 15a.** Actualización inventario fuentes fijas UPZ San Francisco
- Anexo 15b.** Mapa distribución industrias de interés UPZ San Francisco
- Anexo 16a.** Correlaciones estadísticas bioaerosoles vs variables meteorológicas UPZ San Francisco
- Anexo 16b.** Correlaciones estadísticas bioaerosoles vs variables meteorológicas UPZ La Sabana
- Anexo 17.** Identificación de microorganismos
- Anexo 18.** Enfermedades asociadas a la identificación microbiana
- Anexo 19.** Identificación de variables por ecuación
- Anexo 20.** Curva de calibración High Vol

## Lista de abreviaturas y símbolos

### Abreviaturas

Abreviatura	Término
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
Av	Avenida
CAR	Corporación Autónoma Regional
CIIU	Código Internacional Industrial Uniforme
CO	Monóxido de carbono
Cr	Cromo
EMB	Eosin Methylene Blue Agar
EPA	Environmental Protection Agency
ERA	Enfermedades Respiratorias Agudas
ICP/MS	Plasma de Acoplamiento Inductivo/Espectrómetro de Masas
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IRA	Infecciones Respiratorias Agudas
LIAC	Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno
O <sub>3</sub>	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
PCA	Plate Count Agar
PEP	Peptidoglicano
PM <sub>10</sub>	Material particulado menor a 10 micras
PM <sub>2.5</sub>	Material particulado menor a 2.5 micras
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
RIPS	Registro Individual de Prestación de Servicios de Salud
RMCAB	Red de Monitoreo de Calidad del Aire para Bogotá
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
SDS	Secretaría Distrital de Salud
SITP	Sistema Integrado de Transporte Público
SO <sub>2</sub>	Dióxidos de azufre
UE	Unión Europea
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
UPZ	Unidad de Planeamiento Zonal
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
USTA	Universidad Santo Tomás de Aquino
d	Día
g	Gramos
h	Hora
Ha	Hectárea
HR	Humedad relativa

## Lista de abreviaturas y símbolos

### Abreviaturas

Abreviatura

Término

Kg

Kilogramo

Km

Kilómetro

m

Metro

m<sup>3</sup>

Metro cúbico

min

Minutos

ml

Mililitros

mm

Milímetros

s

Segundo

uma

Unidades de masa atómica

µg

Microgramos

## RESUMEN

Las localidades de Los Mártires y Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, presentan un gran desarrollo industrial debido a su ampliación demográfica, en donde se evidencia un aumento de pequeñas y medianas empresas Pymes, que pueden ser posibles aportadoras de trazas de metales como cromo en el aire, de igual forma, contaminantes biológicos generados por industrias ya sean de alimentos o en el caso de Ciudad Bolívar por la presencia de curtiembres, pueden llegar a presentar un riesgo en la salud de la población

Los resultados obtenidos mostraron que las concentraciones de cromo fueron muy bajas con respecto a lo establecido por la OMS (0,25µm). Los microorganismos encontrados en el aire correspondieron a 8 bacterias, 5 hongos y 2 levaduras, siendo *S. Aureus* y *S. Epidermidis* los bacilos Gram positivos las bacterias de mayor interés dada su relevancia médica. Dentro de los organismos micóticos se encontró que el género *Aspergillus* fue el de mayor relevancia dado que estos colonizan las vías respiratorias.

**Palabras clave:** Cromo, bioaerosoles, material particulado, fuentes fijas, fuentes móviles, enfermedades respiratorias, exposición crónica.

## INTRODUCCION

El acelerado crecimiento demográfico en las grandes urbes colombianas trae consigo la expansión industrial, generando alteración de ecosistemas e impactos negativos al medio ambiente, muestra de ellos es la contaminación atmosférica, donde en los dos últimos informes del Estado de la Calidad del Aire en Colombia publicados por el IDEAM evidencian la problemática de la contaminación atmosférica, estaciones de monitoreo presentes en Bogotá, Medellín, Cali y Santa Marta por mencionar algunas, registran concentraciones promedio anuales las cuales superan la norma nacional y niveles remendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1], escenarios que durante el año 2019 llevaron a que la Alcaldía Mayor de Bogotá declarara medidas preventivas por el deterioro en la calidad del aire en la ciudad.

El estado de la calidad del aire se ve afectado por el proceso tecnificado en la transformación de materias primas generando descargas atmosféricas con presencia de contaminantes de interés ambiental y epidemiológico, uno de los contaminantes de mayor importancia es el material particulado inferior a 10 micras ( $PM_{10}$ ), contaminante compuesto por una mezcla de sustancias químicas orgánicas, inorgánicas, sólidas, donde se incluye la presencia de trazas de metales identificados los cuales tienen la capacidad de penetrar en el sistema respiratorio con facilidad [2].

Sin embargo, la atmósfera no solo tiene la capacidad de suspender sustancias químicas en su entorno, sino que crea un ambiente propicio para el desarrollo de otro tipo de contaminantes como por ejemplo los biológicos (bioaerosoles), contaminantes que se encuentran en el aire debido a presencia animal, densidad poblacional, y transformación de materia orgánica en subproductos derivando en la suspensión y transporte de microorganismos fúngicos y bacterias en el aire [3].

Los escenarios de emisión, suspensión y transporte del  $PM_{10}$ , genera importancia debido a la capacidad que tiene este contaminante de contener trazas de metales como el cromo, considerado un metal esencial, pero a su vez genera un potente riesgo a la salud dependiendo el estado de valencia en que se encuentre en el medio [4].

En la ciudad de Bogotá existen diferentes áreas donde producto del crecimiento industrial y amplio tránsito vehicular, se generan incrementos en las emisiones de material particulado y cromo (Cr) emitidas por fuentes fijas que usan insumos con este metal en su proceso productivo, además, la presencia de animales, densidad poblacional y sectores de la industria alimentaria son fuentes de generación de bioaerosoles en el aire, un ejemplo claro son las localidades de Ciudad Bolívar y Los Mártires, donde se llevó a cabo esta investigación buscando analizar las concentraciones de cromo presentes en el material particulado en dos áreas definidas en cada una de las localidades, a través de muestras tomadas durante 18 días continuos entre los meses de noviembre y diciembre del año inmediatamente anterior. De igual manera se buscó determinar la densidad bacteriana de microorganismos (hongos y bacterias) en el aire de las dos localidades paralelo a los muestreos de  $PM_{10}$ .

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad (LIAC) de la Universidad de La Salle, mientras que el análisis e identificación de microorganismos se llevó a cabo en el laboratorio de microbiología de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, los resultados obtenidos fueron usados para observar el estado de correlación entre los contaminantes medidos y parámetros meteorológicos así como los posibles riesgos a la salud producto de la presencia de estos contaminantes.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo General**

- Formular un análisis de correlación de las concentraciones de Cromo 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 Específicos**

- Determinar las concentraciones de Cr presentes en cada localidad mediante el método de espectrofotometría por plasma inducido ICP/MS.
- Determinar las concentraciones de contaminantes biológicos Streptococcus, Staphylococcus y hongos presentes en el aire de las localidades mediante método API.
- Actualizar el inventario de fuentes fijas de contaminación en las localidades de Los Mártires (UPZ La Sabana) y Ciudad Bolívar (UPZ San Francisco).
- Determinar los posibles riesgos a la salud asociados a las concentraciones de Cromo en las localidades de Mártires y Ciudad Bolívar.

## **2. MARCO CONTEXTUAL**

### **2.1. Ciudad Bolívar**

#### **2.1.1. Ubicación**

La localidad 19, de Ciudad Bolívar, se encuentra ubicada al sur de la ciudad de Bogotá D.C., exactamente al costado izquierdo de la cuenca media y baja del Río Tunjuelito, donde se encuentra amortiguado el páramo de Sumapaz zona subpáramo. Limita además con el oriente de las localidades de Tunjuelito y Usme, hacia el norte con la localidad de Bosa y hacia el occidente con el municipio de Soacha. Ciudad Bolívar cuenta con área de 12.998 hectáreas, donde, el 74% corresponde a suelo rural y el restante se clasifica como suelo urbano y suelo de expansión [5].

- **Unidades De Planeamiento Zonal**

Las diferentes localidades que se encuentran en la ciudad de Bogotá están divididas en unidades de planeamiento zonal (UPZ), las cuales, de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial POT tienen como fin definir y planear el desarrollo del suelo urbano respondiendo a la dinámica productiva de la ciudad [6].

- **UPZ San Francisco**

En cuanto a la localidad 19 Ciudad Bolívar, se cuenta con un total de ocho Unidades de Planeamiento Zonal UPZ, teniendo en cuenta la locación del punto de muestreo que para la presente investigación, está definido en el colegio Cofraternidad de San Fernando, la UPZ de interés es la UPZ San Francisco. Del total de las UPZ de la localidad Ciudad Bolívar es la que cuenta con menor área.

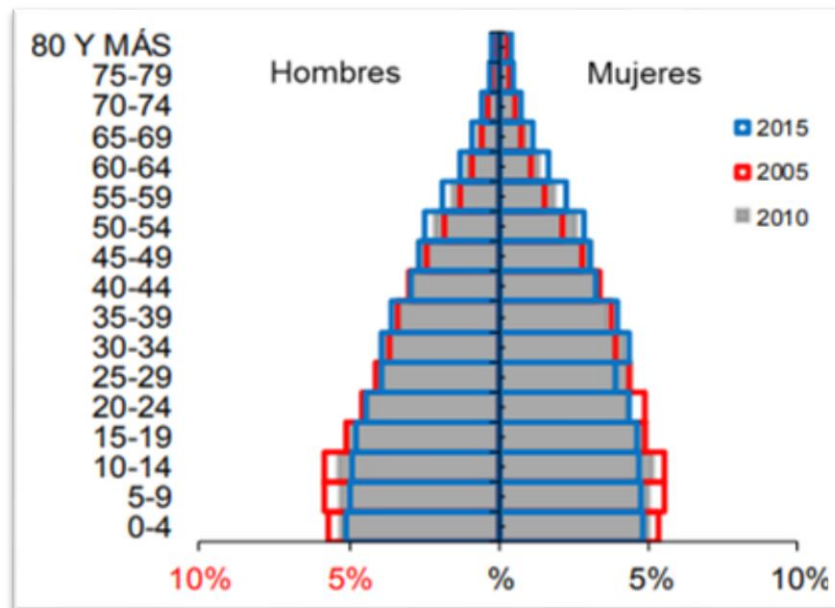
Está localizada al costado oriental de la zona urbana de Ciudad Bolívar, cuenta con una extensión total de 178,6 Ha equivalentes al 5,3% del área total de las UPZ de la localidad. Limita hacia el norte con la avenida Villavicencio y la UPZ Arborizadora; al oriente con el Río Tunjuelito y la localidad que lleva el mismo nombre; hacia el sur con la UPZ Lucero y al occidente con la UPZ Jerusalén (Ver anexo 1a) [7].

#### **2.1.2. Población**

Para el año 2015 la población de la localidad de Ciudad Bolívar fue de 687923 habitantes. En cuanto a la distribución por sexo, se obtuvo que el género masculino representaba el 49% (336796) mientras que el 51% restante (351127)

correspondía a mujeres. El periodo de proyección 2005-2015 cuenta con una reducción en la natalidad al mismo tiempo que una reducción del grupo etario de 0 a 19 años y un aumento en la población de 30 a 74 años como se observa en el gráfico 1 [7].

**Gráfico 1.** Pirámide poblacional Ciudad Bolívar 2015



**Fuente.** [7]

En cuanto a la distribución por grupos etarios, en lo que corresponde a la primer infancia (0-5 años) se cuenta con una presencia del 11,8% en referencia al total de la población para la localidad, el grupo de (6 a 13 años) representa el 15,4% mientras que los grupos de adolescentes (14 a 17 años) son equivalentes a 7,6%, así mismo para el grupo de juventud (18 a 26 años) se tiene un 15,7%, el grupo adulto (27 a 59 años) representan una mayor proporción pues equivale a un 41,8% del total de habitantes mientras que el grupo de adultos mayores (mayores a 60 años) apenas tienen presencia con el 7,8%. [7].

En las proyecciones realizadas para 2016-2020, se espera que en la localidad continúe un descenso en la natalidad, al mismo tiempo que se espera una disminución en las tasas de mortalidad en grupos de poblaciones adultos y adultos mayores, aunque la población que predomina en la localidad es la población joven (Ver tabla1), se espera un incremento en el índice de envejecimiento durante todo el periodo de proyección (2016-2020), iniciando con una presencia de 18 adultos mayores por cada 100 niños y jóvenes [8].

**Tabla 1.** Índices calculados con población proyectada para la localidad de Ciudad Bolívar 2016-2020

Año	Nacimientos Proyectados	Población total proyectada	Tasa general de fecundidad	Razón de dependenci a niños	Razón de dependencia adultos mayores	Índice de envejecimient o	Porcentaje de población en edad de trabajar
2016	14471	719700	70,6	42,6	7,5	17,6	77,1
2017	14633	733859	70,4	42,3	7,8	18,5	77,2
2018	14793	748012	70,2	42	8,2	19,5	77,3
2019	14943	762184	70	41,7	8,5	20,5	77,5
2020	15080	776351	69,7	41,5	8,9	21,5	77,6

Fuente. [8]

### 2.1.3. Aspectos socioeconómicos

La distribución socioeconómica en Ciudad Bolívar tiende a ser baja, donde el estrato 1 es el que mayor área ocupa en el total de la localidad (53,1%), el estrato 2 y 3 son lo que siguen con una ocupación del 39,9% y 5,4% respectivamente, por último, el 1,6% corresponde a todos aquellos predios no residenciales [9].

La economía en la localidad se basa primordialmente en la actividad económica residencial, en la cual al interior de los predios se dan servicios de comercio y servicios clasificados como actividad económica limitada (comercio y servicios profesionales de escala vecinal) o usos industriales de bajo impacto. Adicionalmente en la localidad se encuentran áreas industriales lo cual identifica a Ciudad Bolívar como una de las localidades con presencia empresarial dividida en el sector de servicios (75%), la industria (17%) y la construcción (6%). Según la Secretaria Distrital de Planeación para el 2006 se contaba con un número de empresas cercanas a las 227.000 en la ciudad de Bogotá, en donde 4904 estaban localizadas en Ciudad Bolívar representando el 2,3% del total de empresas en la ciudad (Ver anexo 2), también se estableció que en la localidad se encontraba un gran número de microempresas (4791) representando el 97.7% del total de las empresas establecidas en la localidad [9].

### 2.1.4. Salud

Con respecto a la morbilidad percibida en la localidad e información recolectada a partir del cruce de la información de las bases de datos de territorios saludables por residencia y de los Registros individuales de la Prestación de Servicio (RIPS) para el año 2015, según la identificación de causas se encontró que la principal causa de morbilidad para menores de un año e infantes entre 1 y 5 años, fueron la enfermedades transmisibles, en segundo lugar las demás

enfermedades y en tercer lugar las enfermedades en el periodo perinatal (Ver anexo 3a) mientras en cuanto a las causas específicas de morbilidad se encuentra en primer lugar las enfermedades respiratorias seguida de enfermedades infecciosas intestinales [7].

En cuanto al grupo de adultos mayores y teniendo en cuenta el tipo de atención se evidencia que las demás enfermedades y enfermedades del Sistema circulatorio son las principales causas de morbilidad en este grupo etario con presencia en atención de urgencias de 53.1% y 37.1% respectivamente. Para el grupo etario en mayores de 60 años se puede evidenciar que la causa principal en la morbilidad para los tres servicios de atención son las enfermedades del sistema circulatorio, comportamiento inverso con respecto al ciclo de vida de adultez (Ver anexo 3b) [7].

Adicionalmente, la subred Integrada de Servicios de Salud sur E.S.E, proporciona información de interés la cual debe reportar los casos presentados en la localidad sobre enfermedades respiratorias agudas (ERA), encontrando así que para el año 2017 en el mes de mayo, las unidades primarias generadoras de datos de la UPSS Vista Hermosa reportaron 337 casos atendidos de Enfermedades Respiratorias Agudas en menores de 5 años (Ver Tabla 2) [9].

**Tabla 2.** Consulta según diagnóstico por grupo y género de la población menor a 5 años atendidas en salas de ERA, Localidad Ciudad Bolívar

DIAGNOSTICO	Mayor de 1 año		Menor de 1 año		Total General
	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino	
Bronquiolitis o primer episodio bronco obstructivo (J21)	34	26	36	49	145
SBOR Asma o equivalentes. (J45)	54	51	13	26	144
Laringo-traqueitis. (J042)	24	24	18	20	86
Laringo-traqueitis. (J042) más Bronquiolitis		1			1
Resfriado común o infecciones agudas de la vía respiratoria superior (J00X a J069)		1			1
<b>Total general</b>	<b>112</b>	<b>103</b>	<b>67</b>	<b>95</b>	<b>377</b>

Fuente. [9]

Del total de los pacientes atendidos en las salas ERA, el 57% corresponden a los menores entre 2 meses y 11 meses, el 43% restante corresponden al grupo entre 1 a 5 años donde el género masculino fue el que tuvo una mayor asistencia a estas salas (52,5%) mientras que el género femenino tuvo asistencia de un 47,5% del total de pacientes atendidos. Los eventos de mayor atención en las salas ERA fueron; bronquiolitis con un 38,5% seguido por el Síndrome Bronco Obstructivo con un 38,2% (144 casos).

### **2.1.5. Aspectos ambientales relacionados con la contaminación atmosférica en la localidad**

La presencia de nuevas pequeñas industrias y el alto flujo vehicular por la principal malla vial (Carrera 19d sur, Avenida Boyacá, diagonal 62 sur y Avenida Ciudad de Villavicencio) presente en la localidad hace que se vea directamente afectada la calidad del aire aumentando el riesgo que se presente en la población enfermedades e infecciones respiratorias y dérmicas [10].

Sin embargo, gran parte de la zona rural de la localidad se encuentra destinada a la explotación y funcionamiento de minas de arena, recebo, piedra y arcilla y el área de algunas plantas productoras de ladrillo. La presencia de estas industrias conlleva a problemas ambientales como erosión, desertificación y desestabilización de terrenos altos, entre ellos se encuentra la problemática asociada a la suspensión de partículas en el aire por materias primas y producción al aire libre [11].

Una gran parte del suelo rural está reservado a estudiar la posible adecuación y ampliación del relleno sanitario Doña Juana, sin embargo, este contribuye al deterioro de la calidad del aire producto de emisiones significativas de metano originado por la descomposición de residuos, olores ofensivos como sulfuro de hidrógeno y amoníaco y emisión de material particulado por trabajos de extracción de material para cubrimiento de residuos sólidos. Informes donde se llevan a cabo campañas de vigilancia ambiental en la localidad determinan que, con respecto a los niveles establecidos en la resolución 2254 del 2017, los niveles de PM<sub>10</sub> no presentaron excedencias superiores a los 100 µg/m<sup>3</sup>, sin embargo, hubo nueve excedencias en cuanto a lo que corresponde los niveles recomendados por parte de la OMS superando los 50 µg/m<sup>3</sup> [11].

## **2.2. Los Mártires**

### **2.2.1. Ubicación**

La localidad de los Mártires se ubica en el centro del territorio urbano de Bogotá, limita por el norte con la Calle 26 con la localidad de Teusaquillo, por el sur hasta el canal de Rio Fucha y la Avenida Primera con la localidad Antonio Nariño, por el Oriente con la Avenida Caracas limitando con la localidad de Santa fe y por el Occidente con la Avenida Ciudad de Quito limita con la localidad de Puente Aranda [12].

- **Unidades de planeamiento zonal**
- **UPZ La Sabana**

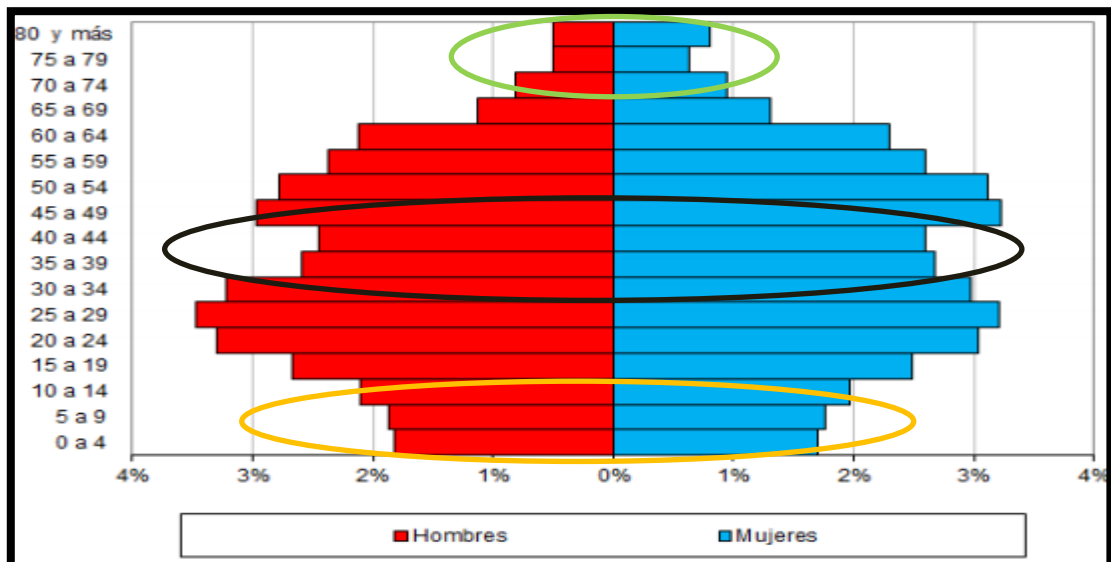
Está ubicada al sector norte de los Mártires y cuenta con una extensión de 450,9 hectáreas. Se encuentra delimitada por el norte con la UPZ Teusaquillo de la localidad con el mismo nombre; al sector oriente limita con la UPZ las Nieves, localizada en la localidad de Santa fe; al sur con la UPZ Santa Isabel y por el occidente con la UPZ Zona Industrial de la localidad de Puente Aranda (Ver anexo1b) [13].

### 2.2.2. Población

Según datos proporcionados por la Secretaria Distrital de Planeación, las proyecciones de población estimada para los Mártires para el año 2017 fue de 93.716 habitantes, de los cuales 50.375 (53,8%) se localizan en la UPZ La Sabana y 43.341 (46,2%) a la UPZ Santa Isabel. Sin embargo, haciendo un análisis de la evolución de la población se encuentra que su crecimiento tiende a reducirse con el paso del tiempo [14].

En cuanto a la densidad poblacional por sexo la localidad cuenta con el 1,2% del total de los habitantes de la ciudad de Bogotá, dentro de los cuales el 50,5% corresponden al género femenino y el 49,5% restante al género masculino. Proyecciones realizadas por la Secretaria Distrital de Planeación hasta el año 2020 muestran que la tendencia predominante seguirá siendo el género femenino (Ver Gráfico 2) [14].

**Gráfico 2.** Pirámide poblacional Los Mártires, 2017



Fuente. [14]

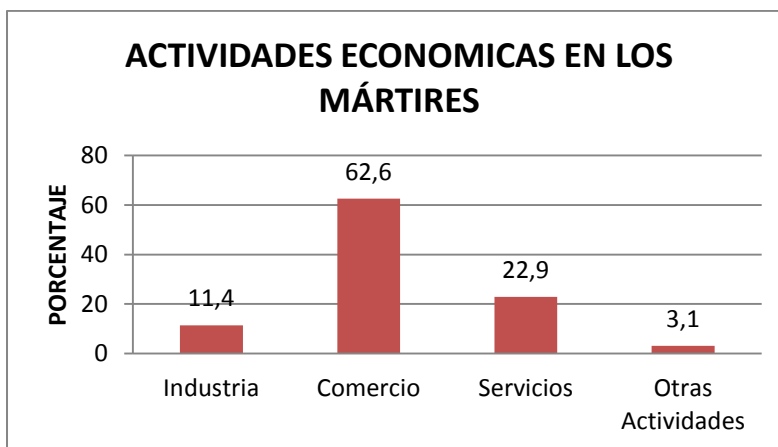
La distribución de la población como se identifica en la pirámide poblacional tiende a ser regresiva debido a que presenta un menor número de natalidad

como se observa en el óvalo amarillo a diferencia del grupo etario adulto que muestra una mayor presencia la cual puede ser interpretada como inmigración posiblemente producto del asentamiento de nuevas industrias y microempresas. En cuanto al grupo poblacional adulto se evidencia en el óvalo de color verde que el género femenino tiende a extender un poco más su esperanza de vida con respecto al de los hombres.

### 2.2.3. Aspectos Socioeconómicos

Los aspectos sociales y económicos en la Localidad de Los Mártires, según datos suministrados por la Universidad Pedagógica Nacional y la Secretaría Distrital de Cultura, Recreación y Deporte, evidencian que el comercio y la industria son las actividades económicas más importantes, teniendo lugar sectores como; repuestos automotrices, comercio asentado en “San Andresito” San José, reparaciones, metales y ferreterías. En cuanto al componente social, Los Mártires presenta una distribución de su población que solo abarca los estratos 1, 2 y 3; estrato 1 el 5,4% del total de la población, mientras que los estratos 2 y 3 el 89,4% y 4,6% respectivamente. La distribución de las actividades económicas se pueden ver en el grafico 3 [15].

