

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

**Determinación de Metales en el Material Particulado PM₁₀ para las Campañas 2018 del
Día sin Carro en Bucaramanga**

Martha Lucia Bautista Betancur

Trabajo de grado para optar el título de Químico Ambiental

Director

Alix Estela Yusara Contreras Gómez

Ing. Sanitaria y Ambiental. M.Sc

Co-director

Angélica María Candela Soto

Química. M.Sc, Ph.D

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Química Ambiental

2020

Dedicatoria

Primeramente, dedico este trabajo a Dios quien me dio la sabiduría y la provisión para poder culminar este proceso

A mis padres, por su amor, paciencia, acompañamiento y sacrificios realizados en todo este proceso a fin de culminar mi carrera universitaria.

A mis hermanos, por su apoyo moral, económico y los muchos aportes que a me brindaron a lo largo de mi carrera profesional

A mis familiares y amigas por su acompañamiento, apoyo e incluso animarme a lo largo de este camino.

Agradecimientos

Agradezco a mi directora de trabajo de grado, la ingeniera Sanitaria y Ambiental Alix Estela Yusara Contreras Gómez por su dirección, paciencia, acompañamiento, esfuerzo y apoyo en la dirección de este trabajo de grado.

A mi codirectora, Angélica María Candela soto, agradezco su paciencia, ayuda y grandes aportes en la investigación y análisis de este proyecto que permitieron que se llevara a cabo.

Agradezco al laboratorio SIAM LTDA, por la colaboración proporcionando los filtros para la determinación de los metales pesados.

Agradezco al grupo de investigaciones GINMEA por sus aportes económicos e investigativos.

Al laboratorio de investigaciones ambientales de la universidad Santo tomas por los servicios brindados.

Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	17
1.1 Objetivo General	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2. Marco Referencial.....	18
2.1 Marco Teórico.....	18
2.1.2. Técnicas para la determinación de metales.....	19
2.1.3. Espectroscopia de absorción atómica.	20
2.1.4. Monitoreo calidad de aire.....	20
2.1.5 Contexto del Área.	21
2.2. Estado del Arte.....	25
2.3 Marco Legal	28
3. Metodología	30
3.1. Selección de Puntos de Muestreo	29
3.2 Acondicionamiento de Filtros y Muestreo.....	31
3.2.1. Acondicionamiento	31
3.2.2. Muestreo.	32

3.3. Dopaje de los Filtros	32
3.4. Digestión de los Filtros	33
3.5. Cuantificación de Metales por Espectroscopia de Absorción Atómica.....	33
3.5.1 Parámetros estadísticos	34
3.5.2 Determinación de Metales por m ³ de Aire	36
3.6. Evaluación de Riesgos para la Salud	37
4. Resultados y Discusión	39
4.1 Fuentes de Emisión	39
4.1.1 Fuentes Móviles	41
4.2 Rosa de Vientos	46
4.3 Comportamiento del Material Particulado.....	48
4.4 Cuantificación de metales pesados en PM ₁₀	49
4.4.1. Cobre.....	49
4.4.2 Zinc	51
4.4.3 Cadmio.....	53
4.5 Evaluación de Riesgo para la Salud Asociado al Cáncer.	55
4.5.1. Evaluación de Riesgo para la Salud.....	58
5. Conclusiones	60
Referencias Bibliográficas	62