**Gráfico 3.** Principales actividades económicas, localidad Los Mártires



Fuente. [15]

### 2.2.4. Salud

La salud en la localidad de los Mártires se ve deteriorada por el ambiente y su contaminación, al estar ubicada en el centro de la ciudad se encuentra en confluencia de vías principales como la Avenida Caracas, Carrera 30, Av. El Dorado, entre otras; las cuales aportan emisiones en fuentes móviles por el alto flujo vehicular y contribuyen así con un 60% del total de la contaminación en la localidad, estos vehículos emiten a la atmósfera sustancias como: monóxido de

carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, por otra parte, se emite también dióxido de azufre en aquellos vehículos que funcionan a base de diésel.

Adicionalmente, una amplia área de la localidad se destina al uso industrial, dentro de las cuales se ubican fábricas que emiten residuos y partículas volátiles al aire sobrepasando los límites permitidos locales. Es importante señalar que la contaminación del aire por material particulado no es un factor causal directo de morbilidad respiratoria aguda, sino un factor asociado, que al combinarse con otros factores como desnutrición, contaminación intradomiciliaria, deficientes condiciones higiénicas que se presentan en la localidad entre otras, produce un incremento en enfermedades pulmonares [16].

En cuanto al grupo etario de la primera infancia, las atenciones en salud en lo que representa a la lista 6/67 fueron de 3,24% (n=437), en las cuales las enfermedades transmisibles representan el primer lugar con 32.72% (n=143) dentro de las cuales el 57.34% (n=82) son infecciones agudas de las vías respiratorias superiores e inferiores.

La proporción de las atenciones para los menores de 1 a 5 años es del 5.43% (n=732) del total de las atenciones registradas en la localidad, donde la segunda causa más frecuente son las enfermedades trasmisibles con el 22.68% (n=166), donde las enfermedades respiratorias de las vías superiores abarcan el 44.57% de esta categoría (n=74) [17].

### **2.2.5. Contaminación atmosférica y situación ambiental en Los Mártires**

La calidad del aire en Los Mártires por gases en especial por material particulado, se ve condicionado principalmente por el aporte de contaminantes por las fuentes móviles, dichas fuentes se ven concentradas en las calles 13 a 26, carreras 30 y 24, Avenida Caracas y calle 19, adicional a esto, son estas vías donde se presentan altos niveles de ruido producto del tránsito de automotores, las principales vías donde los niveles de ruido alcanzan altos niveles son calle 12 con carrera 27 debido a la presencia de talleres de mecánica siendo las UPZ La Sabana la zona de mayor impacto por éste aspecto [16].

La localidad de los Mártires, ubicada en la zona central, según investigaciones realizadas evidencia que para el año 2010 se presentó un promedio de concentración anual de PM<sub>10</sub> en el aire entre 50 y 60 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en el primer trimestre del año 2011 se registraron datos que oscilaban entre 50 y 70 µg/m<sup>3</sup> donde a pesar que no sobrepasa los niveles permisibles en la legislación nacional, si sobrepasa los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud OMS establecidos para el año 2005 [16].

Durante la elaboración de la Agenda Ambiental Local, diseñada por la Universidad Nacional de Colombia, se pudo identificar que los principales

factores que llevan al deterioro de la calidad del aire de la localidad se debe a presencia de empresas de metalmecánica, litografía y carpintería que producto de sus procesos generan aumento en emisiones atmosféricas y altos niveles de ruido [16].

Las concentraciones de material particulado por fuentes móviles son más altas en las calle 13 a 26, carrera 30 y 24, Avenida Caracas y Calle 19, cabe destacar que la población expresa tener una percepción del problema en la contaminación del aire de la localidad debido a que se ha deteriorado en gran parte por el tráfico vehicular en las carreras 27, 24 y 22, al igual por la situación en frente del hospital Centro Oriente sede Samper Mendoza, donde se reemplazó la estructura de la avenida Caracas por la implementación de nuevas rutas del Transmilenio lo que ha generado el aumento del flujo vehicular en estas vías alternas provocando un incremento en la incidencia de Infección Respiratoria Aguda (IRA) en la población de la tercera edad [12].

#### **2.2.6. Red de Monitoreo de Calidad del Aire en Bogotá RMCAB**

En calidad de medir la contaminación en la ciudad de Bogotá, el distrito capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB), en donde se recolecta información relacionada con la contaminación emitida por actividades de origen antropogénico y natural, de igual forma el comportamiento meteorológico que influye en el desplazamiento de los contaminantes en la ciudad de Bogotá [18].

La RMCAB cuenta con 13 estaciones distribuidas a lo largo de la ciudad, donde los datos recolectados se llevan a una estación central la cual procesa los datos para dar una validación final y realizar su análisis. Estas estaciones cuentan con diferentes equipos que permiten realizar el monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado ( $PM_{10}$  Y  $PM_{2.5}$ ), de igual forma mide gases contaminantes ( $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$ ) y por último mide variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, presión barométrica y humedad relativa [18].

En las localidades donde se desarrolló el proyecto no se cuenta con estaciones de RMCAB, en el (anexo 4) presenta la ubicación de las localidades de Los Mártires y Ciudad Bolívar en las que se realizó el muestreo de  $PM_{10}$  y Bioaerosoles, con las estaciones de las RMCAB Guayarla, Puente Aranda, Sagrado Corazón, San Cristóbal y Tunal, las cuales son las estaciones que se encuentran más cercanas a los puntos donde se instalaron los equipos de muestreo.

### **3. MARCO CONCEPTUAL**

#### **3.1. Metales pesados**

##### **3.1.1. Qué son los metales pesados**

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos con alta densidad, masa y peso atómico por encima de 20 uma, se encuentran presentes en la naturaleza donde hacen parte del transporte como contaminante a lo largo de la corteza terrestre en pequeñas cantidades [19], la mayoría de los metales pesados son tóxicos en bajas concentraciones, sin embargo el aumento de las actividades agrícolas e industriales con el transcurrir de los años permiten que las concentraciones de los metales aumenten y por consecuencia generan una afectación a la salud de las personas donde se tiene en cuenta la capacidad de bioacumulación en cada organismo y la toxicodinamia del metal a exposición [19, 20].

La forma en la que se encuentran los metales pesados varían dependiendo del área donde estemos, estos se encuentran de forma natural y cuentan con vehículos de transporte como lo son suelo, aire, agua, que al estar en contacto con metales derivados de actividades antropogénicas como minería, agricultura y en usos industriales y otros que son fijados de forma natural, permiten que se encuentren disponibles y con alta probabilidad de entrar en contacto por medios como ingestión e inhalación [21], en mayor consecuencia, los efectos de algunos metales pesados en el medio en donde se encuentren es la capacidad que tiene de interrumpir la degradación de contaminantes orgánicos y sustancias húmicas [22].

La clasificación de los metales sugiere agruparlos en los que contraen un riesgo para los ecosistemas y para la salud humana, estos metales básicamente son seleccionados por su persistencia en el ambiente y potencial de bioacumulación en los organismos, donde su toxicidad puede ocurrir de varias maneras donde se incluye el desplazamiento de metales de sus sitios de unión en moléculas biológicas [23], a este grupo son pertenecientes los metales cromo, cadmio, mercurio, arsénico y plomo siendo estos mencionados por ser los que mayor impacto tienen sobre el ambiente y salud de la población [20].

##### **3.1.2. Cromo**

A pesar de que el cromo elemental no es encontrado de forma natural en el medio ambiente, se encuentran varias formas de este metal que dependen de la variación en sus valencias, siendo valencia II (hipocromosos), III (cromoso) VI (crómico). Los efectos nocivos derivados del Cromo se encuentran en las personas que residen o laboran en áreas con presencia de Cromo VI donde la principal vía de exposición es la dérmica y respiratoria, además otras afecciones

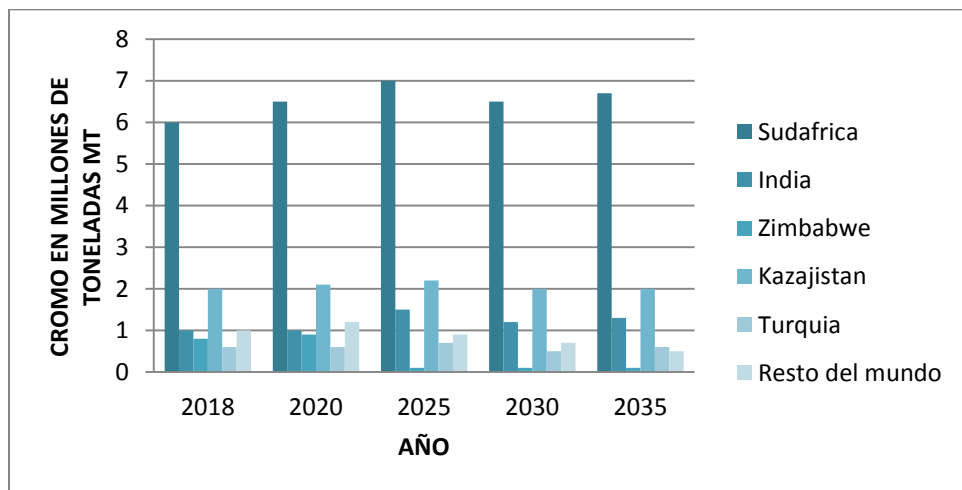
que los organismos pueden contraer debido a la bioacumulación de cromo son Ulceras por Cromo, dermatitis relacionada de igual manera con el cromo VI, efectos respiratorios agudos, ulceración del tabique nasal, incluso la generación de efectos cancerígenos [4].

El cromo en su estado (II) es inestable oxidándose rápidamente al estado cromoso (III), el cromo (III) y cromo (VI) son frecuentemente usados en la fabricación de pigmentos, colorantes y procesos de cromado, curtido de cuero y preservación de madera. Debido a sus propiedades ácidas y oxidantes el cromo en estado de oxidación (VI) es el de mayor aplicabilidad industrial debido a la transformación en compuestos hexavalentes (dicromato sódico, dicromato potásico y trióxido de cromo) [24, 4].

Por otro lado, la forma trivalente del cromo Cr (III), es un elemento residual el cual es necesario en pequeñas cantidades para mantener un buen estado de salud ya que la acción dentro del organismo permite el adecuado uso de la glucosa, lípidos y proteínas [24].

A nivel mundial el uso industrial del Cromo se encuentra en tres grandes grupos: Metalurgia, Química y Fundición. Durante el 2014 el 94,4% de los minerales de Cromo fueron utilizados en la metalurgia principalmente en la producción de ferrocromo y elaboración de piezas en acero inoxidable, este último tuvo su aporte más importante en los artículos domésticos ocupando aproximadamente el 36% de la demanda total de los minerales de cromo, otro de los sectores con mayor impacto fue el de equipos industriales (23%), seguido por el sector de construcción (18%), transporte (10%) y tubos soldados (4%) [25]. A continuación, en el gráfico 4 se estiman las proyecciones en cuanto a producción de cromo en millones de toneladas y principales productores.

**Gráfico 4.** Proyección de producción de cromo en millones de toneladas (MT)



Fuente [25]

### 3.1.3. Cinética ambiental del cromo

El Cromo en estados de valencia (III y VI) se depositan en recursos como aire y agua debido a las actividades antropogénicas, las concentraciones de cromo que se pueden encontrar en el aire están presente en forma de material particulado, cantidad que varían su concentración resultado de la quema de combustibles fósiles, producción y soldadura de acero inoxidable y manufactura de productos químicos [24]. La contaminación en los cuerpos de agua es producida por la descarga de desechos derivados de la manufactura de colorantes y pigmentos para curtido de cueros, mientras que el suelo se ve afectado básicamente por el depósito de residuos de las industrias y cenizas de carbón proveniente de un sin número de actividades industriales [24].

### 3.1.4. Cinética ambiental del Cromo en el aire

En la atmósfera el Cromo (III) es eliminado mediante procesos de deposición en húmedo y seco, partículas con diámetro aerodinámico menor a 20  $\mu\text{m}$  pueden permanecer suspendidas en el aire por tiempos prolongados y recorrer grandes distancias [24]. Las industrias donde se produce ferrocromo, sitios de desechos peligrosos y el humo del cigarrillo contribuyen para que en la atmósfera se libere cromo (III), el cual es el tipo más común en el aire por las diferentes emisiones [26], la presencia de cromo en el aire se debe principalmente en áreas donde se llevan a cabo la fabricación de productos donde se obtiene como residuo final cromatos y dicromatos haciendo de estos lugares focos de exposición para los trabajadores generando problemas de salud ocupacional.

Por otro lado, el cromo no suele ser muy persistente en el aire esto dependiendo del tamaño aerodinámico, por el contrario, tiende a depositarse en el suelo y en el agua, dependiendo de las condiciones del agua este puede convertirse en su forma hexavalente o tetravalente, en este caso el riesgo por la presencia de cromo en el organismo se da a raíz de la ingestión de agua contaminada o alimentos igualmente contaminados al momento que el cromo es depositado en el suelo [26].

### 3.1.5. Toxicocinética

La absorción del Cromo se hace fundamentalmente por tres vías: oral, respiratoria y dérmica. Al ingresar en el organismo se distribuye rápidamente por la médula ósea, bazo, pulmones, ganglios linfáticos, hígado y riñón. A diferencia del Cromo III ( $\text{Cr}^{+3}$ ), los compuestos que más fácil se absorben son los del cromo VI ( $\text{Cr}^{+6}$ ) debido a que es tomado con rapidez por los eritrocitos e integrado a otras células por parte del sistema transportador de sulfatos, la poca absorción del  $\text{Cr}^{+3}$  se da debido a que éste compuesto no logra atravesar las membranas celulares [27, 28, 29]. La reducción intracelular del cromo genera reactivos como

cromo II, cromo VI y cromo III, estas formas son susceptibles a alterar el ADN, el 60% de estos reactivos son eliminados por vía renal y en menor grado por heces, cabello, uñas y sudor (Ver anexo 5) [29].

### **3.1.6. Toxicodinámia**

Los efectos del Cromo sobre la salud dependen del estado de valencia en que se encuentre este metal, toxicológicamente las formas más importantes del cromo son Cr VI y Cr III debido a que una corta exposición al Cr III puede generar irritación en los ojos y en el tracto respiratorio [26]. El Cr VI incluye alteración de cromátidas hermanas y reacciones cruzadas en la cadena del ADN [29].

El cromo VI es un peligro para la salud humana, en especial en la gente que trabaja en la industria de acero y textil, la presencia de úlcera se debe a la acción corrosiva del Cr VI que penetra en la piel por diferentes factores, la úlcera puede penetrar profundamente en el tejido blando y llegar a alcanzar el hueso subyacente, la acción del Cr VI además puede generar dermatitis en la piel y en cuanto a la absorción por inhalación se traduce en efectos respiratorios agudos produciendo desde irritaciones agudas hasta dar origen a crisis asmáticas típicas [27, 28].

Dentro de los efectos cancerígenos se evidencia que el mecanismo de muerte celular inducida por el cromo hexavalente Cr (VI) en donde la célula muere por el daño causado en el núcleo donde se presenta fragmentación y marginación de la cromatina, condensación citoplasmática con conservación de la membrana celular y los organelos citoplasmáticos, incluye daños en la síntesis del ADN y cambios en los ciclos celulares [30].

Los efectos tóxicos presentados en poblaciones expuestas al cromo en su estado de valencia (VI) son producidas por acción caústica directa, sensibilización cutánea, citotoxicidad e inflamación de neumocitos, interacción con biomoléculas, el Cromo VI induce alteraciones en cromátidas hermanas, aberraciones cromosómicas y reacciones cruzadas en cadenas de ADN [31].

## **3.2. Contaminantes Biológicos (Bioaerosoles)**

### **3.2.1. Qué son los contaminantes biológicos**

Los Bioaerosoles son aerosoles formados por partículas que tienen su procedencia biológicamente o con algún tipo de actividad biológica, donde su capacidad de afectación hacia los demás seres vivos está en función de procesos infecciosos, alérgicos, irritantes o tóxicos [32].

Los aerosoles son partículas que pueden estar en estado líquido o sólido al momento de estar suspendidos en el aire y cuentan con un tamaño entre 0,001

hasta 100  $\mu\text{m}$ . La composición de los bioaerosoles depende de su fuente, mecanismos de aerolización y de las condiciones del medio ambiente que prevalecen en un sitio. Debido a su bajo peso, los bioaerosoles son transportados, transferidos y desplazados en el aire fácilmente de un ambiente a otro [33].

Tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente, los bioaerosoles al estar compuestos por microorganismos pueden comportarse de manera diferente, por ejemplo, las bajas temperaturas impiden el crecimiento de muchos de estos; sin embargo, otros pueden reproducirse sin problema alguno, esto refleja lo complejo que es conocer exactamente el comportamiento de los microorganismos y más en un ambiente tan complicado como lo es el aire [34].

Con respecto al alimento de los microorganismos diferentes sustratos son aprovechables para su crecimiento y desarrollo, siendo los más necesarios y esenciales el agua y materia orgánica; esto quiere decir que en cualquier zona donde se encuentre un compuesto con dichas características puede ser un lugar colonizable para ellos [34].

### **3.2.2. Fuentes de los bioaerosoles**

Los bioaerosoles se originan por procesos naturales o por actividades antropogénicas como lo son la agricultura, procesos de plantas de tratamiento, las plantas de reciclaje, los distritos de riego entre otros. Las actividades industriales son fuentes y zonas donde se da una amplificación de la concentración [34].

La presencia de bioaerosoles se encuentra a menudo sobre áreas con presencia animal, donde las bacterias y virus se encuentran más concentradas, básicamente la mayor fuente de bioaerosoles está concentrada en la zonas de ganadería intensiva, donde los bioaerosoles son ricos tanto en variedad como en cantidad siendo como principales fuentes los animales y los desechos de los mismos, independientemente su fuente, los bioaerosoles pueden viajar grandes distancias gracias a las corrientes de aire generando enfermedades infecciosas no solo a los mismos animales sino a poblaciones cercanas a estas fuentes [35].

### **3.2.3. Fuentes naturales**

Los bioaerosoles procedentes de fuentes naturales que incluyen animales (mamíferos, aves, insectos), el hombre, tierra, plantas, hongos y otros productos en descomposición que están depositados en el suelo y el agua. La materia orgánica en descomposición y el excremento de animales son potenciales fuentes de bacterias las cuales en condiciones favorables en el aire pueden transportarse, de igual forma los animales y el hombre al perder escamas de piel y cabello pueden generar fuentes como virus, bacterias y hongos [33].

El suelo también contiene bacterias y hongos los cuales son transportados por el aire de manera individual o pueden adherirse al polvo. Por otra parte, los cuerpos de agua conformados por ríos, lagos, océanos y aguas estancadas poseen las fuentes de material biológico, particularmente de bacterias. Estos últimos se liberan en la atmósfera gracias a la ruptura de olas, el viento, la espuma y al estallar las burbujas en la superficie de un cuerpo de agua [36].

#### **3.2.4. Fuentes antropogénicas**

El hombre es también un factor el cual influye para la generación de microorganismos en la atmósfera ya que algunas actividades antropogénicas permiten su desarrollo. Actividades como la agricultura, la industria ganadera, plantas de tratamientos de aguas residuales, fábricas textiles, industrias de reciclaje de residuos e industrias que producen sustancias biológicas ayudan con proliferación de agentes biológicos por sus procesos en donde la materia orgánica en algunos de los casos es usada como materia prima o puede ser considerada un residuo, esto último en actividades que impliquen manipulación de animales en la industria ganadera como lo son las granjas avícolas, porquerizas, lecherías y mataderos [36].

#### **3.2.5. Tipos de Contaminantes Biológicos**

Los contaminantes de origen biológico o llamados bioaerosoles, están contenidos básicamente por virus, bacterias, hongos, levaduras polen y fragmentos de microorganismos, esporas, toxinas y protozoos. Registran una gran variedad de formas y tamaños; los virus cuentan con un tamaño entre 0,015 y 0,045  $\mu\text{m}$ , las bacterias oscilan entre 0,3 y 10  $\mu\text{m}$  mientras que las esporas de hongos van desde 1,0 hasta los 100  $\mu\text{m}$  [37]. A continuación, se relacionan los microorganismos de interés de la presente investigación.

#### **3.2.6. Bacterias**

Las bacterias abundan en la naturaleza y en general en casi todos los ambientes conocidos, actualmente existen más de 150.000 especies conocidas [37], son organismos unicelulares que se reproducen por fisión binaria, la mayoría de las bacterias son de vida libre a excepción de unas pocas que son de vida intracelular, cuentan con mecanismos productores de energía y material genético necesarios para su desarrollo y crecimiento [38].

Las bacterias son clasificadas en función de sus características celulares, bioquímicas o de morfología. En función a su reacción a la coloración de Gram las bacterias se dividen en dos grandes grupos (Gram positivas o Gram negativas), debido a la fragilidad de su pared celular, las bacterias Gram negativas no toleran en gran frecuencia la exposición al aire durante periodos de

tiempo prolongados, mientras que las bacterias Gram positivas cuentan con mayor resistencia en su pared celular, incluso algunas de ellas producen esporas las cuales les otorgan una mayor resistencia a la variación de las condiciones ambientales [37].

La mayoría de las bacterias presentes en el ambiente no causan grandes consecuencias en la salud humana, de hecho, existen grupos de bacterias que son indispensables para el óptimo funcionamiento del organismo, los riesgos para la salud se evidencian cuando existen concentraciones anormales de algunas especies de bacterias, de igual manera otro grupo de bacterias son reconocidas como los principales responsables de enfermedades infecciosas [37].

### **3.2.7. Hongos**

Los hongos o mohos son talofitas sin diferenciación estructural en sus raíces, tallos y hojas, debido a que son heterótrofos no poseen clorofila así la obtención de su alimento se da a base de materia muerta como saprófitos o se nutren como parásitos sobre huéspedes vivos poseen una pared celular rígida, organelos y un núcleo con ácidos nucleicos al interior de ellos donde sólo pueden desarrollarse en ambientes ácidos [39].

El organismo de los hongos es característico por poseer micelios que son un agregado de filamentos o hifas, estas hifas se dividen a su vez en dos tipos; hifas vegetativas e hifas estériles, las primeras penetran en el sustrato para obtener las sustancias nutritivas mientras que las segundas son las encargadas de la producción de células reproductivas [39]. Básicamente los hongos poseen dos tipos de morfología, una multicelular (filamentosa) y otra unicelular (levaduriforme) [40].

Los hongos filamentosos son la forma más general del crecimiento de los hongos microscópicos, estos hongos producen colonias algodonosas muy características del tipo de hongos miceliares y su crecimiento se da en medios de cultivo sólidos, sobre frutas y alimentos y en general sobre superficies con condiciones ambientales óptimas para su crecimiento, presentan estructuras tubulares que se forman por varias células llamadas hifas [39, 40].

Un pequeño grupo de hongos de gran importancia clínica presentan tanto un crecimiento miceliar como levaduriforme dándoles su nombre como dimorfos que usualmente presentan un crecimiento filamentoso a 25°C y un crecimiento levaduriforme a 37°C al interior del cuerpo humano [40].

### 3.3. Efectos a la salud

A pesar de que la presencia de los bioaerosoles en el medio ambiente es común, cabe resaltar que las enfermedades infecciosas que se generan son altamente producidas por la frecuente exposición a lugares donde haya una presencia animal significativa o presencia de diversos tipos de vegetación y que a su vez son generadoras de algún tipo de morbilidad presentada por bioaerosoles.

No basta con evitar tener contacto con animales o estar presente constantemente en áreas naturales, se debe tener en cuenta factores como Humedad relativa y temperatura, radiación, oxígeno presente y muy importante la presencia de contaminación del lugar [35], puesto que el transporte de los contaminantes biológicos también estará en función de las condiciones ambientales.

#### 3.3.1. Enfermedades Respiratorias

Las enfermedades respiratorias son las más comunes por exposición a bioaerosoles, la presencia en el ambiente son los causantes de un sin número de afecciones en el sistema respiratorio, trayendo como consecuencia altos índices de incidencia en diferentes grupos etarios, especialmente en los grupos sensibles que al estar expuestos a una baja o alta concentración de estos contaminantes desarrollan enfermedades o infecciones asociadas con el desarrollo de ciertos microorganismos al interior del cuerpo humano (Ver tabla 3).

**Tabla 3.** Enfermedades respiratorias asociadas a bioaerosoles

<i>Enfermedad</i>	<i>Contaminantes biológicos de exposición</i>	<i>Efecto</i>
Asma	Acaros, Hongos alergenicos, Agentes alergenicos microbianos y endotoxinas bacterianas	Afeccion cronica de las vias respiratorias y limitacion para permitir la entrada de oxigeno
Rinitis	Polen, hongos, endotoxinas bacterianas, polvo no organico	inflamacion alergica y no alergica de las mucosas del tracto respiratorio superior y conjuntivitis
Neumonitis por hipersensibilidad	Microorganismos termofilos, bacterias miceliales(saccharopolyspora rectivirgula, saccharomonospora viridis, thermoactinomyces sacchari,	Alveolitis alergica extrinseca, influjo de celulas inflamatorias y formacion de granulomas en pulmones
Bronquitis Cronica	Bioaerosoles presentes en actividad agricola, compost e industrias de algodón	Obstruccion de vias respiratorias, sibilancias y presencia de flema constante
Obstruccion al flujo aereo	endotoxinas bacterianas	Obstruccion cronica al flujo de aire
Hemorragia Pulmonar	Exposicion a Stachybotrys chartarum	Altos niveles de hemosiderina en los tejidos pulmonares, sangrado y/o hemorragia en los alveolos
Cancer	Micotoxinas, aflatoxinas de aspergillus flavus, ocratoxina	Muerte de celulas en el organo blanco

Fuente. [41]

### 3.4. Marco legal

A nivel nacional el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) establece la norma para la calidad del aire en Colombia mediante la Resolución 2254 de octubre de 2017 donde a comparación de la norma derogada (Res 610 de 2010) en esta nueva norma se estableces niveles de alerta y emergencia en los diferentes rangos de contaminación del aire en el país [42].

Sin embargo, la Organización Mundial de la Salud establece niveles de recomendación para los contaminantes criterio al igual que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), por otro lado, se establecen los niveles de concentraciones máximos para contaminantes criterio en Europa, estos niveles fijados por la Unión Europea están en base a los objetivos propuestos por esta agencia en función de mejorar la calidad del aire en Europa (Ver Tabla 4).

**Tabla 4.** Niveles máximos permisibles para PM<sub>10</sub> y cromo (Cr)

Contaminante ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MADS	USEPA	OMS	UE
PM <sub>10</sub>	30 anual	50 anual 150 diario	20 anual 50 diario	40 anual 50 diario
Cromo	Sin establecer	Sin establecer	0,25 anual	Sin establecer

**Fuente.** [42, 43, 44, 45]

### 3.5. Monitoreo Ambiental de Material Particulado

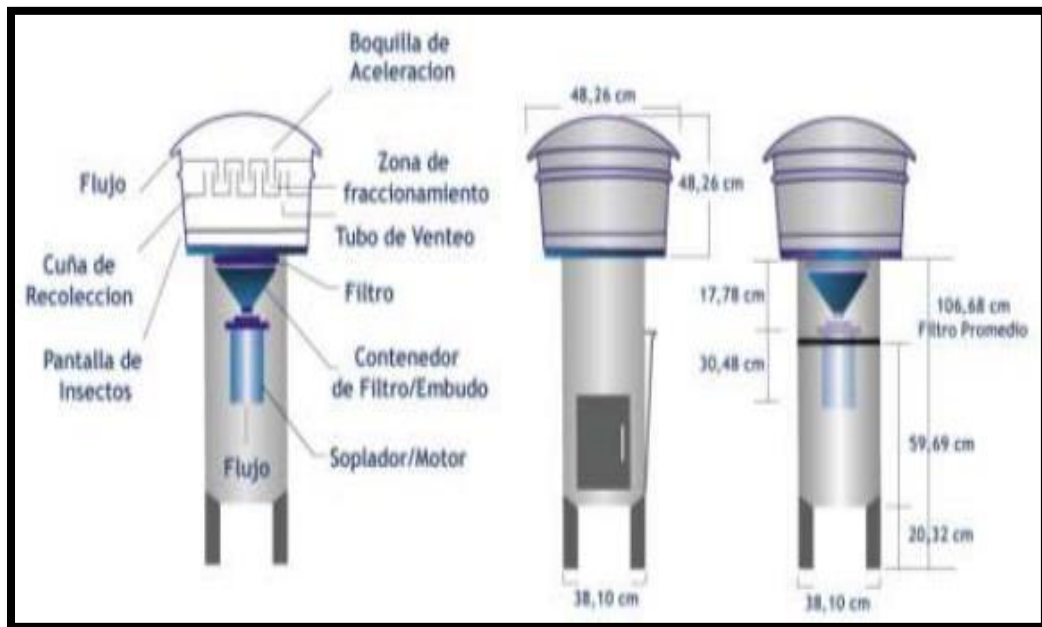
#### 3.5.1. Equipos de Medición Hi-Vol.

De acuerdo con lo establecido por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo territorial MAVDT (Actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS), el monitoreo ambiental donde se recolectan muestras de contaminantes se debe llevar a cabo con muestreadores activos manuales o semiautomáticos, uno de ellos es el Hi-Vol (High Volumen Sampler), un muestreador activo semiautomático, su funcionamiento se basa en la succión de una cantidad de aire cuantificable hacia una caja de muestreo, el aire succionado pasa a través de un filtro durante un periodo conocido de tiempo que generalmente es de 24 horas continuas [46].

El filtro debe ser pesado antes y después para poder determinar la cantidad de material ganado en peso, el volumen total de aire muestreado es determinado a

partir del tiempo de muestreo y la velocidad promedio de flujo de aire, por último, la concentración total de partículas se calcula con los datos de peso neto ganado dividida por el volumen total muestreado ajustado previamente con las condiciones de referencia (Ver figura 1) [46].

**Figura 1.** Muestreador Hi-Vol PM<sub>10</sub>



Fuente. [46]

### 3.5.2. Equipo Calibrador Para Hi-Vol.

Con el fin de lograr una verificación del flujo del muestreador, se requiere de la operación de un equipo calibrador el cual opera bajo el fundamento de lograr una posición del sensor que permite una aspiración de aire un rangos deseados entre 40 – 60 CFM en condiciones de referencia, las recomendaciones que se tienen para la calibración del muestreador es realizar esta operación cuando; el motor deba ser reemplazado, se realice un cambio de escobillas, se cambie el lugar de muestreo y se recomienda una calibración de mínimo una vez cada tres meses [47].

### 3.5.3. Selección De Filtros

El medio de filtro que se es utilizado en la recolección del material de interés depende del propósito de la prueba, tal como lo establece la USEPA en la metodología Compendium Method IO 3.1 donde se establecen las características teniendo en cuenta que de algunos filtros pueden afectar la selección y su uso,

esta selección debe tener en cuenta variables como el contenido del metal de fondo, la formación de artefactos y la afinidad que tiene con la humedad [48].

Para llevar a cabo el muestreo de alto volumen, la selección del medio filtrante debe ser lo más adecuada posible, pues normalmente se usan cuatro tipos de filtros para la recolección del material, en los tipos de filtros se incluyen; filtro de fibra de celulosa, filtro de fibra de cuarzo/vidrio, filtros de fibra mixta y filtros de membrana. Los filtros de cuarzo son los más usados en la determinación total de la masa, proporcionan una alta eficiencia y la recolección de las partículas en el aire se da en casi todos los tamaños de estas, sus más importantes características son la alta pureza de su contenido de fibra de cuarzo, aglomerante por debajo del 5% y un espesor de aproximadamente 5 mm, superficie sin orificios [48].

#### **3.5.4. Determinación de metales en partículas, método IO 3.5 USEPA**

Dentro de los diferentes métodos que usa la USEPA para el análisis de contaminantes inorgánicos en el aire, el método IO 3.5 el cual se basa en la determinación de elementos traza por plasma de acoplamiento inductivo/espectrómetro de masas ICP/MS, el principio de funcionamiento de este método se basa en la introducción de una solución mediante nebulización neumática en un plasma de radiofrecuencia donde se causa una desolvatación, atomización e ionización debido a la transferencia de energía durante los procesos [49].

El método usa los iones que se extraen del plasma a través de una interfaz de vacío bombeada diferencialmente separando sobre la base de su relación masa-carga por un espectrómetro de masas con mínima resolución, los iones transmitidos se registran mediante un multiplicador de electrones continuo procesando la información con un sistema de manejo de datos [49].

### **3.6. Monitoreo Ambiental De Microorganismos**

#### **3.6.1. Equipo de Medición MAS 100-ECO**

El monitoreo de aire para evidenciar la presencia de microorganismos es realizado gracias a la operación de equipos muestreadores por succión de un volumen conocido de aire, el método más común es por impactación de Andersen, este método es propio del funcionamiento del equipo MAS 100-ECO.

Un ventilador radial controlado por un sensor de flujo regula con precisión el flujo de aire en tiempo real. El aire aspirado impacta con un medio de crecimiento en una placa de contacto, dentro de dicha placa, se encuentra una caja de Petri la cual contiene el medio de cultivo seleccionado [50].

El equipo opera con un caudal constante de litros de aire por unidad de tiempo, el cual se regula automáticamente de acuerdo con la presión y temperatura ambiental. Diferentes factores pueden causar que la corriente de aire sea irregular, sin embargo, el equipo es susceptible de variación del caudal de flujo dependiendo la finalidad del muestreo [50].

### **3.7. Medios de Cultivo**

#### **3.7.1. Sangre Agar**

El agar Sangre se emplea como medio diferencial para la identificación de microorganismos, puesto que promueve el desarrollo de bacterias exigentes en sus requerimientos nutricionales y la clara observación de las reacciones de hemólisis. La reacción de hemólisis junto con otras características morfológicas permite identificar microorganismos de interés clínico.

#### **3.7.2. Eosin Methylene Blue Agar (EMB)**

El agar EMB funciona como medio selectivo y de diferenciación de microorganismos presentes en el aire, es un medio que promueve el crecimiento de bacilos Gram negativos entéricos, también permite el desarrollo de todas las especies de la familia Enterobacteriaceae. El medio de cultivo combina las fórmulas de Holt-Harris y Teague con la Levine con el fin de obtener un mejor rendimiento en el aislamiento selectivo de los organismos ya mencionados. Es nutritivo por la presencia de peptona la cual favorece el desarrollo microbiano, dentro de su composición se encuentra el azul de metileno y Eosina Y, que inhiben a las bacterias Gram positivas, los colorantes actúan como indicadores diferenciales en respuesta a la fermentación de lactosa y sacarosa por parte de los microorganismos [51].

#### **3.7.3. Sabouraud Glucose Agar**

El agar sabouraud Glucose Agar recupera hongos presentes en el aire, el componente principal de este medio es la Dextrosa la cual es considerada como nutriente principal para el crecimiento de microorganismos micóticos. Al estar en alta concentración permite el desarrollo de diversos géneros pertenecientes al reino hongo. Adicionalmente este agar cuenta con una mezcla de antibióticos como el cloranfenicol, penicilina, gentamicina y la estreptomina que inhiben el crecimiento de una amplia variedad de bacterias Gram negativas y Gram positivas, sin afectar el crecimiento fúngico [51].

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Inventario de Fuentes Fijas

Con el fin de establecer las fuentes de contaminación del aire por fuentes fijas en los puntos de muestreo, Colegio San José (Localidad los Mártires) y Colegio Cofraternidad De San Fernando (Localidad Ciudad Bolívar), se desarrollaron inventarios de fuentes fijas para las UPZ La Sabana y San Francisco.

Se realizó una recopilación de información primaria y secundaria que permitiera determinar la cantidad de industrias que podrían estar emitiendo el contaminante de interés que en el caso de esta investigación fue el Cromo a la atmósfera de acuerdo a su proceso productivo. Los inventarios compilan datos básicos como las coordenadas y la dirección de las industrias, Nombre de la empresa, cantidad y tipo de industria; en el área ya establecida para cada colegio se concentran establecimientos económicos que pueden ser generadores del metal mencionado anteriormente y de una u otra forma contribuyen al incremento de su concentración en el aire.

Con las áreas para cada punto de muestreo ya definidas, 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) para el año 2014, el cual fue el último en donde se realizó un inventario

Una vez ya realizada la selección de las empresas de interés se efectuó un filtro por actividad económica y por el código de Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) teniendo en cuenta criterios de selección como: las industrias cuyas materias primas e insumos contengan Cromo, y sus procesos productivos que de igual forma emitieran el metal relacionando las principales actividades y tipo de industrias de acuerdo con el código CIIU (Ver anexo 6).

Con la base de datos de la SDA se realizó la verificación en campo de cada una de las industrias en diciembre del 2018, realizando visitas en las áreas ya delimitadas para cada punto de muestreo con el fin de verificar su existencia, actividad económica y ubicación geográfica.

Luego de haber realizado la actualización en campo de las industrias, se encontró con varios establecimientos que habían cambiado su actividad económica o que simplemente ya no se encontraban en operación, de igual forma se localizaron nuevos establecimientos con respecto a la última actualización y que eran de interés por su actividad económica y proceso

productivo. Al término de la verificación en campo se procedió a organizar la información eliminando aquellas industrias que ya no pertenecían al sector y agregando las nuevas en el inventario.

Sin embargo, teniendo en cuenta la información recopilada a partir de la literatura se estableció como área directa de influencia un buffer de 700 metros donde se tuvo en cuenta que la dispersión de los contaminantes no sobrepasaba esta distancia, más específicamente para los bioaerosoles. El buffer se realizó con respecto a los puntos de muestreo [52, 53].

## **4.2. Inventario de Fuentes Móviles**

Debido a la ausencia de información la obtención de una base de fuentes móviles que sería suministrada por la secretaría de movilidad no fue posible, por lo que se procedió a realizar un aforo en corredores viales principales cercanos a los puntos de muestreo.

### **4.2.1. Selección de puntos para el aforo**

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 (ubicado en la localidad de mártires) la Avenida carrera 30 y para al Colegio Cofraternidad de San Fernando (ubicado en ciudad Bolívar) la Avenida Boyacá (Ver figura 2).

**Figura 2.** Ubicación puntos de aforo vehicular



Fuente: Google Earth Pro.

#### 4.2.2. Aforo vehicular

La cuantificación del flujo vehicular fue compleja debido a los lineamientos que se deben seguir para llevar a cabo un aforo acorde a lo estipulado por la secretaria de movilidad, sin embargo, en el caso del Colegio Cofraternidad de San Fernando un solo punto permitió observar el tránsito tanto en sentido sur-norte como norte-sur, mientras que para el Colegio San José se requirió una distribución en grupos iguales por las limitaciones para el conteo desde un solo punto.

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 la localidad de Ciudad Bolívar. Se seleccionaron tres días de la semana que se consideraron como representativos; lunes, miércoles y sábado, siendo el lunes y el miércoles los 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 por factores como: la inexistencia del pico y placa, los cambios en los horarios de servicios de transporte público y restricciones para vehículos de carga en diferentes corredores viales de la ciudad.

Durante los días de aforo se realizó 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)

Para el conteo de vehículos se utilizó un método manual, por lo tanto, se ubicó un grupo de tres personas responsables de realizar dicho conteo en cada sentido del tráfico. Estas personas hicieron el conteo clasificando los vehículos en cuatro grandes tipologías (Ver tabla 5) establecidas a partir de las categorías utilizadas por el instituto nacional de vías como se observa en la tabla 5 [54].

**Tabla 5.** Clasificación vehicular

Tipología	Clasificación INVIAS	Descripción
Automóviles	Tipo A	Automóviles de cualquier tamaño, camionetas con y sin platón, furgonetas y minivan
Transporte público	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, cilindraje y tiempos

**Fuente:** Elaboración propia

La información obtenida del aforo fue registrada en el anexo 7, la información recolectada se procesó junto a revisiones bibliográficas correspondientes a factores de emisión en fuentes móviles. La estimación de las emisiones de material particulado se halló utilizando la ecuación 1 en donde se tienen en cuenta tipos de combustible, distancia recorrida en unidad de tiempo y tipo de vehículo.

**Ecuación 1. Emisión fuentes móviles**  $E = FE * KRVi * FVi$

Para la aplicación de la ecuación 1 es necesario utilizar los factores de emisión para fuentes móviles, los cuales pueden ser obtenidos directamente de modelos de emisión como el modelo IVE (International Vehicle Emissions Model), Modelo que predice contaminantes atmosféricos y tóxicos desarrollado por el Centro Para la Investigación y Tecnología Ambiental y Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales, sin embargo, los factores también pueden ser obtenidos de documentos compilatorios como la guía de inventarios de emisiones contaminantes del aire de la Agencia Ambiental Europea.

Para el caso de esta investigación se utilizaron los factores de emisión para material particulado  $PM_{10}$  calculados por Liliana Rojas Pérez en su proyecto de investigación “Estimación de emisiones contaminantes provenientes de fuentes móviles en la jurisdicción CAR, 2015”, teniendo en cuenta que sus factores fueron estimados con vehículos que también se podían encontrar en la zona de estudio y que la investigación fue realizada en Colombia (Ver anexo 8a) [55].

En cuanto a la distancia recorrida por tipo de vehículo en un periodo determinado de tiempo se tomó como referencia los valores registrados en el informe de movilidad, realizado por la secretaria distrital de movilidad en el año 2014 (Ver anexo 8b) [56].

### **4.3. Monitoreo atmosférico**

El muestreo atmosférico fue realizado en las instalaciones de los Colegios San José en la localidad de Los Mártires y el Colegio Confraternidad de San Fernando ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar, estos sitios de muestreo se seleccionaron de acuerdo con condiciones sociales, geográficas y de seguridad para los equipos.

Por otra parte, factores como la presencia de corredores viales de gran afluencia y presencia significativa de fuentes fijas cuyos procesos productivos se caracterizan por utilizar y generar sustancias químicas las cuales en su composición tienen la capacidad de transportar el metal de estudio.

#### **4.3.1. Recopilación datos meteorológicos**

Los datos meteorológicos fueron suministrados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, la cual genera reportes diarios de parámetros meteorológicos. Las estaciones que se tuvieron en cuenta para la recopilación de la información fueron las estaciones de Tunal y San Cristóbal para la localidad de Ciudad Bolívar y las estaciones de Ministerio de Ambiente, Carvajal y Puente Aranda en la localidad de Los Mártires, dichas estaciones fueron escogidas por la proximidad que tienen a los puntos de muestreo. Los parámetros que se

tuvieron en cuenta fueron la temperatura, velocidad del viento y humedad relativa para establecer las correlaciones necesarias para la investigación.

#### **4.4. Equipos e insumos**

El monitoreo atmosférico se realizó simultáneamente en los dos puntos de muestreo ubicados en cada uno de los colegios mencionados anteriormente durante 18 días consecutivos (desde el 24 de noviembre hasta el 11 de diciembre de 2018) como lo recomienda el “Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire” establecido por el MAVDT.

En primera instancia para realizar el muestreo de material particulado se utilizaron dos equipos medidores de alto volumen marca Tish Environmental con controlador de flujo tipo másico (Ver anexo 9a) previamente a la adecuación de los equipos en los colegios se aseguró una constante alimentación de energía para evitar la fluctuación.

- **MAS 100 ECO**

Se realizó un muestreo preliminar utilizando los 3 medios de cultivos (Sangre, EMB, Sabouraud) para definir la metodología de muestreo por un periodo de 2 días, con el fin de seleccionar el volumen de aire adecuado de acuerdo al crecimiento presentado y de este modo evitar saturar el medio. Así mismo se definió la hora y localización de los sitios de muestreo más representativos y con óptimas condiciones en términos de seguridad del equipo y las muestras.

El muestreo se realizó por un periodo de 18 días de manera simultánea entre los meses de noviembre y diciembre (24 de noviembre al 11 de diciembre del 2018) en los puntos definidos. Dado que los componentes de los bioaerosoles presentan concentraciones con una variación considerable, se requiere que el número de muestras a tomar sea suficientemente representativa y se deban tomar como mínimo, por duplicado y de manera simultánea, con el fin de poder obtener resultados confiables [57], razón por la cual se establecieron dos jornadas de toma de muestras en intervalos de 12 horas (7:00 am y 7:00 pm) en cada colegio, recolectando las muestras por duplicado con un volumen de aire de 100 litros/minuto.

Para la recolección de muestras se utilizaron dos equipos de monitoreo microbiológico de aire MAS-100 ECO, del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás (USTA) y el CTAS (Ver anexo 9b). El equipo funciona bajo el principio de impactación de aire de Andersen, el aire es aspirado

a través de una placa perforada, y es controlado por un sensor con el fin de regular el flujo del aire que es impactado en la superficie de los medios de crecimiento en una placa de Petri de 90 - 100 mm o en una placa de contacto de 55-60 mm [50].

El total de muestras recolectadas para los medios de cultivo fue de 432 para ambos colegios, con análisis por duplicado (réplica) para 18 días de muestreo (Ver Ecuación 2).

#### **Ecuación 2. Cálculo número de medios de cultivo**

$$\left( \frac{6 \text{ medios}}{\text{jornada}} * \frac{2 \text{ jornadas}}{\text{dia}} * \# \text{días} \right) = 216 \text{ medios}$$

Este cálculo fue realizado para determinar el número de medios para un punto de muestreo, teniendo en cuenta que son dos colegios se multiplica este valor por dos obteniendo como total 432 medios.

#### **4.4.1. Calibración De Equipos**

Con el fin de garantizar que el muestreo de las partículas respirables sea representativo, se requiere que el equipo muestreador trabaje siempre bajo unas mismas condiciones, para lo cual es necesario antes realizar un proceso de calibración del equipo [46].

La calibración se fundamenta en la posición del dispositivo de control de flujo que permita una aspiración de aire en el rango deseado, es decir de 1.02 a 1.24 m<sup>3</sup>/min. En resumen, la calibración del equipo consiste básicamente en una verificación del flujo y debe ser calibrado cada vez que se realice una instalación en nuevo punto de monitoreo [46].

Para realizar la calibración de los equipos medidores de alto volumen se utilizó un sistema con una resistencia de flujo variable, el cual consiste en un tubo metálico con un par de discos que permiten obtener diferentes posiciones de abertura de los discos con ayuda de la manila controladora, además se utilizaron dos manómetros de agua con el fin de medir los cambios de presión (Ver Fotografía 1). El procedimiento que se utilizó para realizar la calibración del equipo siguiendo lo estipulado en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire se puede observar en el anexo 10.

**Fotografía 1.** Calibración equipos de muestreo Hi-Vol



**Fuente.** Elaboración Propia.

Para realizar la verificación del caudal se utilizaron las siguientes ecuaciones.

Cálculo del caudal real a través del calibrador para realizar este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

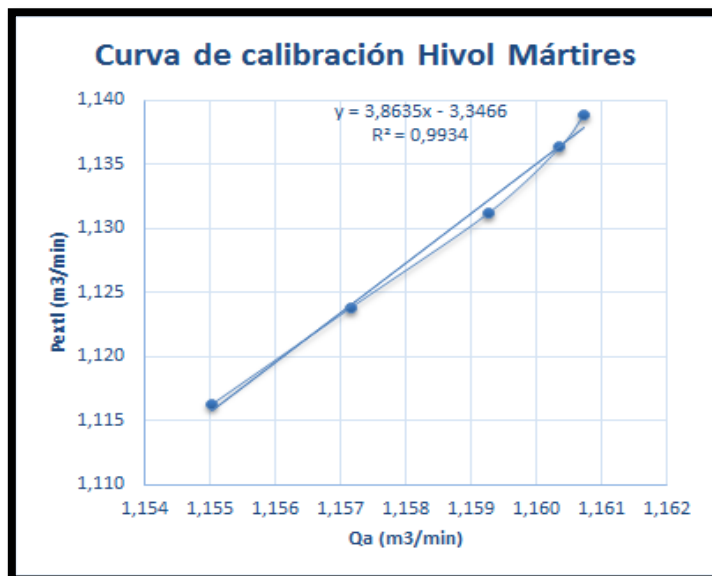
**Ecuación 3. Cálculo del caudal real** 
$$Qa = \frac{\sqrt{[\Delta H(Ta/Pa)]} - b}{m}$$

Cálculo lectura de presión transformada del manómetro del muestreador  
Para realizar este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

**Ecuación 4. Cálculo presión transformada** 
$$Pext = \sqrt{\frac{\Delta Pex(Ta+30)}{Pa}}$$

Luego de realizar el cálculo de estas dos variables se procedió a construir la curva de calibración del equipo graficando el caudal a condiciones reales (Qa) en el eje x vs la lectura de presión transformada del manómetro del muestreador (Pext) en el eje y (Ver gráfico 5).

**Gráfico 5.** Curva de calibración Hi-Vol Los Mártires



**Fuente.** Elaboración propia

Para obtener la lectura media del caudal en cada uno de los días del muestreo se utilizaron las siguientes ecuaciones.

Cálculo de la lectura transformada de la carta record, para realizar este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

**Ecuación 5. Cálculo de lectura transformada**  $I_{corregida} = \sqrt{\frac{I(Ta+30)}{Pa}}$

Cálculo del caudal medio, para realizar este cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

**Ecuación 6. Cálculo caudal medio**  $Qm = \frac{I_{corregida} - b}{m}$

#### 4.5. Preparación de medios de cultivo

##### 4.5.1. Método

Para la preparación de los medios de cultivo se procedió a realizar el cálculo de la cantidad de agar requerido para el número de cajas de Petri teniendo en cuenta la frecuencia de muestreo, previamente se estableció el número de cajas

de Petri necesarias para los muestreos, considerando que se tuvo dos puntos de muestreo con su respectiva réplica y teniendo en cuenta que para cada caja de Petri el volumen de medio fue de 20 ml por cada una, de esta manera conociendo el volumen del medio y el número de cajas se establece el volumen total requerido para el muestreo de bacterias y hongos.

**Ecuación 7. Cálculo volumen medios de cultivos**

$$\text{Volumen (ml)} = \# \text{cajas petri} * 20 \text{ ml/caja de petri}$$

Luego de establecer el volumen requerido, se procedió a la preparación del medio teniendo en cuenta las especificaciones de la casa comercial para cada agar selectivo y que la solubilidad varía dependiendo el tipo de agar (Ver tabla 6).

**Ecuación 8. Cálculo cantidad de Gramos de agar**

$$\text{Gramos de agar} = \text{gr solubles (EMB, Sangre, Sb)} / 1000\text{ml} * \text{vol (ml)}$$

**Tabla 6.** Solubilidad agares selectivos

<b>AGAR</b>	<b>SOLUBILIDAD</b>
Eosin Methylene Blue Agar	36 gr/L
Sangre Agar	28 gr/L
Sabouraud Dextrose Agar	65 gr/L

**Fuente.** Elaboración propia

Posteriormente se agitó la solución para garantizar la homogeneidad, el volumen total fue distribuido en recipientes Erlenmeyer, a continuación, cada recipiente se colocó en planchas de calentamiento a una temperatura entre 200°C y 250°C buscando así una mayor homogeneidad en la solución para luego ser llevados al autoclave en un ciclo que dura quince minutos a 121°C y 15 libras de presión, teniendo en cuenta que el objetivo era lograr la esterilización de los medios de cultivo.