Apéndices.....	74
----------------	----

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Niveles Máximos Permisibles De Contaminantes Criteriio En El Aire	28
Tabla 2. Niveles Máximos Permisibles De Contaminantes Tóxicos En El Aire.....	28
Tabla 3. Niveles Máximos Permisibles De Cu, Cd, Zn.....	35
Tabla 4. Horarios De Observación Y Conteo.....	41
Tabla 5. Concentración De Cobre En Las Estaciones Provisionales De La Puerta Del Sol Y Club De Comercio.....	48
Tabla 6. Comparación de Cobre frente a otros estudios.....	49
Tabla 7. Concentración De Zinc En Las Estaciones Provisionales De La Puerta Del Sol Y Club De Comercio.....	50
Tabla 8. Comparación de Zinc frente a otros estudios.....	51
Tabla 9. Concentración De Cadmio En Las Estaciones Provisionales De La Puerta Del Sol Y Club De Comercio.....	53
Tabla 10. Concentración de Cadmio frente a otros estudios.....	53
Tabla 11. Evaluación de Riesgo Carcinogénico para la Salud En Niños y Adultos En La Fecha del 19 De abril De 2018 Puerta Del Sol	55
Tabla 12. Evaluación De Riesgo Carcinogénico Para La Salud En Niños Y Adultos En La Fecha Del 19 De abril De 2018 Club De Comercio.....	55
Tabla 13. Evaluación De Riesgo Carcinogénico Para La Salud En Niños Y Adultos En La Fecha Del 13 De junio De 2018 Puerta Del Sol.....	57
Tabla 14. Evaluación Asociada A Riesgos Para La Salud.....	57

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Ubicación geográfica de la estación de monitoreo Puerta del Sol.....	22
<i>Figura 2.</i> Ubicación geográfica de la estación de monitoreo Club de Comercio.....	23
<i>Figura 3.</i> Estación intercambiador vial Puerta del Sol.....	30
<i>Figura 3.</i> Estación de monitoreo Club de Comercio.....	30
<i>Figura 4.</i> Método del Cuarteo.....	31
<i>Figura 5.</i> Diagrama del proceso de evaluación del riesgo en salud propuesto por US.EPA.....	37
<i>Figura 6.</i> Ubicación geográfica fuentes fijas en el área de estudio MAC POLLO.....	39
<i>Figura 6.</i> Ubicación geográfica fuentes fijas en el área de estudio SACEITES.....	39
<i>Figura 6.</i> Ubicación geográfica fuentes fijas en el área de estudio Jardines la Colina.....	40
<i>Figura 7.</i> Inventario fuentes moviles 18 de abril y 12 de junio de 2018 Puerta del Sol.....	42
<i>Figura 8.</i> Inventario fuentes moviles 18 de abril y 12 de junio de 2018 Club de comercio.....	42
<i>Figura 9.</i> Inventario fuentes móviles 19 de abril y 13 de junio de 2018 Puerta del Sol día sin carro.....	43
<i>Figura 10.</i> Inventario fuentes móviles 19 de abril y 13 de junio de 2018 Club de Comercio dia sin carro	44
<i>Figura 11.</i> Rosa de vientos correspondiente al 19 de abril de 2018.....	46
<i>Figura 12.</i> Rosa de vientos correspondiente al 13 de junio de 2018.....	47

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Formato para monitoreo de las fuentes móviles	74
Apéndice B. Curva de Calibración Cobre.....	74
Apéndice C. Curva de Calibración Cadmio.....	75
Apéndice D. Curva de Calibración Zinc.....	72
Apéndice E. Determinación Limite de Detección.....	73
Apéndice F. Determinación Limite de Cuantificación.....	74
Apéndice G. Desviación Estándar de las concentraciones de cada metal.....	75
Apéndice H. Desviación Estándar de las concentraciones de cada metal halladas en m ³ de aire...	75

Glosario

Contaminación Atmosférica: es la presencia de sustancias en la atmósfera en altas concentraciones, en un tiempo determinado, como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que pueden ocasionar daños a la salud de las personas o al ambiente (MAVDT, 2008).

Emisión: descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil (MAVDT, 2008).

Fuentes de Emisión: actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire (INECC, 2007)

Fuente fija: fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa (Ministerio de Ambiente, 2008).