Con respecto al agar sangre se realizó el mismo procedimiento, sin embargo este tuvo un cambio en su preparación, ya que se debía agregar entre el 5-8% de sangre ovina desfibrinada estéril respecto al volumen del medio y de igual forma esterilizar en el autoclave, al finalizar el ciclo en el autoclave se procedió a servir cada medio de cultivo en las cajas de Petri, luego de servir los medios fue necesario dejar enfriar a temperatura ambiente para continuar con la cadena de custodia antes de empezar con los muestreos.

**Ecuación 9. Volumen total**  $150 \text{ cajas} * \left(\frac{20\text{ml}}{1 \text{ caja}}\right) = 3000\text{ml}$

**Ecuación 10. Volumen total agar sangre**

$3000\text{ml} * 0,05 = 150 \text{ ml sangre}$

#### 4.5.2. Cadena de custodia bioaerosoles

Cada muestra de bioaerosoles fue rotulada con una codificación única, para tener identificado el tipo de medio, jornada, día y si era una réplica, esto con el fin de evitar sesgos o errores al momento de realizar el análisis y conteo de colonias de las muestras.

El esquema de rotulado fue el siguiente: **X-D-J1-Y-R** Donde:

**Tabla 7.** Descripción codificación de medios de cultivo

<b>X</b>	<b>D</b>	<b>J</b>	<b>Y</b>	<b>R</b>
Tipo de Medio de cultivo	Día de muestreo	Jornada del día	Punto de muestreo	Réplica
<b>TIPOLOGIA</b>				
<b>S:</b> Agar Sangre <b>Sb:</b> Agar Saboureaud <b>E:</b> Agar EMB	Corresponde al día en que se tomó la muestra, esto tomando en cuenta la duración del muestreo (18 días)	Jornada del día en que se tomó la muestra: <b>J1:</b> 6:30 am <b>J2:</b> 6:30 pm	<b>M:</b> Colegio San José, Mártires <b>CB:</b> Colegio Confraternidad de San Fernando, Ciudad Bolívar	Cuando se realiza la réplica.

**Fuente:** Elaboración propia

De modo que por ejemplo la codificación S-5-J1-M-R, hace referencia a la réplica tomada en agar Sangre, el quinto día (28 de noviembre de 2018) a las 7:00 am en el colegio San José en la localidad de Los Mártires.

Una vez tomada y rotulada la muestra, estas fueron preservadas en papel vinipel y almacenadas en neveras con geles refrigerantes, lo cual permitió su conservación al ser transportadas al laboratorio para su posterior incubación y registro, teniendo en cuenta las restricciones de las entradas a laboratorio los días domingo.

#### 4.6. Selección y Preparación de los Filtros

Como medio filtrante se utilizaron filtros de fibra de cuarzo para PM<sub>10</sub> 8"X10", de acuerdo con la metodología IO 3.1 de la USEPA teniendo en cuenta el propósito de la investigación y las características más relevantes de estos como lo son la eficiencia de recolección, la estabilidad mecánica y química y la estabilidad frente a altas temperaturas, además de permitir realizar una extracción ácida para el análisis de metales.

Inicialmente los filtros fueron inspeccionados, rotulados y acondicionados en el CTAS laboratorio de La Universidad de La Salle durante 24 horas antes de su pesaje, parte del acondicionamiento consistió en la ubicación en un desecador durante 24 horas y el pesaje en un cuarto con condiciones ambientales controladas de temperatura y humedad (25±10°C y humedad relativa <50%). El pesaje se llevó a cabo en una balanza analítica de cinco dígitos. En total para la realización de este proyecto se utilizaron 37 filtros, 18 para cada punto de muestreo más un blanco para el análisis de metales pesados, posteriormente los filtros que fueron impactados fueron desecados y pesados en las mismas condiciones iniciales señaladas.

Cabe resaltar que durante el pesaje de cada uno de los filtros se realizó un control de calidad el cual consistió en realizar el pesaje de los filtros con intervalos de medición procurando obtener un porcentaje de error menor al 1.5% (Ver ecuación 11).

**Ecuación 11. Cálculo error relativo**      
$$e\% = \frac{p1-p2}{p1} * 100 = e\% \leq 1.5\%$$

Luego de obtener el porcentaje de error relativo el dato que se tomó como peso inicial o final de cada filtro fue p1 (Ver anexo 11).

#### **4.6.1. Cadena de Custodia Filtros de Cuarzo**

La adecuación de los filtros de cuarzo donde se tomaron las muestras de PM<sub>10</sub>, diariamente, tras su recolección eran doblados primero desde el lado más largo y terminando por el lado más corto, acto seguido fueron almacenados en bolsas ziploc y sobres de manila, donde en la parte exterior de cada sobre se registró la fecha de recolección del filtro con su respectiva numeración (impar para la localidad de Ciudad Bolívar y par para Los Mártires), adicionalmente se manejó una cartera de campo donde se incluían registros de número de filtro, registro de horómetro, responsable y observaciones de ser el caso para cada jornada de recolección (Ver anexo 12).

#### **4.7. Muestreo Material Particulado**

Para realizar el muestreo de material particulado las muestras fueron recolectadas diariamente a las 7:00 AM con una diferencia máxima de 15 minutos, esto con el fin de asegurar que el tiempo de muestreo realmente fuese 24 horas y cumpliendo con un procedimiento para la recolección del filtro (Ver anexo 13).

Para transportar los filtros se utilizó una nevera para mantenerlos a 6°C según lo recomendado por CLIMA [58]. Los filtros fueron pesados en el CTAS de la Universidad de La Salle bajo las mismas condiciones y protocolos de calidad mencionados para la selección y preparación de los mismos.

#### **4.8. Análisis de Laboratorio**

##### **4.8.1. Análisis para PM<sub>10</sub>**

En el CTAS se llevó a cabo la determinación gravimétrica para hallar la concentración de material particulado, por otra parte, el análisis de los filtros para hallar la concentración de metales pesados se llevó a cabo en el LIAC siguiendo las recomendaciones indicadas por este laboratorio en cuanto a la entrega de las muestras.

##### **4.8.2. Análisis gravimétrico**

Para realizar el análisis gravimétrico de los filtros se tuvieron en cuenta los valores obtenidos en el pesaje inicial y final de cada uno de ellos, luego se procedió a calcular la concentración de material particulado.

Estos pesajes se realizaron en el cuarto de pesaje del CTAS bajo las condiciones mencionadas siguiendo las recomendaciones dadas en la metodología IO 3.1 de la USEPA (Ver fotografía 2).

**Fotografía 2.** Pesaje de filtros impactados en balanza analítica del CTAS



**Fuente.** Elaboración propia

Para obtener la concentración de material particulado se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- Cálculo para hallar el caudal corregido

**Ecuación 12. Caudal corregido**

$$Q_{\text{corregido}} = Q_m * \frac{100 - \% \text{promedio obtenido de la calibración}}{100}$$

- Cálculo para hallar el caudal estándar

**Ecuación 13. Caudal estándar**  $Q_{\text{std}} = Q_{\text{corregido}} * \frac{T_{\text{std}} * T_a}{P_{\text{std}} * P_a}$

- Cálculo para hallar el volumen estándar

**Ecuación 14. Volumen estándar**  $V_{\text{std}} = Q_{\text{std}} * t * 60$

- Cálculo para hallar la concentración de material particulado

**Ecuación 15. Cálculo concentración PM<sub>10</sub>**  $C_{\text{pm}} = \frac{W_f - W_i}{V_{\text{std}}} * 1000000$

**4.9. Determinación de las concentraciones de cromo**

Los metales presentes en el material particulado se analizaron utilizando la metodología de la USEPA para el análisis de contaminantes inorgánicos en el aire (método IO 3.5) el cual se basa en la determinación de elementos traza por

plasma de acoplamiento inductivo/ espectrómetro de masas ICP/MS, este se desarrolló en el LIAC de la Universidad de La Salle.

Durante el desarrollo de este procedimiento se realiza una digestión ácida de los filtros utilizando ácido clorhídrico al 5,55% y ácido nítrico al 16,75%, previo a esta digestión se realiza un corte a cada uno de los filtros y una filtración antes de ser llevados a un espectrómetro compacto de emisión ICP ICAP 6300.

Para hallar los valores de las concentraciones en cada uno de los filtros analizados se utilizó la Ecuación 16.

**Ecuación 16. Cálculo concentración de cromo** 
$$C(m) = \frac{Cl(m)*Wf}{Vstd}$$

#### **4.10. Bioaerosoles**

##### **4.10.1. Cuantificación de Colonias**

Para la realización del conteo de unidades formadoras de colonia, previamente se tomó registro fotográfico luego de pasado el tiempo incubación, acto seguido se separaron por medio de cultivos donde se realizó el conteo de forma manual por el revés de cada una de las cajas de Petri usando la técnica de conteo directa. El conteo fue necesario para poder hallar la concentración de microorganismos para cada uno de los puntos de muestreo en términos de UFC/m<sup>3</sup> (Ver ecuación 17).

##### **Ecuación 17. Cálculo concentración UFC**

$$\frac{UFC}{m^3} = \frac{Unidades\ formadoras\ de\ Colonia}{Volumen\ de\ aire\ Muestreado}$$

##### **4.10.2. Identificación de microorganismos**

Para la identificación de los microorganismos se usaron los siguientes medios de cultivo Sabouraud Dextrose Agar, Sangre agar y Eosin Methylene Blue Agar considerados como ideales para recuperar gran población de microorganismos. Estos fueron incorporados en el equipo MAS-100 ECO el cual mediante succión absorbe material de interés para el estudio.

Al final de los muestreos se obtuvieron 432 cajas de Petri en total para los dos medios, posteriormente se dejaron 48 horas en incubación se seleccionaron las colonias a conveniencia para el estudio y se identificaron los microorganismos en

el laboratorio de microbiología de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca utilizando el método API.

#### **4.10.3. Identificación de microorganismos correspondientes a bacterias**

La identificación de bacterias se hizo teniendo en cuenta tres aspectos que son las características macroscópicas, microscópicas y bioquímicas, dichos aspectos se consideran clave para la correcta identificación microbiana.

Las cajas de medio PCA fueron las seleccionadas para el aislamiento de unidades formadoras de colonia (UFC) con características macroscópicas típicas de bacterias, ya que componentes como levadura, triptona y glucosa proporcionan los nutrientes para el desarrollo metabólico apropiado de los microorganismos [60].

Para la selección macroscópica de las colonias se tuvo en cuenta aspectos como el diámetro, color, textura y forma, los cuales dan lugar a una orientación básica sobre el microorganismo presente en el medio. Determinados dichos aspectos se procedieron a realizar el aislamiento masivo con asa redonda en agar Sangre y Agar con Eosina y Azul de Metileno (EMB). Estos medios se incubaron durante 24 a 48 horas a 37°C y pasado este tiempo se retiraron con el fin de realizar el paso correspondiente a identificación microscópica [60]

La fase de microscopía para identificación bacteriana se basa en la coloración de Gram, esta 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 teniendo en cuenta los componentes de la membrana como el Peptidoglicano (PEP); en bacterias Gram positivas el PEP en la membrana se encuentra en mayor proporción a diferencia de las Gram negativas que adicionalmente cuentan con una pared de mayor tamaño. La tinción comprende cuatro colorantes que son Cristal violeta, Lugol, Alcohol y Fucsina [61].

La coloración se realizó en el orden ya mencionado y con intervalos de tiempo correspondientes a 2 minutos, 1 minuto, 30 segundos y 1 minuto. El Cristal violeta es el colorante que penetra la pared celular e ingresa a formar enlaces con el PEP mientras el lugol retiene su ingreso razón por la cual tiñe de violeta las bacterias Gram positivas [61], por otra parte, el alcohol cierra poros en las bacterias ya teñidas y rompe la barrera en las bacterias no teñidas permitiendo finalmente el ingreso de la fucsina dando lugar a la tinción de las Gram negativas. Adicional a la diferencia de color es posible observar formas

equivalentes a Cocos, Bacilos y Cocobacilos. La observación se hizo con objetivo de 100x y aceite de inmersión.

Obteniéndose la forma y coloración del microorganismo se procedió a realizar el aislamiento por agotamiento con asa recta en medio Sangre para microorganismos Gram positivos y EMB para Gram negativos; con el fin de conseguir UFC bien delimitadas y dar lugar al montaje de las pruebas API.

Este sistema de identificación automatizado cuenta con 20 cúpulas y cada una de estas posee un sustrato diferente que dependiendo el metabolismo del microorganismo usará o no; esta reacción da como resultado cambio de color considerándose este como positivo [60].

Para la siembra del microorganismo es necesario hacer previo 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. Cabe destacar que algunas cúpulas requieren reactivos para su revelado como Kovacs, VP<sub>a</sub>, VP<sub>b</sub> y ADH. El periodo de incubación fue de 18 a 24 horas.

#### **4.10.4. Identificación de hongos**

La identificación de microorganismos fúngicos se hizo mediante macroscopía y microscopía ya que a la visualización con objetivo de 40x es posible evidenciar estructuras distintivas entre géneros y especies. El medio Sabouraud permitió la recuperación de diversos hongos predominantes en el medio ambiente, la selección de estos se hizo teniendo en cuenta las colonias por el anverso y el reverso de las cajas. Como criterio de exclusión se tuvo que algunas colonias estaban contaminadas por otras y algunas se repetían con bastante frecuencia en las cajas muestreadas.

Macroscópicamente se tuvo en cuenta aspectos como el diámetro, color, textura, anverso y reverso de las cajas, los cuales brindan una orientación hacia el posible hongo a identificar, nuevamente se realizó siembra de las colonias seleccionadas a medio Sabouraud pero delimitando la zona de la cual se tomó la muestra procurando que fuera el centro del hongo ya que estos crecen radialmente.

Las cajas se incubaron durante 5 días en un rango de temperatura entre 20 a 25°C. Pasados estos días se retiraron de la incubadora para realizar el montaje en fresco y hacer posible la visualización al microscopio.

Para la observación microscópica se usó el colorante azul de lactofenol que tiñe las estructuras micóticas haciendo visible la presencia de hifas, conidias, fiálides, entre otras. Este colorante se encuentra compuesto por tres soluciones que son el fenol actuando como inhibidor de flora acompañante; más específicamente bacterias, ácido láctico que conserva las estructuras ya que estas son susceptibles a la manipulación con las asas y finalmente el azul de algodón que tiene afinidad principalmente por la quitina, siendo este el componente principal de la pared celular.

El montaje se realizó poniendo una gota de Azul de Lactofenol en una ámينا, sobre este se puso la muestra proveniente del aislamiento y finalmente se sobrepuso una laminilla para generar el montaje en fresco. La visualización microscópica se hizo inmediatamente y con objetivo de 40x. La ayuda de la clave dicótoma para hongos hizo posible la correcta identificación acorde a las estructuras presentes en el montaje.

#### **4.11. Análisis Estadístico**

Para la realización de los análisis estadísticos se usó el software SPSS Statistics con el fin de poder determinar a partir de pruebas, la correlación entre las variables meteorológicas registradas y los datos de concentraciones de material particulado, cromo, y bioaerosoles.

Para empezar se realizó la prueba de normalidad de Shapiro –Wilk teniendo en cuenta que es la más adecuada para el número de muestras, de acuerdo a estos resultados se determinó cual era el coeficiente de correlación más adecuado para los análisis, encontrando así el coeficiente de Pearson para aquellas variables que se ajustaran a una función normal y a una función de probabilidad, por otra parte el coeficiente de Spearman fue el adecuado para aquellas que no se ajustaran a una función normal.

Se debe tener en cuenta que para el análisis estadístico se trabajó bajo un nivel de confianza de un 90% para establecer las correlaciones entre material particulado, Cromo y bioaerosoles, las variables independientes que se manejaron fueron las variables meteorológicas mientras que las dependientes fueron las concentraciones de los contaminantes de interés.

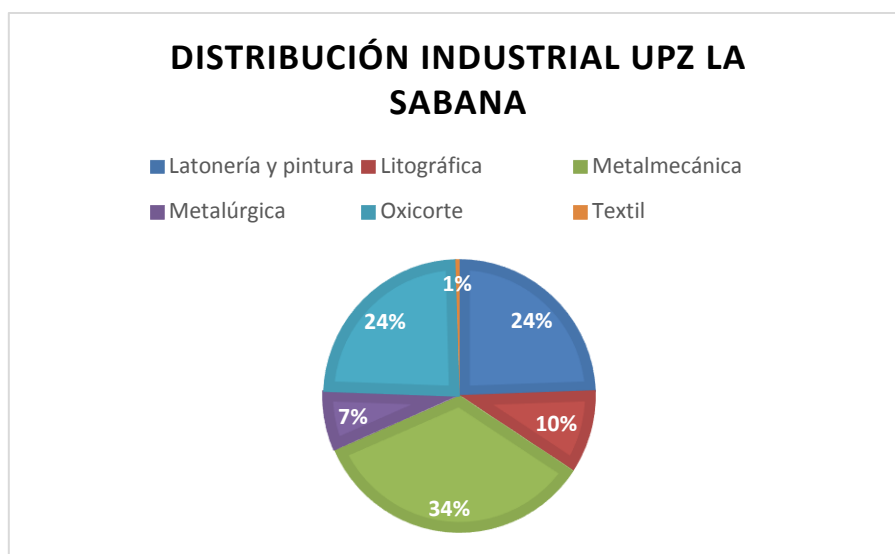
## 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 5.1. Inventario de Fuentes Fijas

#### 5.1.1. Los Mártires (UPZ La Sabana)

La actualización del inventario de fuentes fijas en la UPZ, arrojó como resultado la localización de 487 industrias las cuales mediante su actividad económica son aportadores de cromo o bioaerosoles en sus procesos de producción, siendo el sector dedicado a la metalmecánica el sector con mayor presencia en la UPZ (34%) del total de actividades situadas en esta área, las diferentes actividades que se localizan allí se muestran en el gráfico 6.

**Gráfico 6.** Distribución industrial UPZ La Sabana



**Fuente.** Elaboración propia

Con respecto al total de industrias que se situaron en la actualización realizada, se evidencia la presencia que hace sectores dedicados a la fabricación de productos elaborados de metal (oxicorte) y al mantenimiento y reparación de vehículos automotores (latonería y pintura) cada uno con una proporción del 24%, mientras las industrias dedicadas a las actividades litográficas abarcan el 10% (n=47)

El resultado total de la actualización del inventario de fuentes fijas referente a Los Mártires (Ver anexo 14a), en una zona de influencia de 700 metros alrededor del punto de muestreo, se encontró un total de 228 industrias (Ver tabla 8) correspondientes a la siguiente clasificación:

**Tabla 8.** Inventario de industrias que emiten cromo y bioaerosoles en el área de influencia, UPZ La Sabana

<b>INDUSTRIA</b>	<b>CANTIDAD</b>
Agroindustrial	1
Alimentos	6
Latonería y pintura	1
Litográfica	2
Metalmecánica	148
Metalúrgica	6
Oxicorte	48
Plástico	12
Productos químicos	2
Textil	2
<b>TOTAL</b>	<b>228</b>

**Fuente.** Elaboración Propia

Estas industrias se clasificaron por actividad industrial que puede generar emisiones de cromo y microorganismos al ambiente, además las concentraciones encontradas en esta localidad también son generadas por actividades como quema de basuras por parte de habitantes de la calle. Como se evidencia en el (anexo 14b) y con respecto a la rosa de vientos, el punto de muestreo se ve afectado en su mayoría por industrias ubicadas al nor-occidente de este debido a la dirección y velocidad del viento.

Dentro de las industrias encontradas, 148 son de metalmecánica las cuales generan diferentes tipos de gases y emisiones al ambiente debido a los hornos que utilizan en su proceso productivo, 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. Además, se encontraron 48 industrias de oxicorte emitiendo humos metálicos,

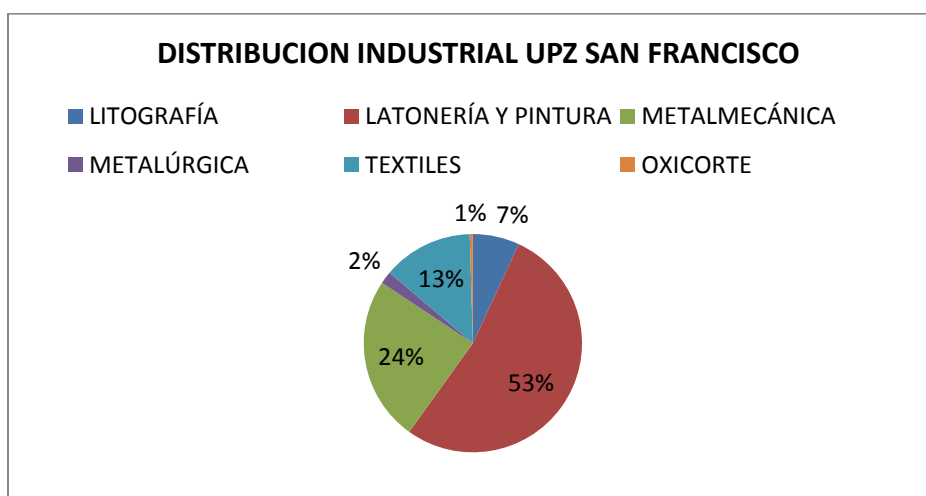
NO<sub>2</sub>, CO y CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y otros gases en general dependiendo del tipo de soldadura [59].

Finalmente se encontraron industrias en menor cantidad, pero con importancia para la medición como las industrias de alimentos y plásticos que generan bioaerosoles en su proceso de desinfección de alimentos y uso de ciertos insumos; las demás industrias encontradas son importantes generadoras de material particulado, sólo que la cantidad de estas, puede que no llegue a ser tan significativa (Ver anexo 14b).

### 5.1.2. Ciudad Bolívar (UPZ San Francisco)

La actualización del inventario de fuentes fijas realizado en la UPZ, evidencia una mayor proporción en la presencia de establecimientos dedicados al sector de latonería y pintura (Ver Gráfico 7) con respecto a los diferentes sectores encontrados en la UPZ y que en su actividad puedan ser generadores de cromo o bioaerosoles. Para la UPZ San Francisco al finalizar el inventario de fuentes fijas se obtuvieron las siguientes actividades industriales:

**Gráfico 7.** Distribución industrial UPZ San Francisco



**Fuente.** Elaboración propia.

La actualización realizada en la UPZ (Ver anexo 15a) arrojó un total de 217 empresas de interés por la presencia y emisión de cromo durante su proceso productivo siendo el sector de latonería y pintura el cual abarca una mayor presencia de establecimientos que emiten cromo durante su operación (53%), por otra parte, los procesos de metalmecánica se encuentran en gran abundancia a lo largo de la UPZ representando el 24% del total de los establecimientos en dicha área.

Con respecto al área delimitada en la UPZ San Francisco donde se llevó a cabo la actualización del inventario de fuentes fijas en un perímetro de 700 metros alrededor del punto de muestreo teniendo en cuenta por revisión bibliográfica que la dispersión de contaminantes se distribuye a lo largo de esta distancia, se identificaron las siguientes actividades industriales (Ver tabla 9).

**Tabla 9.** Inventario industrias que emiten cromo y bioaerosoles en el área de influencia, UPZ San Francisco

<b>INDUSTRIA</b>	<b>CANTIDAD</b>
Latonería y pintura	22
Litográfica	2
Metalmecánica	58
Metalúrgica	23
Plástico	4
Productos químicos	1
Textil	37
Madera	30
Estaciones de servicio	3
<b>TOTAL</b>	<b>180</b>

**Fuente.** Elaboración Propia

En el (anexo 15b) se observa cómo están distribuidas las industrias a lo largo del área, en la parte de Lucero no se encuentran industrias debido a que es zona residencial, mientras que en la parte oriental del mapa se encuentran sólo las curtiembres por su ubicación respecto al río.

Por medio de la actualización se encontró que las actividades con mayor presencia son de metalmecánica, seguidas por la industria textil con 37 establecimientos de los cuales 12 son curtiembres que, además de muchos impactos ambientales que generan a lo largo de su proceso productivo, son grandes aportadores de bioaerosoles por toda la cantidad de materia orgánica presente a lo largo del proceso, seguido de malos olores, emisiones al ambiente de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno (producto de calderos) y compuestos de azufre, cabe aclarar que, por los gases que emite se inactivan muchos microorganismos presentes en el aire [62].

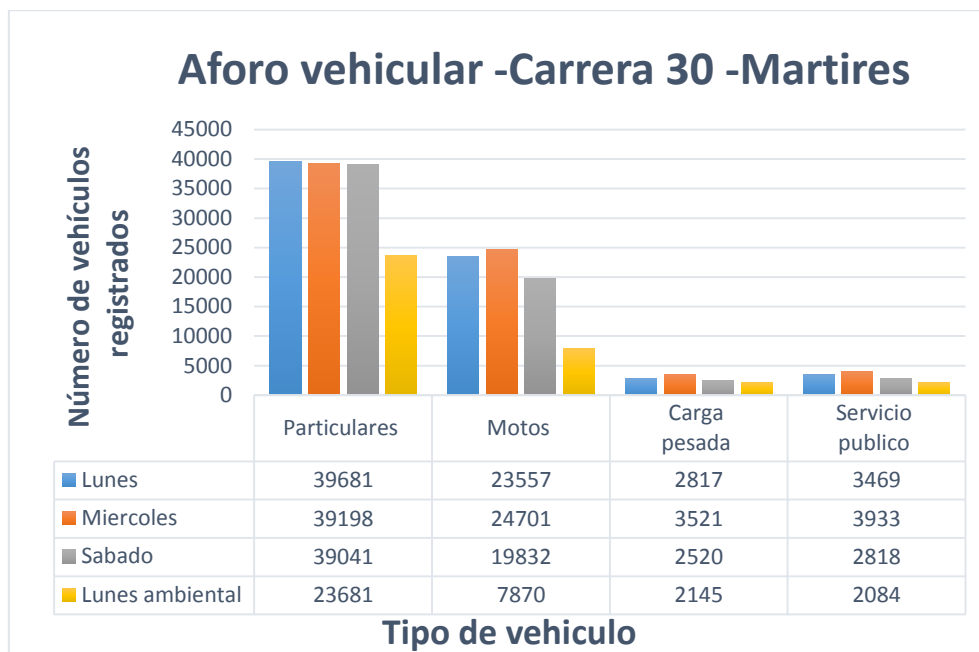
También se encuentran muchas industrias generadoras de material particulado, como latonería y pintura, madera (que, dependiendo de los insumos y del proceso, puede generar emisión de bioaerosoles). En el área de influencia hay 3 estaciones de servicio en las que se está expuesto a gas oíl y naftas, que contienen pequeñas cantidades de benceno, tolueno, xileno y algunas veces cromo.

## **5.2. Inventario Fuentes Móviles**

A continuación, se presentan lo resultados correspondientes al aforo vehicular en inmediaciones a los dos puntos de muestreo, cabe resaltar que para el periodo de tiempo en que se realizó el aforo correspondiente al punto de muestreo en la UPZ La Sabana, la alcaldía dictó como medida de mitigación la implementación del “pico y placa ambiental”, esta medida contemplo en restringir la circulación de vehículos y automotores con placas terminadas en número par desde las 06:00 hasta las 19:30.

Según la información recopilada en el aforo vehicular, en el corredor vial (carrera 30 con calle 13) se observó un comportamiento similar en cuanto el flujo de las diferentes categorías de vehículos durante los tres días seleccionados para la realización del aforo, se pudo evidenciar que el mayor tránsito se debió a vehículos particulares, pues en los tres días su composición fue mayor al 55%, seguido de las motos con una afluencia entre 19000 y 25000 de estos vehículos por día, en una menor cantidad se registró el tránsito de vehículos de carga pesada y de servicio público pero de gran importancia debido al tipo de combustible que usan estas dos categorías y su elevada emisión  $PM_{10}$  (Ver gráfico 8).

**Gráfico 8.** Distribución aforo vehicular Av. Carrera 30

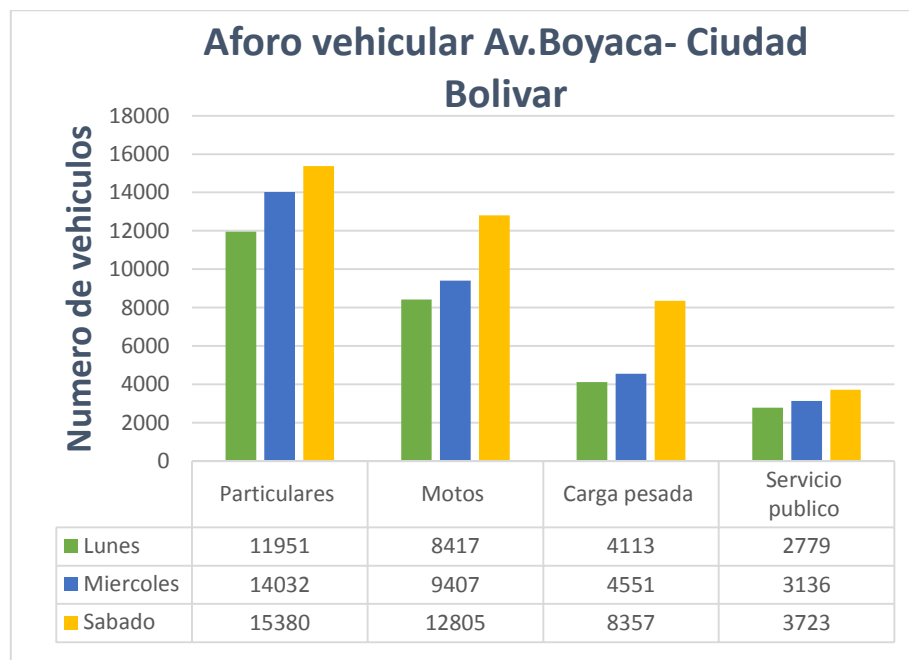


**Fuente.** Elaboración Propia

En cuanto a los datos recopilados, con la medida de mitigación impuesta por la Alcaldía mayor de la ciudad, se observó un descenso significativo en la afluencia de todas las categorías de vehículos (Ver gráfico 9), siendo lo que se esperaba con la medida donde se obtuvo una reducción del tránsito del 52% para vehículos particulares y una reducción del 65% para motos, siendo este último el tipo de vehículo que tuvo una mayor disminución en el tránsito por el corredor vial.

La reducción de los vehículos de carga pesada y de servicio público, mostraron un comportamiento similar en cuanto su reducción y teniendo en cuenta que la mayoría de estos funcionan a base de diésel, se concluye que la medida es óptima en cuanto la reducción de emisiones contaminantes cercanas al punto de muestreo.

**Gráfico 9.** Distribución aforo vehicular Av. Boyacá, Ciudad Bolívar



**Fuente.** Elaboración Propia

El comportamiento del corredor vial de la avenida Boyacá localizada en inmediaciones del punto de muestreo para la UPZ San Francisco, muestra un aumento en la composición de vehículos de carga pesada con respecto al aforo realizado en la carrera 30 con calle 13, este aumento se dio en un 10 y 15% para días laborables y fin de semana respectivamente.

El aumento en la afluencia de vehículos de carga pesada se atribuye a que el día sábado es uno de los días en que se realiza la recolección de basuras con destino al relleno Doña Juana, por tal motivo es el constante tránsito de esta categoría de vehículos en ambos sentidos durante el día, en cuanto a las motos, los factores sociales son los principales actores que podrían incidir en el aumento del tránsito de los mismos debido a que es allí en el sur de la ciudad donde se evidencia que por condiciones de movilidad es uno de los medios de transporte más atractivos para la circulación en estas zonas.

### **5.2.1. Estimación de emisión de material particulado por fuentes móviles**

Para el cálculo del promedio diario del número de vehículos aforados, se realizó una interpolación con los datos registrados en las 6 horas de campaña de muestreo para así obtener un valor aproximado de 24 horas, en el caso de las horas de la madrugada se tomó la mitad del resultado de la interpolación entendiendo que el flujo vehicular disminuye considerablemente (Ver tabla 10 y 11).

**Tabla 10.** Emisión de PM<sub>10</sub> estimada por tipo de vehículo Av. Carrera 30

Tipo de vehículos	Promedio diario (Aforo vehicular)	Velocidad promedio (Km/h)	Factor de emisión (g/Km)	Emisión (Kg/d)
Particulares	117920	25	0,01	707,5
Motos	68090	27	0,22	9706,9
Carga pesada	8858	16,55	1,02	3588,8
Servicio publico	10220	21	0,48	2472,4
<b>TOTAL</b>				<b>16475,6</b>

**Fuente.** Elaboración Propia

**Tabla 11.** Emisión de PM<sub>10</sub> estimada por tipo de vehículo Av. Boyacá

Tipo de vehículos	Promedio diario (Aforo vehicular)	Velocidad promedio (Km/h)	Factor de emisión (g/Km)	Emisión (Kg/d)
Particulares	35956	25	0,01	215,7
Motos	33060	27	0,22	4713,1
Carga pesada	28494	16,55	1,02	11544,2
Servicio publico	24059	21	0,48	5820,4
<b>TOTAL</b>				<b>22293,4</b>

**Fuente.** Elaboración Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar la estimación de la emisión por tipo de vehículo en cada uno de los puntos aforados, se encontró de acuerdo con el gráfico 9, que el tipo de vehículo que más aporta material particulado en el punto ubicado en la Carrera 30 son las motos, por otra parte, en el caso del punto ubicado en la Av. Boyacá, el tipo de vehículo que más aporta son del tipo carga pesada.

Comparando las estimaciones del aporte de material particulado estimado entre la Carrera 30 y la Avenida Boyacá, se encontró que las emisiones en la Avenida Boyacá superan en un 26% a las emisiones calculadas para la Carrera 30 (Ver gráfico 10), esto se debe principalmente a que en la Avenida Boyacá circula una mayor cantidad de vehículos del tipo carga pesada, el cual, por las características del funcionamiento de su motor y el consumo del tipo de combustible genera una mayor cantidad de emisiones.

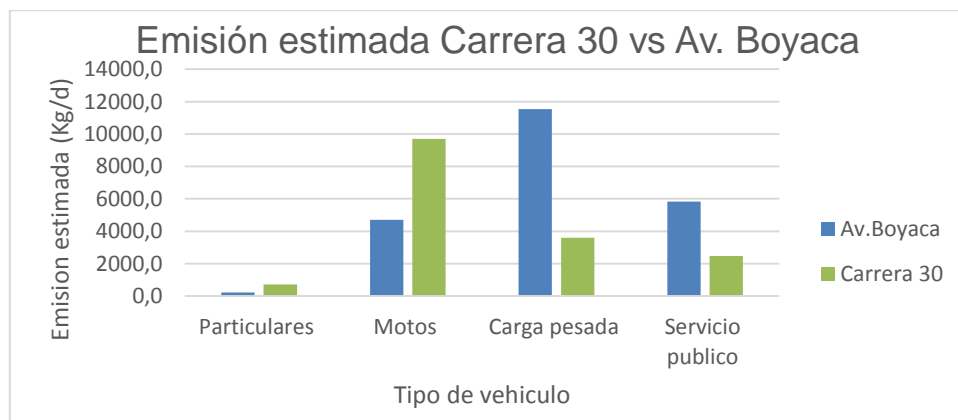
Diferentes informes de la secretaría distrital de ambiente han corroborado la carga contaminante que tienen los vehículos sobre la calidad del aire, como es el

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<sub>10</sub> del aire de Bogotá [63].

La investigación realizada por Giraldo y Beheretz (2006), donde se realizó el inventario de fuentes móviles en la ciudad de Bogotá, obtuvieron como resultado que el 50% de las emisiones de PM<sub>10</sub> fueron emitidas por la flota de buses de servicio público [64], sin embargo, la comparación con la presente investigación fue que en la zona de influencia al punto de muestreo de la UPZ La Sabana, las emisiones fueron producto de la circulación de motos mientras que en Ciudad Bolívar las emisiones se atribuyeron a los vehículos de carga pesada.

Estudios más reciente como Peñalosa (2010) calcularon las emisiones de contaminantes al aire, donde los resultados para PM<sub>10</sub> mostraron que la flota de transporte público generó el 47,93% de las emisiones totales en Bogotá, ambas investigaciones concluyeron que la flota de servicio público era la responsable de la mayoría de emisiones referentes al PM<sub>10</sub> en la ciudad, difiriendo con los resultados obtenidos por la presente investigación, sin embargo, hay que resaltar que para la fecha, no se había cumplido con el reemplazo de la flota de buses y busetas obsoletas por el Sistema Integrado de Transporte Publico (SITP), además, otro factor importante fueron las emisiones calculadas a lo largo de la ciudad, mientras que ésta investigación solo tomó en cuenta corredores viales cercanos a los puntos de muestreo [65].

**Gráfico 10.** Distribución emisiones estimadas Av. Carrera 30 vs Av. Boyacá



**Fuente.** Elaboración Propia

Se realizó el cálculo de las emisiones estimadas para el día en que se implementó la medida de “pico y placa ambiental” y se encontró que las emisiones estimadas se reducen en un 76%, al igual que el día sin ninguna restricción, el tipo de vehículo en el cual se observa una mayor reducción de la cantidad de material particulado generado son las motos sin embargo estas

siguen siendo el tipo de vehículo que más emisiones aporta a la atmósfera para el punto ubicado en la Carrera 30, concluyendo así la efectividad de la medida en cuanto a la reducción de partículas contaminantes liberadas al ambiente (Ver tabla 12).

**Tabla 12.** Estimación emisiones de PM<sub>10</sub> con medida de pico y placa ambiental

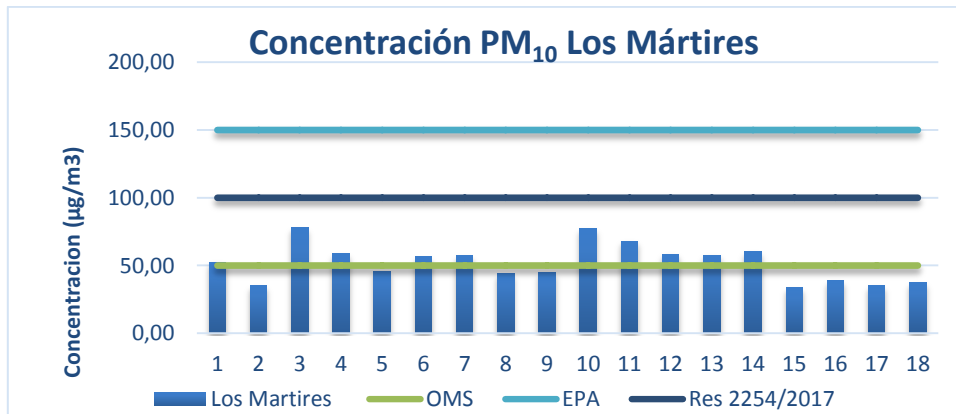
Tipo de vehículos	Promedio diario (Aforo vehicular)	Velocidad promedio (Km/h)	Factor de emisión (g/Km)	Emisión (Kg/d)	Reducción
Particulares	35521	25	0,01	213,1	70%
Motos	11805	27	0,22	1682,9	83%
Carga pesada	3217	16,55	1,02	1303,5	64%
Servicio publico	3126	21	0,48	756,2	69%
<b>TOTAL</b>				<b>3955,8</b>	<b>76%</b>

Fuente. Elaboración Propia

### 5.3. Resultados Monitoreo Atmosférico

Utilizando la metodología descrita se halló la concentración de material particulado PM<sub>10</sub> para cada uno de los puntos de muestreo (Ver gráfico 11 y 12) y estos fueron comparados con la norma nacional (Resolución 2254/2017) y con las concentraciones recomendadas por otras instituciones como la EPA y la OMS.

**Gráfico 11.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> Colegio San José, UPZ La Sabana

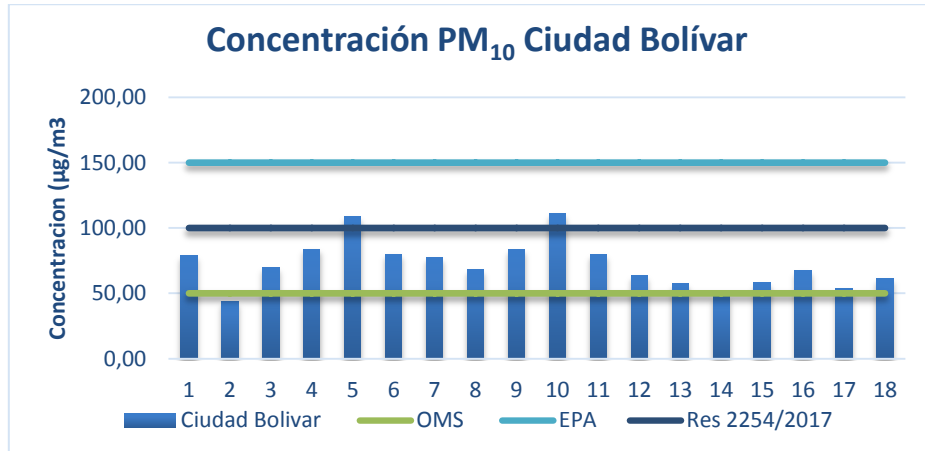


Fuente. Elaboración Propia

De acuerdo con los valores obtenidos en el punto de monitoreo ubicado en la localidad de Los Mártires, se encontró que ninguno de ellos supero los valores establecidos en la norma nacional o la EPA, sin embargo, comparado con las

recomendaciones establecidas por la OMS, el 55,5% de ellos supera el valor recomendado. Por otra parte, teniendo en cuenta los días en los cuales se realizó el monitoreo atmosférico, se encontró que los lunes corresponden a los días con mayor concentración de PM<sub>10</sub>, mientras que los domingos corresponden a los días con menor concentración, esto se puede explicar ya que en los domingos disminuye la actividad de algunas industrias en la zona, así como también el número de vehículos que transitan por los principales corredores viales disminuye.

**Gráfico 12.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> Colegio Cofraternidad de San Fernando, UPZ San Francisco



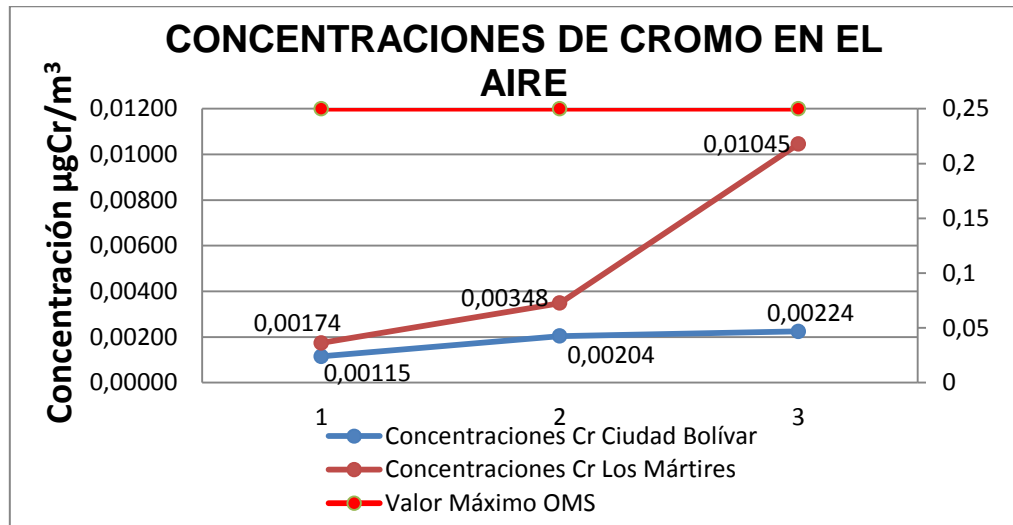
**Fuente.** Elaboración Propia

Por otra parte, en el punto de monitoreo ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar se encontró que el 11% de las muestras superan el valor máximo permisible establecido en la normatividad colombiana y el 89% de ellas superaron los valores recomendados por la OMS, no obstante, ninguna de ellas supero las concentraciones establecidas por la EPA.

#### 5.4. Resultados de las Concentraciones de Cromo en el Aire

A continuación, se presentan las concentraciones de Cromo contenidas en el material particulado de las UPZ La Sabana y San Francisco (Ver gráfico 13), estas concentraciones fueron obtenidas de la selección de tres filtros para cada localidad con respecto al peso ganado posterior al muestreo (mínimo, medio y máximo).

**Gráfico 13.** Concentraciones cromo (Cr) UPZ La Sabana y San Francisco



**Fuente.** Elaboración Propia

La única organización que actualmente considera un valor límite recomendado en cuanto las concentraciones de Cromo es la OMS, donde el valor máximo es de  $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin embargo, las concentraciones obtenidas en las dos UPZ no excedió los  $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  siendo muy bajas, pero teniendo en cuenta factores como el tiempo prolongado de exposición al cual está sujeta la población, puede generar efectos adversos en ellos especialmente grupos etarios sensibles.

Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con los resultados obtenidos por Delgado y Ramírez (2014), se encontraron concentraciones máximas y mínimas por estos autores en Los Mártires de  $0,01$  y  $0,004 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, valores similares a los encontrados en esta investigación [66].

Por otra parte, Álvarez Berrio (2014), en su investigación obtuvo valores de concentración de cromo de  $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin embargo, Álvarez cuenta con un punto de muestreo más inmerso hacia el centro de la localidad donde se rodea de un número mayor de establecimientos que emiten este metal al ambiente producto de su proceso productivo [67].

### **5.5. Eventos de enfermedades respiratorias agudas por concentraciones de cromo**

A pesar de que las concentraciones de cromo tienen niveles recomendados por la OMS de máximo  $0,25 \text{mg}/\text{m}^3$  [43], no se presentaron excedencias tanto en la UPZ San Francisco como en la UPZ La Sabana, donde, el valor máximo de concentración de cromo se presentó en la localidad de Los Mártires ( $0,01045$

mg/m<sup>3</sup>) cumpliendo con los niveles máximos permisibles por la normativa nacional y por los niveles de recomendación de la OMS.

En cuanto a la incidencia de eventos correspondientes a enfermedades respiratorias agudas, se consultó el “Boletín integrado urgencias y emergencias en salud pública” para los meses de noviembre y diciembre de 2018 suministrada por las subredes de servicios de salud, teniendo en cuenta que fueron estos los meses donde se procedió con los muestreos de PM<sub>10</sub>, donde, para el mes 11 no se presentaron eventos de brotes de ERA en las localidades sujetas de estudio [68].

Por otra parte, el boletín del mes de diciembre de 2018, a la fecha no ha sido cargado por ninguna de las subredes, por ende, no se cuenta con el total de eventos de ERA registrados para este periodo de tiempo.

Sin embargo, teniendo en cuenta una exposición crónica, es decir, exposiciones por un periodo de tiempo prolongado, se puede evidenciar un efecto tóxico en las personas expuestas, esta exposición depende ya de temas de causalidad como movilidad de las personas, pues, no todas las personas expuestas son residentes de las UPZ de estudio y por tanto los eventos en salud presentados pueden atribuirse a la exposición en las áreas de estudio. Los eventos de ERA a lo largo del año 2018 fueron suministrados por las diferentes subredes de la ciudad de Bogotá (Ver tabla 13).

**Tabla 13.** Número de eventos de ERA informados por localidad, año 2018

MES	CIUDAD BOLÍVAR	LOS MÁRTIRES
	EVENTOS ERA	EVENTOS ERA
ENERO	0	0
FEBRERO	0	1
MARZO	0	2
ABRIL	1	0
MAYO	2	3
JUNIO	1	0
JULIO	0	1
AGOSTO	0	0
SEPTIEMBRE	0	0
OCTUBRE	0	1
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>8</b>

Fuente. [68]

## 5.6. Resultados Bioaerosoles

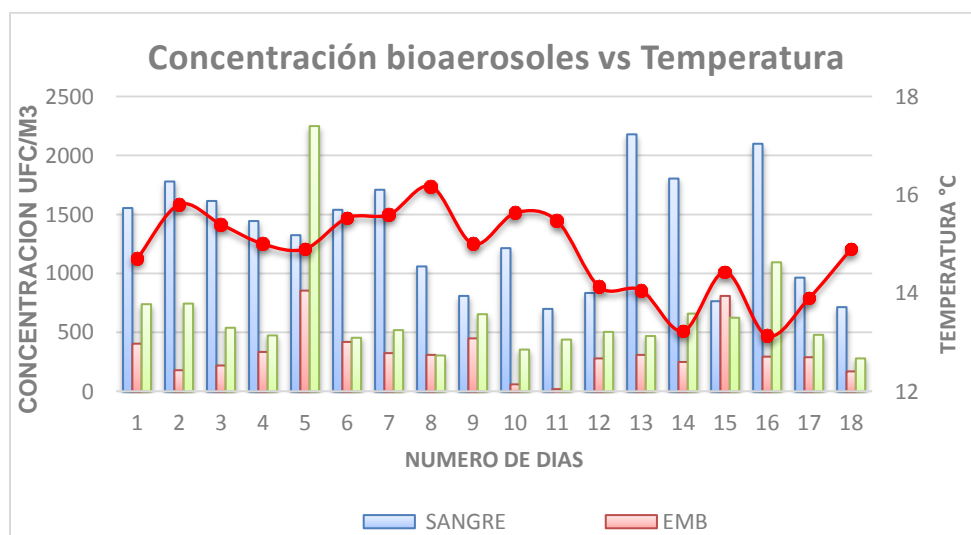
### 5.6.1. Relación de concentraciones de microorganismos expresada en UFC/m<sup>3</sup> con parámetros meteorológicos

El comportamiento de los bioaerosoles, se ve altamente relacionado por la interacción con factores meteorológicos, el asentamiento de zonas urbanas donde se encuentran diferentes tipos de edificaciones, la vegetación y la dinámica atmosférica. Dichos factores alteran la distribución de los contaminantes biológicos causando cambios en su concentración, composición y en su duración de vida en el ambiente.

Por esta razón se realizó un análisis de comportamiento entre los factores meteorológicos y su relación con las concentraciones de bioaerosoles presentes en el aire para cada medio de cultivo, tomando en cuenta las variables meteorológicas necesarias para el estudio (Velocidad del viento, temperatura y humedad relativa), en las diferentes jornadas y durante los 18 días del muestreo.

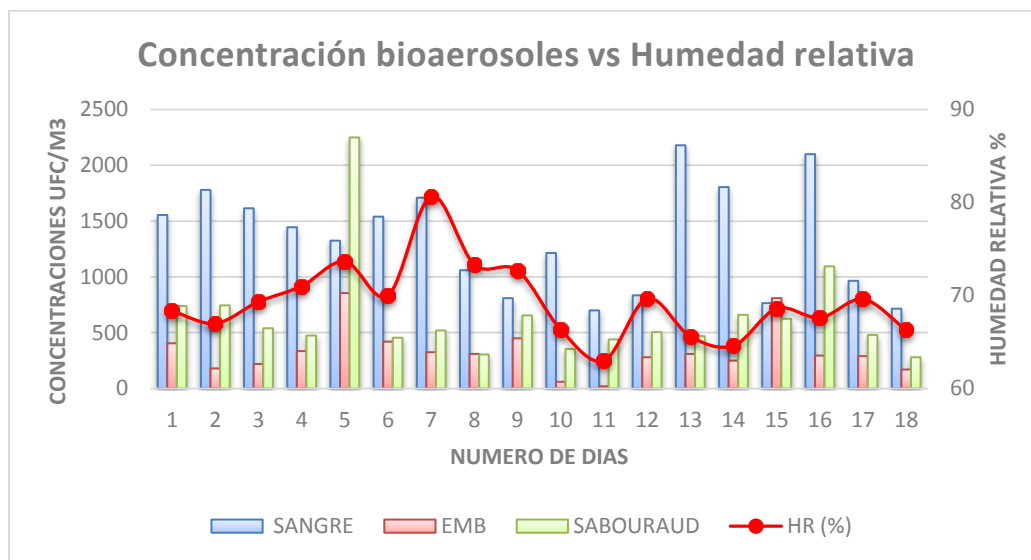
El análisis se realizó con datos tomados de estaciones de calidad del aire de la RMCAB ubicadas dentro y cerca de las localidades (Ciudad Bolívar y Los Mártires), en donde por medio de un promedio aritmético a los datos meteorológicos por variable de las estaciones y el promedio de las concentraciones con su respectiva réplica, se procedió a establecer los análisis de las variables con respecto a las concentraciones de los bioaerosoles.

**Gráfico 14.** Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 1 y temperatura



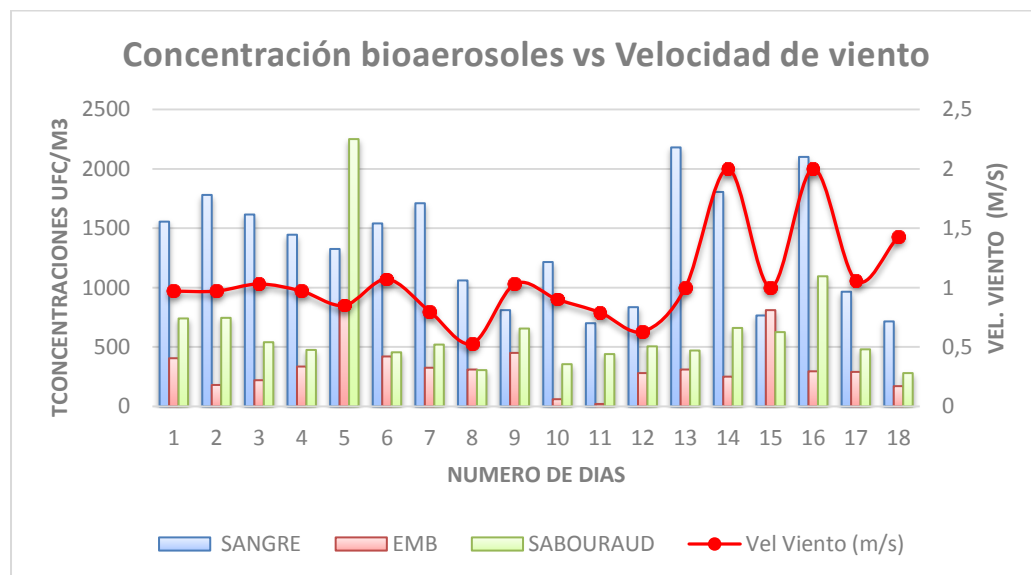
Fuente. Elaboración Propia

**Gráfico 15.** Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 1 y humedad relativa



Fuente. Elaboración Propia

**Gráfico 16.** Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 1 y velocidad del viento



Fuente. Elaboración Propia

Las concentraciones de bioaerosoles obtenidas en la UPZ San Francisco, localidad de Ciudad Bolívar, mostraron un comportamiento diferenciado entre bacterias (agar sangre y EMB) y hongos (Sabouraud agar), siendo las bacterias los microorganismos con mayor presencia en la dinámica atmosférica obteniendo altas concentraciones, donde en el 44% de los días de muestreo se obtuvieron concentraciones superiores a los 1500 UFC/m<sup>3</sup>, estas altas concentraciones se reflejan posiblemente a las características de áreas cercanas al punto de muestreo.

Adicionalmente factores biológicos, climáticos, sociales y geográficos que inciden directamente en la proliferación de estos microorganismos en el aire. Las concentraciones de bacterias en el aire pueden atribuirse en parte a las operaciones unitarias en el proceso productivo en las curtiembres que se encuentran cercanas al punto de muestreo, operaciones como el secado y esmerilado generan residuos de materia orgánica que posteriormente se suspenden y dispersan en el aire de áreas vecinas.

Altas concentraciones de bacterias se presentaron durante los días 13 (2180 UFC/m<sup>3</sup>), 14 (1805 UFC/m<sup>3</sup>) Y 16 (2100 UFC/m<sup>3</sup>), esto debido a bajos niveles de temperaturas durante los mismos días los cuales oscilaban entre los 13° y 14°C, adicionalmente la velocidad del viento durante el mismo periodo de tiempo presentó un comportamiento similar obteniendo valores de aproximadamente 1,7 m/s generando así una muy baja dispersión de microorganismos en el aire, por tanto estos pudieron estar suspendidos durante un largo periodo de tiempo evidenciando así el aumento en la concentraciones de bacterias.

Parámetros meteorológicos como humedad relativa, fueron indispensables en las concentraciones obtenidas, puesto que los valores de este parámetro eran superiores al 64% permitiendo así una mejor estabilidad del microorganismo debido a que valores de humedad relativa superiores al 60% permiten que mayor viabilidad en la concentración de microorganismos [68].

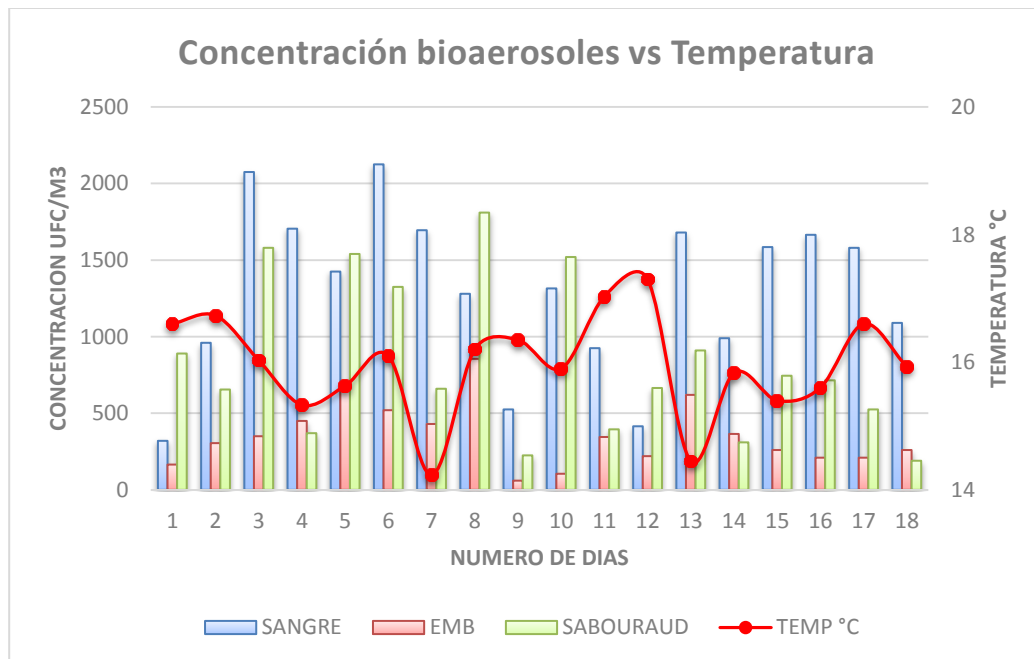
En el caso de las concentraciones mínimas obtenidas para los días 11 y 18 (700 UFC/m<sup>3</sup> y 715 UFC/ m<sup>3</sup>) el comportamiento de las variables meteorológicas como humedad relativa presentaron porcentajes menores (63%) con respecto al resto de días de muestreo, de igual manera el comportamiento de la velocidad del viento para el día 11 presentó la segunda velocidad más baja (0,79 m/s) y para el día 18 una velocidad de (1,43 m/s) lo cual permite evidenciar para esta jornada una relación directa entre las concentraciones obtenidas y la velocidad del viento y rangos medio de temperatura que no suponen un óptimo crecimiento bacteriano.

En cuanto a los hongos, los días en que se obtuvieron mayores concentraciones fueron los días 5 (2250 UFC/m<sup>3</sup>) y 16 (1095 UFC/m<sup>3</sup>), estos valores pueden ser atribuidos al comportamiento de variables como humedad relativa y velocidad del viento en donde la primera se mantiene arriba del 65% mientras que la velocidad

del viento osciló entre 1,0 y 2,0 m/s, condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos fúngicos. Cabe resaltar que la concentración obtenida en el día 5 fue la más alta durante los 18 días de muestreo, tales concentraciones registradas ese día, tiene una relación directa con las concentraciones de PM<sub>10</sub> registradas para el mismo día, pues es importante resaltar que los microorganismos pueden transportarse en el material particulado, adicionalmente para este día se registraron labores de adecuación en pequeñas zonas verdes ubicadas a pocos metros de la institución donde se localizaba el punto de muestreo, este es un posible factor que incidió en la alta concentración de microorganismos fúngicos en ese día.

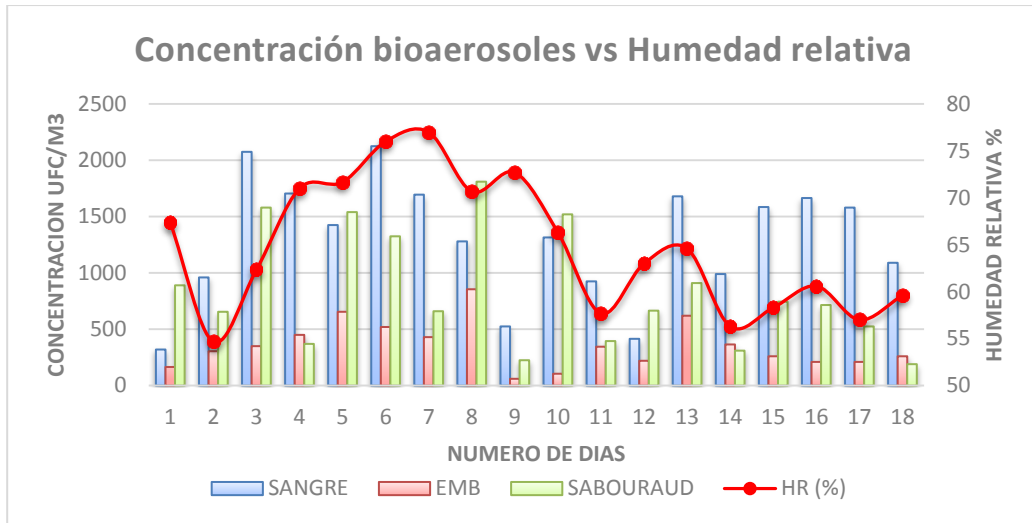
Las bajas concentraciones de microorganismos fúngicos las cuales se presentaron durante los días 10(355 UFC/m<sup>3</sup>) y 18(280UFC/m<sup>3</sup>) pudieron verse afectadas por la dinámica de los vientos registrados en ese mismo periodo de tiempo los cuales pudieron haber generado algún tipo de turbulencia provocando así la dispersión de hongos presentes en el aire, por otra parte, temperaturas registradas en estos mismos días no fueron superiores a los 15°C generando así un ambiente poco viable para los hongos teniendo en cuenta que los rangos de temperaturas para un desarrollo óptimo deberían estar sobre los 22°C [40].

**Gráfico 17.** Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 2 y temperatura



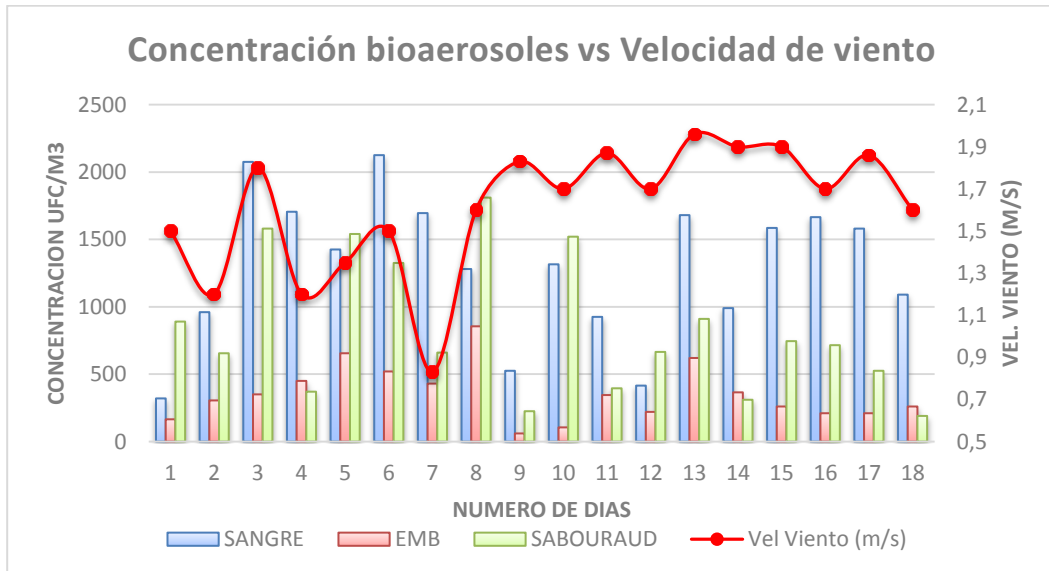
**Fuente.** Elaboración Propia

**Gráfico 18.** Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 2 y humedad relativa



Fuente. Elaboración Propia

**Gráfico 19.** Concentración bioaerosoles UPZ San Francisco jornada 2 y velocidad del viento



Fuente. Elaboración Propia

Durante la segunda jornada en cada uno de los días de muestreo, se tiene que las concentraciones de bacterias, más específicamente para el medio de cultivo sangre agar, continuó presentando altas concentraciones con respecto a las de hongos.

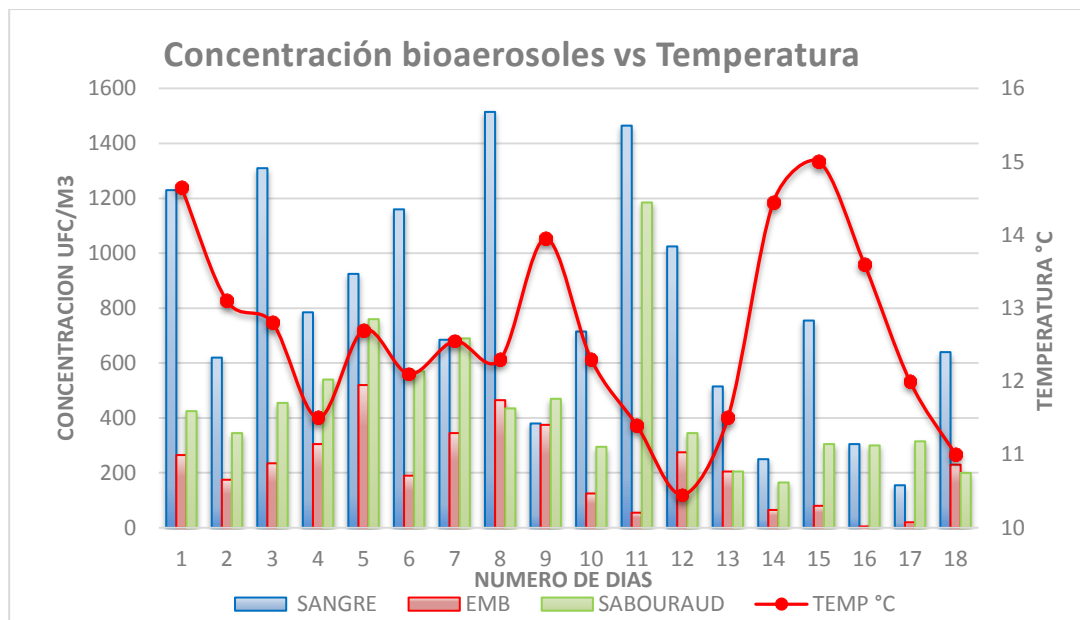
Así mismo, las concentraciones de bacterias diferenciadas en agar EMB fueron las más bajas, primero atribuidas a los nutrientes que se usan en este agar el cual a diferencia del agar sangre permite el crecimiento de otro tipo de bacterias, sin embargo la dinámica de variables meteorológicas tuvieron una relación directa en las concentraciones obtenidas los días 3 (2075 UFC/m<sup>3</sup>) y 6 (2125 UFC/m<sup>3</sup>) donde se registraron valores de humedad relativa por encima del 60%, siendo el día 6 donde se obtuvo el pico más alto de esta variable (76%) y valores de velocidad de viento de 1,5 m/s, generando así condiciones ideales para el desarrollo de estos microorganismos en el aire cercano al punto de muestreo.

En cuanto a las bajas concentraciones de bacterias, específicamente para los días 1 y 12 donde se obtuvieron valores de 320 UFC/m<sup>3</sup> y 415 UFC/m<sup>3</sup> respectivamente y teniendo en cuenta el comportamiento de variables meteorológicas como velocidad del viento para los mismos periodos de tiempo; 1,5 m/s para el día 1 y 1,7 m/s para el día 12, permite establecer la relación que tiene esta variable sobre las bajas concentraciones presentadas, puesto que permite lograr una dispersión de las masas de aire por ende la dispersión de contaminantes, sin embargo, en cuanto a la humedad relativa, se registraron valores por encima del 60% sin encontrar una relación directa entre las bajas concentraciones en los días mencionados y los valores de este parámetro registrados.

Las altas concentraciones de microorganismos fúngicos presentadas en los días 3 (1580 UFC/m<sup>3</sup>) y 8 (1810 UFC/m<sup>3</sup>) fueron posiblemente a consecuencia de la dinámica que tuvo el parámetro de velocidad del viento, valores que oscilaron entre 1,6 m/s y 1,8 m/s y favorecieron la presencia y recuperación de estos microorganismos que pudieron ser a consecuencia de la alta densidad poblacional, puesto que la segunda jornada tuvo un periodo de medición entre las 6:30 pm y las 7:00 pm, es aquí donde la velocidad del viento pudo haber influido en el transporte de microorganismos desde áreas residenciales y vías de gran tránsito vehicular aledañas al punto de muestreo.

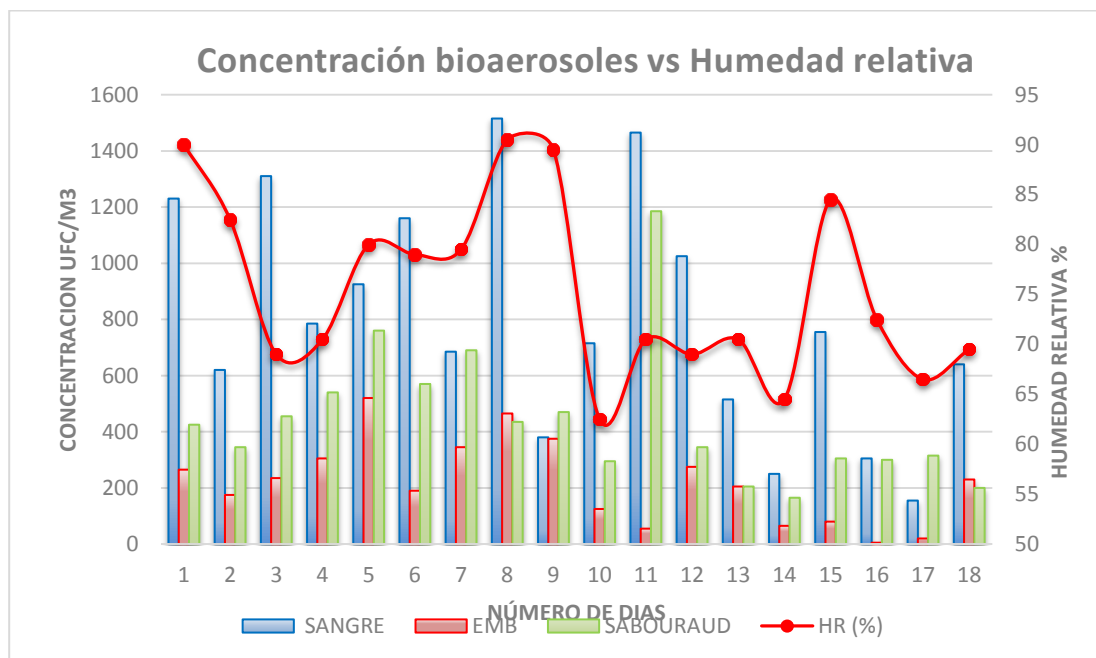
Para los días 9 y 18, se registraron las más bajas concentraciones de hongos 225 UFC/m<sup>3</sup> y 190 UFC/m<sup>3</sup> respectivamente, el causante de la disminución de estas concentraciones con respecto al resto de los días de muestreo, pudo haber sido el poco contenido de bioaerosoles en el material particulado en estas dos jornadas, debido a que en este periodo de tiempo las concentraciones de PM<sub>10</sub> no fueron superiores a 100 µg/m<sup>3</sup>, mientras que con respecto a variables como la velocidad del viento, se observaron valores que no superaron 1,7 m/s, valores que pueden favorecer la dispersión de estos microorganismos.

**Gráfico 20.** Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 1 y temperatura



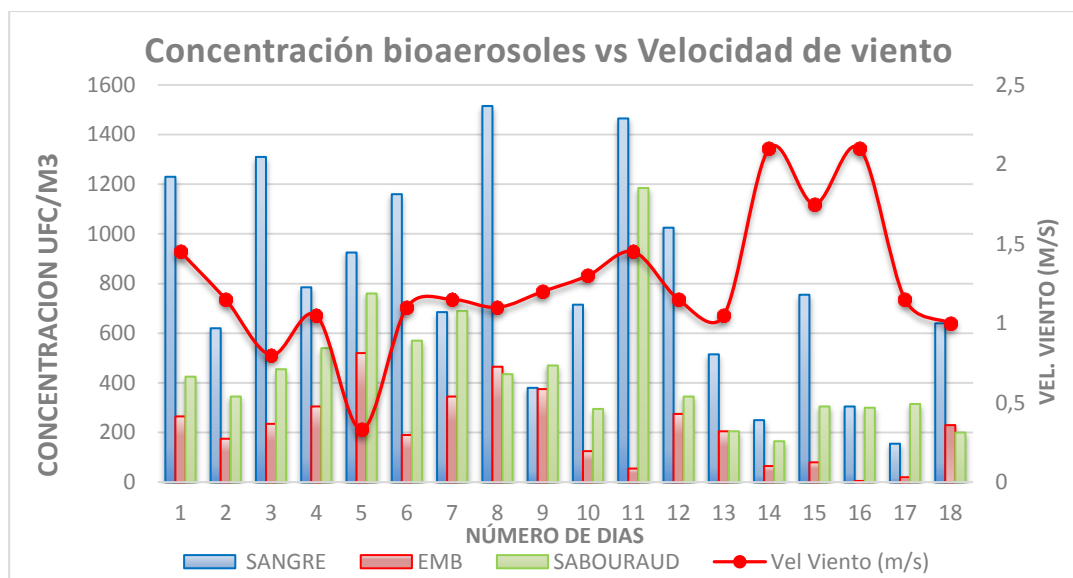
Fuente. Elaboración Propia

**Gráfico 21.** Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 1 y humedad relativa



Fuente. Elaboración Propia

**Gráfico 22.** Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 1 y velocidad del viento



**Fuente.** Elaboración Propia

Al igual que en la UPZ San Francisco, en este punto de muestreo (UPZ La Sabana) se presenta un comportamiento similar en cuanto a las concentraciones de bacterias diferenciadas por el agar EMB el cual es el encargado de la recuperación bacteriana de bacilos Gram negativos lo que representa una menor cantidad de bacterias entéricas a comparación de bacterias de interés clínico recuperadas por el medio Sangre y microorganismos fúngicos diferenciados por el agar Sabouraud, demostrando así una mayor resistencia en las bacterias Gram positivas debido a condiciones celulares como el amplio grosor de su pared celular [69].

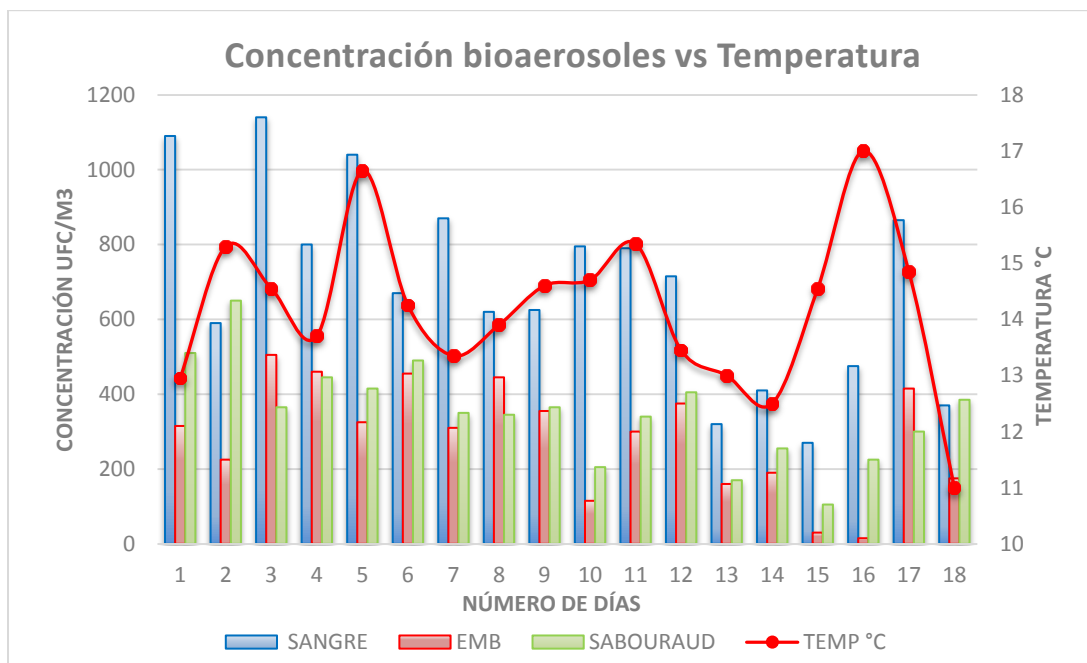
Para este punto de muestreo ubicado en la localidad de Los Mártires, al igual que el punto de muestreo de Ciudad Bolívar, las concentraciones más altas se registraron en las bacterias recuperadas por el agar sangre, donde los días en que se presentaron las mayores concentraciones fueron los días 8 ( 1515 UFC/m<sup>3</sup>) y 11 (1465 UFC/m<sup>3</sup>) valores que pueden ser atribuidos a porcentajes mayores al 65% de humedad relativa registrados para los dos días, donde para el día 8 se evidenció una relación directa entre el porcentaje de humedad relativa (90,2%) y las concentraciones de bacterias registradas.

Los días 14 y 17 fueron los que se presentaron las más bajas concentraciones de bacterias 250 UFC/m<sup>3</sup> y 155 UFC/m<sup>3</sup> respectivamente, dichos valores pudieron verse afectados por condiciones de velocidad de viento favorables en la dispersión de microorganismos donde valores de este parámetro superaron los 2,0 m/s para el día 14, mientras que factores que se vieron directamente relacionados con la disminución de bacterias en el aire fueron un descenso en las temperaturas y una baja concentración del material particulado para este día (35,07 µg/m<sup>3</sup>).

Con respecto a microorganismos fúngicos se encontraron las mayores concentraciones en los días 5 (760 UFC/m<sup>3</sup>) y 11 (1185 UFC/m<sup>3</sup>) donde se encontró una relación entre las concentraciones de hongos y de bacterias presentadas en ese mismo periodo de tiempo, dichas concentraciones pueden ser atribuidas al alto flujo vehicular que se presenta en áreas externas cercanas al punto de muestreo, de igual forma uno de los fenómenos que tuvo incidencia en el aumento de las concentraciones fue la presencia de turbulencia mecánica, donde las corrientes de aire deben realizar esfuerzos cortantes por la presencia de barreras como las edificaciones donde el fenómeno no permite una dispersión sino por el contrario una recirculación en este caso de los microorganismos presentes en el aire [68].

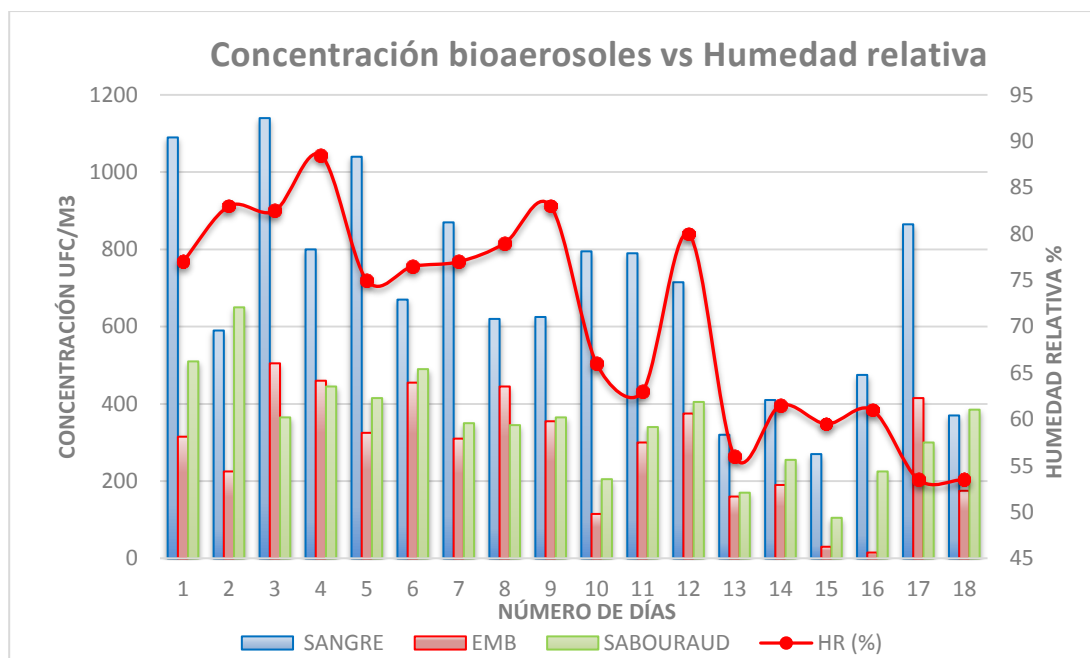
Una disminución en las concentraciones de hongos se presentó durante los días 14 y 18 donde se presentaron densidades microbianas de (165 UFC/m<sup>3</sup>) y (200 UFC/m<sup>3</sup>) respectivamente, velocidades de viento altas durante el día 14 (2,1 m/s) fue una de las principales causas de la disminución de las concentraciones, donde de igual forma se registró la segunda mayor temperatura del total de los 18 días de muestreo, mientras que uno de los factores que influyó en la disminución de hongos durante la jornada 18 fue una baja concentración de PM<sub>10</sub>, relacionando su baja concentración con la poca capacidad de transportar estos microorganismos al no encontrarse una relación directa entre las variables registradas y las concentraciones obtenidas.

**Gráfico 23.** Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 2 y temperatura



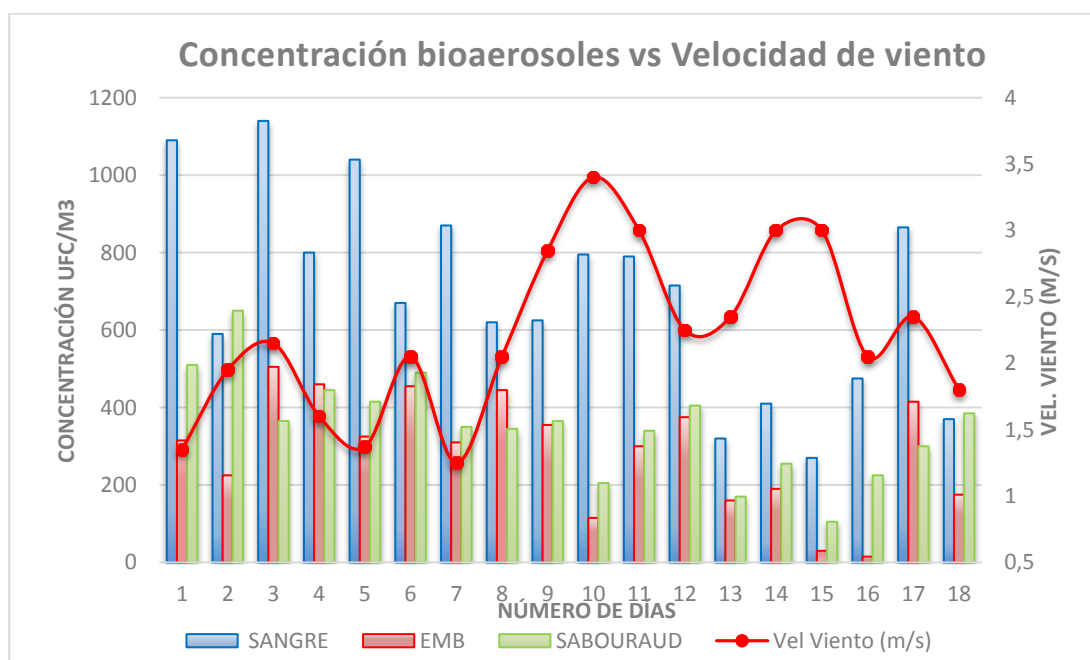
Fuente. Elaboración Propia

**Gráfico 24.** Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 2 y humedad relativa



Fuente. Elaboración Propia

**Gráfico 25.** Concentraciones bioaerosoles UPZ La Sabana Jornada 2 y velocidad del viento



Fuente. Elaboración Propia

Las altas concentraciones de bacterias registradas en la UPZ La Sabana, se presentaron durante los días 1 (1090 UFC/m<sup>3</sup>) y 3 (1140 UFC/m<sup>3</sup>), se observó una relación directa entre estas concentraciones presentadas y el porcentaje de humedad relativa generada en estos mismos periodos de tiempo donde se registraron valores superiores al 75% permitiendo así un aumento en la viabilidad de los microorganismos debido a que estos altos porcentajes de humedad no permiten que los microorganismos se deshidraten.

Adicionalmente el régimen de vientos para estos días influyó de manera directa en que no se presenta una dispersión de los microorganismos presentes en el aire, por otra parte, uno de los factores que pudo haber influido en el aumento de las concentraciones de bacterias fue que para el día tres también se obtuvo la mayor concentración de PM<sub>10</sub> (77,94 µg/m<sup>3</sup>) teniendo en cuenta la capacidad que tienen los microorganismos de transportarse en el material particulado.

Durante los días 13 y 15 se presentaron los más bajos niveles de concentraciones de bacterias 320 UFC/m<sup>3</sup> y 270 UFC/m<sup>3</sup> respectivamente, donde son principalmente atribuidas a que en estos días se obtuvieron porcentajes de humedad relativa inferiores al 60% debido a que porcentajes entre el 40 y 60% de HR no permiten que el aire contenga el suficiente vapor de agua para el desarrollo de los microorganismos derivando así en una disminución en su concentración en especial para el caso de bacterias, las cuales requieren de porcentajes superiores al 65% de HR [69, 60].

Por otra parte, la disminución en las concentraciones de microorganismos para estos periodos de tiempo se debe a las altas velocidades del viento puesto que el día 13 presentó una velocidad de 2,35 m/s mientras que para el día 15 fue de 3,0 m/s contribuyendo en la dispersión de estos.

En el caso de los microorganismos micóticos, se presentaron las más altas concentraciones durante los días 1 y 2 obteniendo valores de 510 UFC/m<sup>3</sup> y 650 UFC/m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta la hora en la que se realizó el muestreo (7:00 pm) donde se genera un alto flujo vehicular en el corredor de la carrera 30 con calle 13 el cual se encuentra en inmediaciones del punto de muestreo en esta UPZ, este es uno de los posibles factores que incidieron en el registro de las concentraciones de hongos para los días 1 y 2.

Por otra parte, se encontró una relación directa entre la humedad relativa y las concentraciones de hongos, valores registrados de HR para los días 1 y 2 fueron de 77% y 83% respectivamente, porcentajes que favorecen la proliferación de microorganismos fúngicos en el aire. Las concentraciones registradas para estos días pudieron estar asociadas a fenómenos como turbulencia mecánica causada por el flujo vehicular y la alta densidad poblacional.

Las más bajas concentraciones registradas de hongos fueron 170 UFC/m<sup>3</sup> para el día 13 y 105 UFC/m<sup>3</sup> para el día 15, observando la relación directa entre los

porcentajes de humedad relativa los cuales estuvieron por debajo del 60% contribuyendo a la disminución en la viabilidad de estos microorganismos, por otra parte estas bajas concentraciones fueron relacionadas con las velocidades de viento registradas en ambos días las cuales oscilaron entre 2,3 y 3,0 m/s permitiendo una dispersión favorable para la disminución de las concentraciones de hongos.

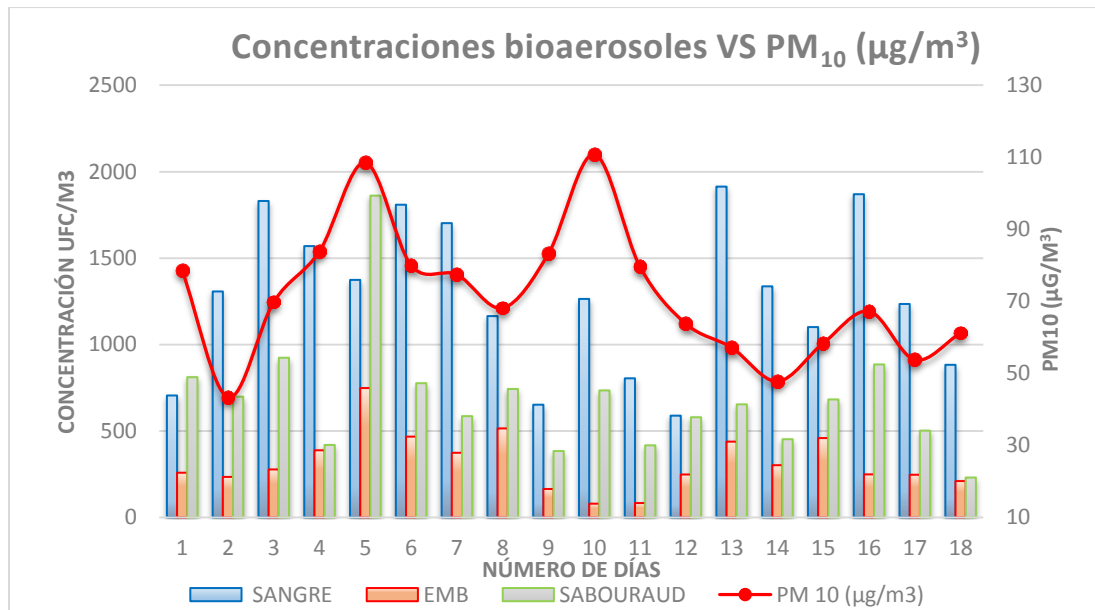
En cuanto al material particulado para el día 15 se registró la menor concentración de  $PM_{10}$  permitiendo observar su relación con las bajas concentraciones de hongos en el aire. Sin embargo, uno de los factores determinantes en la viabilidad de los microorganismos es la temperatura, a pesar que durante los 18 días de muestreo la mayor temperatura registrada fue de  $17^{\circ}C$  esta no alcanza los niveles suficientes para el óptimo desarrollo de hongos en el aire.

## **5.7. Correlaciones con Material Particulado $PM_{10}$**

### **5.7.1. $PM_{10}$ y bioaerosoles**

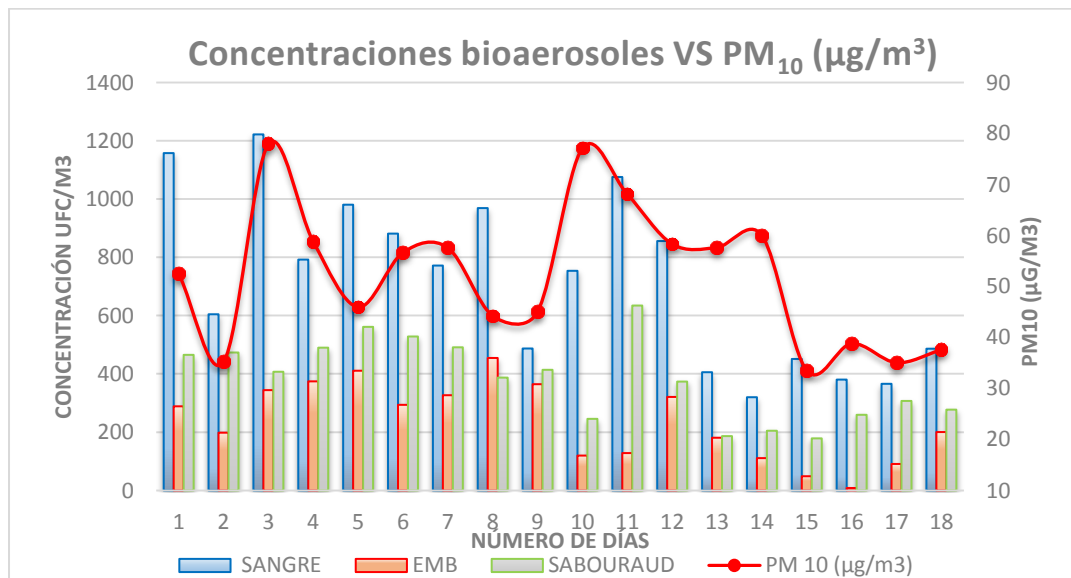
El  $PM_{10}$  es factor importante en la dispersión de bioaerosoles, pues, muchos microorganismos pueden encontrar en estas partículas un medio de transporte aéreo que facilite su movimiento a través del ambiente, en los gráficos 25 y 26 se puede observar el comportamiento de UFC/ $m^3$  promedio de las jornadas 1 y 2 de cada agar para las localidades de Ciudad Bolívar y Mártires, así como la comparación de estas concentraciones respecto a las concentraciones de  $PM_{10}$  para su respectivo día.

**Gráfico 26.** Concentración bioaerosoles vs concentraciones PM<sub>10</sub>, UPZ San Francisco



Fuente. Elaboración Propia

**Gráfico 27.** Concentraciones bioaerosoles vs concentraciones PM<sub>10</sub>, UPZ La Sabana



Fuente. Elaboración Propia

La relación entre las concentraciones de PM<sub>10</sub> y bioaerosoles no muestran un comportamiento continuo a lo largo de las jornadas, esta relación se puede observar durante los días 5 y 16 donde se evidencia el aumento proporcional

entre las concentraciones de ambos contaminantes en la localidad de Ciudad Bolívar, sin embargo, para la localidad de Los Mártires la relación directa se presentó durante cinco días(1,3,6,7,11) donde el aumento de las concentraciones de PM<sub>10</sub> registraron consigo un aumento en las concentraciones para microorganismos selectivos por el agar sangre.

A pesar de que hubo incrementos en las concentraciones de PM<sub>10</sub> no se presentó aumento en las concentraciones de bioaerosoles para los mismos periodos de tiempo lo cual se debe a la influencia de factores meteorológicos y físicos por los cuales se ve afectada la suspensión y dispersión de los bioaerosoles en el aire. Sin embargo, para determinar realmente una correlación se utilizó el método de análisis estadístico, mediante el software IBM SPSS Statistics 25, asumiendo que las concentraciones de bioaerosoles y PM<sub>10</sub> son variables dependientes entre sí, se calculó el coeficiente de Pearson dando como resultado lo presentado en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Correlación PM<sub>10</sub> y Concentraciones de bioaerosoles

<b>Correlación de Pearson (UFC VS PM<sub>10</sub>)</b>		
<b>Agar</b>	<b>Ciudad Bolívar</b>	<b>Mártires</b>
Sabouraud	0,185	0,188
Sangre	-0,26	<b>0,527</b>
EMB	0,13	0,177

**Fuente.** Elaboración Propia

El análisis se realizó aceptando para correlaciones relevantes una significancia del 90% ( $P < 0,10$ ) debido a que con la poca cantidad de datos es difícil trabajar para una significancia mayor. Como se puede observar tanto el agar EMB como el Sabouraud, mantiene una correlación débil pero de baja significancia ( $p < 0,4$ ) en ambos puntos de muestreo, sin embargo un estudio realizado en Brasil estableció una correlación débil ( $R^2 = 0,25$ ) pero altamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre las concentraciones de hongos y PM<sub>2.5</sub> presentes en la atmósfera [70] por lo tanto es posible que un pequeño porcentaje del PM<sub>10</sub> éste compuesto por esporas de hongos o que algunas especies tengan afinidad a ciertos componentes del PM<sub>2.5</sub>.

Es importante mencionar que, aunque el principal objetivo del agar EMB era identificar enterobacterias, de igual manera se presentó crecimiento de especies fúngicas en este medio y por lo tanto al momento del conteo de UFC se consideró tanto la densidad bacteriana como la de hongos.

Respecto al Agar Sangre, si bien se encontró la única correlación aceptada en Los Mártires ( $p < 0,05$ ), para Ciudad Bolívar demostró una correlación inversamente proporcional y poco significativa ( $p > 0,9$ ), es decir que no es posible generalizar una relación entre  $PM_{10}$  y concentración de bacterias y por lo tanto la cantidad de UFC de bacterias debe ser relacionada a otras variables ya sean meteorológicas (temperatura, humedad relativa), por la presencia de otros contaminantes del aire [2, 4] o por la misma composición del  $PM_{10}$  que puede variar notoriamente entre ambos puntos de muestreo.

Estudios realizados por Cruz A. y Jimenez A. (2006) obtuvieron que, el análisis estadístico con el total de datos recopilados de  $PM_{10}$  y bioaerosoles arrojó una correlación inversamente proporcional, resultados que fueron atribuidos a la poca cantidad de datos que se manejaron (tres jornadas diarias durante siete días) [68].

Otras investigaciones como la realizada por Cao, Jiang y Wang (2014) obtuvieron que existe una correlación directa entre las concentraciones de material particulado y microorganismos en el aire, estableciendo que la presencia de bioaerosoles está relacionada con el aumento en las concentraciones de  $PM_{10}$  [70], mientras que Gao, Qiu, Jia y Han (2015), reportaron un impacto directo entre el material particulado  $PM_{10}$  en las concentraciones de hongos durante estudios realizados en días con altos índices de contaminación atmosférica [71] resultados que difieren de los registrados en la presente investigación, donde la única correlación directamente proporcional aunque no tan alta fue con respecto a las concentraciones de  $PM_{10}$  y UFC de bacterias en agar sangre en lo que corresponde a la UPZ La Sabana, con respecto a Ciudad Bolívar la correlación es inversa para el mismo medio de cultivo, sin embargo, hubo una relación directa entre  $PM_{10}$ -hongos y  $PM_{10}$ -enterobacterias aunque relativamente baja.

### **5.7.2. Correlación Variables Meteorológicas y Bioaerosoles (Anexo 16)**

La correlación obtenida de las concentraciones de bacterias con la variable temperatura refleja la relación inversa que hay entre estas dos variables (Ver anexo 16a), arrojando estadísticamente que un aumento en la temperatura no necesariamente resulta en un aumento en las concentraciones de bacterias, sin embargo, una alta significancia en la segunda jornada para agar sangre concluye que los valores registrados en esa jornada están exentos de casualidades; por su parte, la humedad relativa muestra una relación directamente proporcional donde a medida que la humedad relativa del aire aumenta, también lo hace las concentraciones de bacterias, específicamente en el caso de bacterias Gram negativas se cuenta con la mayor significancia alejándose de la probabilidad de que los resultados de las concentraciones hayan sido al azar.

Se observó la correlación de UFC de Agar Sangre con velocidad del viento para la jornada 1 es de (0,273), esto demuestra que para la jornada 1 la dirección es de tipo positivo, siendo así una correlación directamente proporcional con altas probabilidades de que estos resultados se deban al azar por su nivel de significancia bajo, a medida que aumenta la velocidad del viento las concentraciones de UFC aumentan, sin embargo un estudio realizado en el 2017 en Perú estableció una correlación de plano fuerte ( $R^2 = 0,924$ ) directamente proporcional altamente significativa ( $P < 0,003$ ) entre las concentraciones de esporas presentes en la atmósfera y la velocidad del viento [72] por lo tanto es posible que un pequeño porcentaje de esporas de hongos tengan afinidad a ciertos componentes con el Agar Sangre.

Es importante mencionar que el principal objetivo del Agar Sangre era identificar el crecimiento de bacterias, aunque por cuestiones de afinidad algunas especies fúngicas crecieron en el medio y en el momento del conteo de UFC se consideró la densidad bacteriana como la de hongos.

En cuanto a los microorganismos fúngicos, la correlación que se realizó a este agar junto a la temperatura, se observó que, existe una relación inversamente proporcional, sin embargo, el bajo nivel de significancia no hace que la correlación esté exenta de casualidades, pues este tipo de microorganismos muestran una mayor viabilidad a medida que la temperatura aumenta; caso que si ocurre en las correlaciones de las concentraciones de estos mismos microorganismos con la humedad relativa donde, se obtuvo una correlación directamente proporcional y tal como se esperaba, las concentraciones de hongos aumentan a medida que aumenta el porcentaje de humedad en el aire en las dos jornadas de muestreo.

Se obtuvo una correlación de UFC en Agar Sabouraud con velocidad del viento para la jornada 1 de ( $R = 0,195$ ), esto demuestra que para la jornada 1 la dirección es de tipo positivo, siendo así una correlación directamente proporcional con altas probabilidades de que estos resultados se deban al azar por su nivel de significancia bajo, a medida que aumenta la velocidad del viento las concentraciones de UFC aumentan, sin embargo en el estudio de Lima Perú mencionado anteriormente se observó que generalmente cuando la velocidad del viento y la temperatura fueron lo suficientemente altas generando aumentos en las concentraciones de microorganismos fúngicos [73].

Para la jornada 2 la correlación es de dirección de tipo negativa ( $R = -0,094$ ), es decir, inversamente proporcional, cuando aumenta la velocidad del viento disminuye la concentración de hongos, es de fortaleza de plano débil, lo que demuestra una probabilidad muy baja de no obtener estas concentraciones al azar.

Para el caso de la UPZ La Sabana, se obtuvieron correlaciones inversamente proporcionales en las dos jornadas entre las variables meteorológicas medidas con respecto a los tres medios de cultivo excepto la jornada 2 (Ver anexo 16b) en agar sangre, donde, a pesar de que se obtuvo una relación estadística directa, la significancia en esta jornada fue muy baja lo que establece que las concentraciones en ese periodo de tiempo pudieron ser al azar, la menor significancia ( $p < 0,935$ ) se dan en la jornada 2 con las concentraciones de hongos, donde se obtuvo una relación inversa pero con bajas significancias haciendo altamente probable que dichas concentraciones se obtuvieran al azar.

Por el contrario, las correlaciones que se encontraron entre la humedad relativa y las concentraciones de bacterias y hongos, fueron directamente proporcionales en las dos jornadas de muestreo, donde la más alta significancia se registró en las concentraciones obtenidas en la jornada 2 en cuanto a hongos se refiere ( $p < 0,005$ ), era una correlación esperada puesto que anteriormente se ha establecido que un aumento en la humedad relativa genera un ambiente propicio para el desarrollo de microorganismos en el aire y confirma que esta variable es influyente de la viabilidad de los bioaerosoles.

En cuanto a la variable de velocidad del viento se obtuvieron las correlaciones esperadas, puesto que se presentaron valores de tipo negativo lo que infiere disminuciones en las concentraciones de microorganismos a medida que la velocidad del viento aumenta, además, se evidencia que existe una alta significancia donde la mayor de ellas se dio para el agar selectivo de enterobacterias ( $p < 0,001$ ) para una correlación inversa del 70%.

## **5.8. Identificación de microorganismos**

De los 15 bioaerosoles aislados e identificados (8 bacterias, 5 hongos, 2 levaduras), se encontró mayor cantidad de cepas bacterianas respecto a hongos, lo que difiere en estudios realizados previamente (Ver anexo 17).

Karbowska-Berent, Górný, Strzelczyk, Wlazło (2011) sostienen que los microorganismos predominantes en aire ambiente son hongos dado que las esporas fúngicas tienen alta durabilidad ambiental, sin embargo, algunos bacilos Gram positivos han desarrollado mecanismos especializados muy potentes que les permite sobrevivir en circunstancias muy precarias (formación de esporas), generando un alto grado de resistencia al efecto letal del calor, desecación, congelación y alteraciones químicas en comparación a las esporas fúngicas las cuales son poco resistentes al calor [75].

A su vez, la pared celular de las bacterias Gram positivas es más gruesa, está compuesta por varias capas y es bastante compleja lo que ocasiona una mayor resistencia a las variaciones en las condiciones ambientales [69], razón por la cual se evidenció un mayor número de bacterias que de hongos en la identificación realizada.

Dentro de las especies identificadas, no todas han sido reportadas como causantes de enfermedades respiratorias o cutáneas (Ver anexo 17), 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 presentes en tejidos animales, por lo que generalmente se adquiere por alimentos contaminados [76].

Los bacilos Gram positivos encontrados en el estudio se asocian principalmente a infecciones cutáneas, en vías respiratorias superiores, pleopulmonares y bronquiales, como neumonía, sinusitis, empiema, foliculitis y ántrax (anexo 17 y 18), siendo *S. aureus* y *S. epidermidis* los microorganismo de mayor interés, dada su relevancia médica, ya que dentro del género *Staphylococcus* 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 [76]. 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 viabilidad.

Por otra parte los bacilos Gram negativos Acinetobacter baumannii y Ewingella americana son patógenos oportunistas, que rara vez causan infecciones en humanos. Se lograron identificar cinco géneros de hongos, dentro de los cuales *Microsporum* y *Trichophyton* se encuentran asociados a efectos alérgicos y principalmente a la dermatofitosis (infecciones micóticas cutáneas y subcutáneas), la cual puede afectar a la piel y faneras (pelo, uñas) de distintas partes del cuerpo [77].

Los tres géneros restantes están relacionados con enfermedades respiratorias y cutáneas, como la neumonía, sinusitis, bronquitis e infección de nódulos cutáneos (Ver anexo 17 y 18). Dentro de los hongos identificados se encuentra el género *Aspergillus*, el cual se considera el de mayor importancia, dado que las especies pertenecientes a este género producen enfermedad en el ser humano por colonización de las vías respiratorias y posterior aparición de reacciones alérgicas, colonización de cavidades preexistentes o invasión tisular [76].

De los organismos identificados 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, esto se puede atribuir a condiciones ambientales las cuales no fueron favorables para el correcto desarrollo de dicho microorganismo.

## 6. Conclusiones

- El inventario de fuentes móviles permitió establecer que, en el corredor vial Av Boyacá con salida hacia Usme, efectivamente son los vehículos de carga pesada

los que más aportan PM10 al aire, con un tránsito aproximado de 28494 al día, teniendo en cuenta así las consecuencias del uso de diesel como combustible para este tipo de flota vehicular y reflejando así el impacto que trae consigo el transporte de residuos en el caso del relleno sanitario Doña Juana y la localización de industrias cementeras y ladrilleras las cuales tiene como principal vía de acceso la Av. Boyacá hacia el sur generando emisiones de 11,5 ton/día al día en promedio. Mientras que las emisiones generadas en el corredor vial Av. Carrera 30 con calle 13, la flota vehicular más contaminante se debe al tránsito de las motos, pues en esta vía, se evidenció un aporte de emisiones de PM<sub>10</sub> de 10 ton/día aproximadamente, contrario a lo esperado, puesto que, las emisiones generadas por el transporte público en las dos zonas de aforo no fueron superior al total de emisiones de las diferentes flotas vehiculares.

- Es preciso establecer mediante la actualización de los inventarios a lo largo de las dos UPZ, que el sector económico con mayor presencia es el metalmecánico y el de latonería y pintura, pues considerando el aporte de contaminantes de cada industria perteneciente a este sector, pueden verse afectaciones teniendo en cuenta que se emiten concentraciones bajas pero con posibles efectos a la salud de la población por una exposición a largo plazo (cronica).
- Contrario a lo esperado con respecto a los contaminantes biológicos, fueron las bacterias las que presentaron una mayor concentración en el aire de las dos UPZ sujetas del estudio, la presencia de microorganismos micóticos fue inferior a pesar de que las esporas fúngicas tienen una mayor durabilidad en el ambiente, sin embargo, las altas concentraciones de bacterias puede atribuirse a mecanismos que permiten crear resistencia en casi todo tipo de ambiente, esto sumado a las condiciones meteorológicas en las zonas de estudio las cuales mostraron condiciones ideales para la viabilidad de las bacterias.
- Las correlaciones estadísticas de las variables meteorológicas con las concentraciones de bioaerosoles, mostraron que, para los dos puntos de muestreo, influyeron en las concentraciones obtenidas de microorganismos, siendo la humedad relativa y la velocidad del viento variables con mayor importancia para la viabilidad de microorganismos en el aire, estableciendo la relación que hay entre la dinámica de las variables meteorológicas y las condiciones óptimas requeridas por los microorganismos.
- No es posible establecer una relación directa entre las concentraciones de cromo obtenidas y las enfermedades respiratorias, en gran parte por la falta de información de las subredes de servicios en salud y por las bajas concentraciones de cromo contenidos en el material particulado de las dos UPZ.

- La amplia presencia que se esperaba encontrar de bacterias como *Staphylococcus* y *Streptococcus* no se presentó, sin embargo, se encontraron familias del género *Staphylococcus* (*S. Aureus* y *S. Epidermidis*), a este tipo de bacterias se atribuye con mayor frecuencia enfermedades en el ser humano. Dentro de las familias de hongos, se encontró presencia en el aire del género *Aspergillus*, de gran relevancia dada la capacidad que tienen este tipo de hongos de producir enfermedades en los seres humanos, específicamente en grupos sensibles por la capacidad que poseen estos microorganismos de colonizar las vías respiratorias, donde, a pesar que estas cepas de hongos no se presentaron en grandes concentraciones, basta con una corta exposición a estas cepas patógenas para que se presenten afecciones en las personas expuestas de las dos UPZ.

## 7. Bibliografía

- [1] Informe De La Calidad Del Aire en Colombia 2017. (2018). 1st ed. [ebook] Bogotá D.C.: IDEAM. Available at: [http://www.andi.com.co/Uploads/Informe\\_ECalidadI\\_Aire\\_2017\\_636748401757382604.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Informe_ECalidadI_Aire_2017_636748401757382604.pdf) [Accessed 21 Apr. 2019].
- [2] M. Montoya Rendón, P. Zapata Saldarriaga and M. Correa Ochoa, "Contaminación Ambiental por PM<sub>10</sub> Dentro y Fuera del Domicilio y Capacidad Respiratoria en Puerto Nare, Colombia", *Revista De Salud Pública*, vol. 15, no. 1, 2013. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v15n1/v15n1a10.pdf>. [Accessed 21 April 2019].
- [3] L. Wang LI, O. Simmons and E. Wheeler, "Air quality education in animal agriculture", 2012.
- [4] G. Nordberg, "Metales: Propiedades Químicas Y Toxicidad", In *Enciclopedia De Salud Y Seguridad En El Trabajo*, 3RD ED., F. Sunderman, ED. 2011, PP. 5-39.
- [5] Martha Jimena Bayona Orozco, "Diagnóstico De Los Aspectos Físicos, Socioeconómicos Y Demográficos", Secretaria De Planeación Bogotá, 2009.
- [6] Penagos Collo, C., Suarez Salas, M., Forero, N., Gordillo S., A., & Vargas S., C. (2018). *diagnóstico de los principales aspectos territoriales, socioeconómicos, demográficos y de infraestructura localidad ciudad bolívar* [ebook] (pp. 19-22). Bogotá D.C: Alcaldía Mayor De Bogotá, Secretaría Distrital De Planeación.
- [7] Subred Integrada de Servicios de Salud sur ESE. (2017). Análisis de condiciones, calidad de vida, salud y enfermedad Localidad Ciudad Bolívar [EBOOK] (1ST ED., P. 4). BOGOTÁ D.C.
- [8] Secretaría Distrital de Planeación, «Proyecciones de población por localidades de Bogotá D.C. 2016-2020,» Alcaldía Mayor DE Bogotá D.C., Bogotá D.C., 2014.
- [9] Hormaza, S., González, A., & Martínez, L. (2017). *boletín epidemiológico mensual de la línea de aire, ruido y radiaciones electromagnéticas* [ebook] (pp. 12-13). Bogotá D.C: Subred Integrada De Servicios De Salud Sur E.S.E. Vista Hermosa.

[10] Cadena Rojas, A., Rubio Castiblanco, E., & Urrego Rodríguez, J. (2016). *diagnostico local con participación social Ciudad Bolívar* [ebook] (P. 77). Bogotá D.C.: alcaldía Mayor De Bogotá.

[11] S. Hormaza, A. Zuleta Gonzáles and L. Martínez, *Boletín Epidemiológico Mensual de la Línea de Aire, Ruido y Radiaciones Electromagnéticas*, 1st ed. Bogotá D.C.: Subred Integrada de Servicios de Salud Sur E.S.E Unidad Prestadora de Servicios de Salud Vista Hermosa mayo 2017 número 58, 2018, pp. 6, 7.

[12] Alcaldía Mayor de Bogotá. D.C., «agenda ambiental localidad 14 Los Mártires,» Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá, 2009.

[13] Vargas Bolívar, F. (2012). *Dinamia de la construcción por usos localidad Los Mártires* [ebook] (P. 23). Bogotá D.C: Alcaldía Mayor de Bogotá, unidad administrativa especial de catastro distrital.

[14] Penagos Collo, C., Suarez Salas, M., & Rubio S., O. (2017). *diagnóstico de los principales aspectos territoriales, de infraestructura, demográficos y socioeconómicos Los Mártires* [ebook] (PP. 71-79). Bogotá D.C: Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria Distrital de Planeación.

[15] Censo General 2005 Perfil Localidad Los Mártires, 1st ed. Bogotá D.C., Colombia: Departamento Administrativo Nacional Estadístico (DANE), 2005, p. 4.

[16] León García, J. (2017). *Plan Ambiental Local Alcaldía de Los Mártires 2017-2020* [ebook] (PP. 45-46). Bogotá D.C: Alcaldía Mayor de Bogotá, Alcaldía Los Mártires.

[17] L. Medina Pájaro, B. Quintero Mallungo, Z. Machado Porras and L. Rodríguez Galindo, *Análisis de Condiciones, Calidad de Vida, Salud y Enfermedad Localidad de Los Mártires*, 1st ed. Bogotá D.C.: Subred Integrada de Servicios de Salud Centro Oriente E.S.E, 2017, pp. 6, 7.

[18] *Red de Calidad Del Aire - Secretaria distrital de Ambiente*. [online] Available AT: [HTTP://ambientebogota.gov.co/red-de-calidad-del-aire](http://ambientebogota.gov.co/red-de-calidad-del-aire) [accessed 4 mar. 2019].

[19] Luis Fernando Londoño Franco, Paula Tatiana Londoño Muñoz and Fabián Gerardo Muñoz García, "Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal," *BIOTECNOLOGÍA en el sector agropecuario y agroindustrial*, vol. 14, (2), pp. 145-153, 2016. doi: 10.18684/bsaa (14)145-153.

[20] Mayra Eleonora Beltrán Pineda biólogo ciencias microbiología grupo de investigación gestión ambiental universidad de Boyacá "Metales pesados (cd, cr

y hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación,”

[21] R. Vigneri, "Heavy Metals In The Volcanic Environment and Thyroid Cancer," *Molecular and Cellular Endocrinology*, 2016. DOI: 10.1016/J.MCE.2016.10.027.

[22] L. Diels et al, "Heavy Metals Bioremediation of Soil," *mol biotechnol*, vol. 12, (2), pp. 149-158, 1999. available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10596372>

[23] Roane, T., Rensing, C., Pepper, I. And Maier, R. (2000). *Microorganisms and Metal Pollutants*. IN: T. Roane, C. Rensing, I. Pepper and R. Maier, ed., *environmental microbiology*, 3rd ed. Elsevier, pp.423-425. doi: 10.1016/b978-0-12-370519-8.00021-3

[24] N. Molina Montoya, P. Aguilar Casas and C. Cordovez, *plomo, cromo iii y cromo vi y sus efectos sobre la salud humana*, 8th ed. Bogotá, 2010, pp. 5-6.

[25] a. Leguia, *cromo caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano, y largo plazo con vigencia al año 2035*. Santiago de Chile: Unidad de Planeación Minero Energética, 2018, pp. 1-2.

[26] N. Molina Montoya, P. Aguilar Casas and C. Cordovez, *Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana*, 8th ed. Bogotá, Colombia: Ciencia y tecnología para la salud visual y ocular, 2010, pp. 6, 7.

[27] G. Nordberg, "metales: propiedades químicas y toxicidad", in *enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*, 3RD ED., F. Sunderman, ed. 2011, PP. 5-39.

[28] N. Molina Montoya, P. Aguilar casas and c. cordobés, "Plomo, cromo III, cromo VI y sus efectos sobre la salud humana", in *Ciencia y Tecnología para la Salud*, 1st ed., 2018, pp. 6, 7.

[29] E. Cuberos, A. Rodríguez and E. Prieto, "Niveles de cromo y alteraciones de salud en una población expuesta a las actividades de curtiembres en Bogotá, Colombia", *Revista de Salud Pública*. Bogotá, PP. 279, 278, 2009.

[30] Langård, Sverre. "Role of Chemical Species and Exposure Characteristics in Cancer Among Persons Occupationally Exposed to Chromium Compounds." *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, Vol 19, 1993, PP. 81–89.

[31] E. Cuberos, A. Rodríguez and E. Prieto, "Niveles de cromo y alteraciones de salud en una población expuesta a las actividades de curtiembres en Bogotá, Colombia", *Scielo*, no. 1, PP. 279-280, 2009.

- [32] L. Autores: Rosana M. - Esquivel and Graciela P. - Merino Luis A., "Área: cm - cs. médicas título del trabajo: Hongos levaduriformes de interés médico en ambientes de aserraderos".
- [33] A. López Meza, *Evaluación de bioaerosoles, bacterias y hongos, en el laboratorio de microbiología, biotecnología, de la ESPE y construcción previa de un muestreador de burbujeo experimental*. Sangolqui, 2012, PP. 12-14.
- [34] D. Olaya Escobar and F. Pérez Rojas, *Caracterización cualitativa - cuantitativa de bioaerosoles relacionados con factores meteorológicos y material particulado en Puente Aranda*, Bogotá, 2006, P. 28.
- [35] L. Wang Li, O. Simmons and E. Wheeler, "Air Quality Education In Animal Agriculture", 2012.
- [36] T. R Tilley, *Bioaersols: A Survey. Dsto Aeronautical and Maritime Research*. Australia, 1997, PP. 1-20.
- [37] *Hongos en el laboratorio de microbiología-biotecnología de la ESPE y construcción previa de un muestreador de burbujeo experimental*. Sangolquí, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército, 2012, PP. 27-28.
- [38] M. Pires and M. Motta, "morfología y estructura bacteriana", In *temas de bacteriología y virología médica*, 1ST ED., M. Pires and M. Motta, ed. 2008, PP. 26-27.
- [39] Andino Rugama, F. and Castillo, y. (2011). *Microbiología de los alimentos " un enfoque práctico para la inocuidad alimentaria"*. 1st ed. [ebook] pp.9-10 [accessed 13 mar. 2019].
- [40] B. Aristeguí, *El reino de los hongos*, 1st ed. Murcia, 2009, PP. 1-4.
- [41] J. Londhal, *Physical and Biological Properties of Bioaerosols*. Suecia, 2014, PP. 11-12.
- [42] Resolución 2254 de 2017 "*por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones*". Bogotá D.C, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017, PP. 2, 3.
- [43] Guías de calidad de la OMS relativas al material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. actualización mundial: Organización Mundial de la Salud (OMS), 2005, PP. 9, 10, 11.

[44] La calidad del aire en Europa-informe 2012, 1ST ed. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013, PP. 75-77.

[45] *La calidad del aire en Europa-informe 2012*, 1st ed. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013, PP. 22-23.

[46] *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire*, 1st ed. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), 2010, PP. 75-76.

[47] J. Álvarez Berrio, "modelo para la evaluación de la concentración de plomo, cadmio y cromo contenidos en el material particulado en la localidad de Los Mártires en Bogotá D.C.", Maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2016.

[48] *Compendium Method IO 3.1 "Selection, preparation and extraction of filter material"*, 1st ed. Cincinnati: U.S. Environmental Agency Protection, 1999.

[49] *Compendium Method IO 3.5 " Determination OF metals in ambient particulate matter using inductively coupled plasma mass spectrometry"*, 1st ed. Cincinnati: U.S. Environmental Agency Protection, 1999.

[50] M. Millipore, *MAS 100, Microbial air monitoring systems*, 1st ed. Darmstadt, Alemania: EMD, 2012, P. 6.

[51] B. Dickinson, «Instrucciones de uso de medios en placa listos para usar,» Becton Dickinson GmbH BD, Heidelberg, Alemania, 2013.

[52] L. Pankhurst, L. Deacon and G. Drewa, *Spatial variations in airborne microorganism and endotoxin concentrations at green waste composting facilities*. Londres: ELSEVIER, 2011, pp. 1-2.

[53] W. Morgado Gamero, *Evaluación de bioaerosoles fungí asociados a un Relleno sanitario ubicado en el Municipio de Tubara, Departamento del Atlántico*. Manizales, 2017, p. 19.

[54] A. Gómez, *Informe de movilidad 2014*. Bogotá: Secretaria de Movilidad, 2015, pp. 66-67.

[55] A. Rojas Pérez, *Estimación de emisiones de contaminantes provenientes de fuentes móviles en la jurisdicción CAR*. Bogotá, 2019, pp. 80-81.

[56] A. Gómez, *Informe de movilidad 2014*. Bogotá: Secretaria de Movilidad, 2015, pp. 66-67.

- [57] M. Culver González, *Calidad del aire. Contaminantes biológicos (I): estrategia de muestreo*. España: Centro Nacional de Nuevas Tecnologías, 2015, p. 3.
- [58] *Descripción Manejo de hivol y lowvol*. Centro Lasallista de Investigación y Modelación Ambiental, 2017, pp. 9-14.
- [59] N. Navarra, *Manuales de buenas prácticas ambientales soldadura*. España: Gobierno de Navarra Departamento de Medio ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda, 2001, pp. 7-8.
- [60] A. Cruz Orjuela and A. Jiménez Payares, *Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos oportunistas y su relación con material particulado (PM2.5 y PM10) en la Localidad de Puente Aranda*. Bogotá: Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, 2006, p. 71.
- [61] L. López, M. Hernández, C. Colin and S. Ortega Peña, *Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología*, 1st ed. Ciudad de México, México, 2014, pp. 3, 4.
- [62] R. Pinedo Ochoa, *Impactos Ambientales Generados por la curtiembre de leyse, en el distrito de El Porvenir, Provincia Trujillo, región La Libertad*. Tingo María, 2012, pp. 9-10.
- [63] Secretaria Distrital de ambiente, «Informe día sin carro y sin moto febrero 1 de 2018», Alcaldía mayor de Bogotá, Bogotá D.C., Versión 2, 2018.
- [64] L. Giraldo and E. Behrentz, *Estimación del Inventario de Emisiones de Fuente Móviles Para la Ciudad de Bogotá e Identificación de Variables Pertinentes*, 1st ed. Bogotá D.C., 2007, pp. 7, 8.
- [65] N. Peñalosa Garzón, *Distribución Espacial y Temporal de Inventario de Emisiones Proveniente de las Fuentes Móviles y Fijas de la Ciudad de Bogotá D.C.* Bogotá D.C., 2010, p. 53.
- [66] L. Delgado Rodríguez and C. Ramírez Sánchez, *Determinación de las concentraciones de cromo presentes en muestras de material particulado (TSP PM10) y correlación con los casos de enfermedades respiratorias en grupos sensibles en la localidad de Los Mártires*, 1st ed. Bogotá D.C., 2014, p. 68.
- [67] J. Álvarez Berrio, *Modelo Para la Evaluación de la Concentración de Plomo, Cadmio y Cromo Contenidos en el Material Particulado Respirable en la Localidad de Los Mártires, Bogotá D.C.* Bogotá D.C.: Departamento de Toxicología, Universidad Nacional de Colombia, 2016, p. 93.

- [68] N. Rueda Cortes and A. Peralta Puentes, *Boletín integrado urgencias y emergencias en salud pública, noviembre 2018*. Bogotá: Secretaria Distrital de Salud, 2018, pp. 9-10.
- [69] D. Olaya Escobar and F. Pérez Rojas, *caracterización cualitativa - cuantitativa de bioaerosoles relacionados con factores meteorológicos y material particulado en Puente Aranda Bogotá D.C.* Bogotá: Universidad de la Salle, 2006, pp. 37,38,40.
- [70] C. Degobbi, F. D. T. Q. S. Lopes, R. Carvalho-Oliveira, J. E. Muñoz, y P. H. N. Saldiva, «Correlation of fungi and endotoxin with PM<sub>2.5</sub> and meteorological parameters in atmosphere of Sao Paulo, Brazil», *Atmos. Environ.*, vol. 45, no 13, pp. 2277-2283, abr. 2011.
- [71] C. Cao et al., "Inhalable Microorganisms in Beijing's PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> Pollutants during a Severe Smog Event", *Environmental Science & Technology*, vol. 48, no. 3, pp. 1499-1507, 2014. Available: 10.1021/es4048472.
- [72] M. Gao, T. Qiu, R. Jia, M. Han, Y. Song and X. Wang, "Concentration and size distribution of viable bioaerosols during non-haze and haze days in Beijing", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, no. 6, pp. 4359-4368, 2015. Available: 10.1007/s11356-014-3675-0.
- [73] R. Ramos y V. Meza, «Efectos de algunos factores meteorológicos sobre la concentración de esporas de hongos sobre la plaza San Martín de Lima,» *Ecología aplicada*, pp. 144-149, 2017.
- [74] M. De la Rosa, M. Mosso and C. Ullán, *El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos*. España: Departamento de Microbiología II. Facultad de Farmacia. UCM., 2002, pp. 11,12,13,14.
- [75] B. Davis, R. Dulbecco, H. Eisen, H. Ginsberg and W. Wood, *Tratado de microbiología*. España: Salvat Editoriales, 1974, pp. 156-157.
- [76] P. Murray, K. Rosenthal and M. Pfaller, *Microbiología médica*, 8th ed. Barcelona, España: Elsevier, 2017, pp. 143, 151, 574, 584.
- [77] *Trichophyton Spp and Microsporum Spp*, 1st ed. Madrid, España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT, 2013, pp. 2, 3.