Fuente móvil: es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza (IDEAM I. d., 2013)

Metales pesados: Elementos metálicos con pesos atómicos y densidad relativamente alta, pueden presentar cierta toxicidad a los seres vivos en pequeñas concentraciones (Ramos, 2002)

Resumen

El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, por la afectación que tiene en la calidad del aire. Su presencia en la atmósfera ocasiona una variedad de impactos negativos en el medio ambiente y en la salud humana; este material es emitido al aire como producto de actividades antrópicas asociadas a las fuentes móviles por uso de diésel como combustible, pero también se puede atribuir a las emisiones de fuentes fijas industriales y a las construcciones (IDEAM, Contaminación Atmosférica, 2016).

El presente trabajo tiene como objetivo brindar información del estado de la calidad del aire en relación con el material particulado en dos sectores de la ciudad de Bucaramanga, el Club de Comercio e Intercambiador Puerta del Sol durante las campañas del día sin carro del año 2018. En este sentido, se analizó el contenido de metales pesados como cobre, cadmio y zinc mediante espectroscopia de absorción atómica implementando el método EPA- IO 3.2 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA U. E., 1999), con el fin de evaluar el impacto de las mismas.

Palabras Claves: Material particulado, Cobre, Zinc, Cadmio, Absorción atómica

Abstract

Particulate matter is one of the most studied atmospheric pollutants in the world, due to the effect it has on air quality. Its presence in the atmosphere causes a variety of negative impacts on the environment and human health; This material is emitted into the air as a product of anthropic activities associated with mobile sources due to the use of diesel as fuel, but it can also be attributed to emissions from industrial stationary sources and buildings (IDEAM, Contaminación Atmosférica, 2016).

The present work aims to provide information on the state of air quality in relation to particulate matter in two sectors of the city of Bucaramanga, el Club de Comercio e Intercambiador Puerta del Sol during the 2018 car-free day campaigns. In this sense, the content of heavy metals such as copper, cadmium and zinc was analyzed using atomic absorption spectroscopy, implementing the EPA-I0 3.2 method of the United States Environmental Protection Agency (EPA EU, 1999), in order to evaluate the impact of them.

Key Word: Particulate Material, Copper, Zinc, Cadmium, Atomic Absorption

Introducción

La contaminación del aire constituye un tema de preocupación mundial que obedece al continuo crecimiento de la población, extensión de las fuentes de emisión y a las deficiencias en el desarrollo industrial, así como al aumento de las emisiones del sector de transporte en los principales centros urbanos (OSPS, 2016). En el caso específico de la ciudad de Bucaramanga, la contaminación atmosférica es uno de los principales problemas que enfrenta, en los últimos años se ha presentado un aumento considerable en el número de automóviles y motocicletas (fuentes móviles) que circulan por las calles de la ciudad, que sumando a la emisiones industriales (fuentes fijas) impactan sobre la calidad de aire urbana (CDMB, UPB, AMB, & Bucaramanga, 2017).

La importancia del estudio de metales pesados en el aire radica en los efectos sobre la salud humana, debido a que existen implicaciones sobre la disminución de la calidad de vida de la población por el aumento de enfermedades respiratorias (IDEAM, Informe del estado de la calidad de aire en Colombia, 2012). Esto se debe a que los metales pesados no son metabolizados por los seres vivos, generando efectos tóxicos como el deterioro en la reparación de los tejidos, problemas de comportamiento, aprendizaje, crecimiento lento, problemas de audición, nacimientos prematuros, entre otros problemas de salud (Suvarapu & OK, 2017).

En Colombia, el monitoreo y control de la contaminación atmosférica ha tomado día a día mayor relevancia, debido a que, según cifras de la Organización Mundial de la Salud, una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial, es ocasionada por la contaminación del aire. A nivel nacional, el Departamento Nacional de Planeación estimó que, durante el año 2015, los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades.

En el año 2016, fueron registradas 223.000 muertes en Colombia y el 8 por ciento se atribuyen a factores de riesgo ambiental. (IDEAM, Contaminación Atmosférica, 2016)

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga en su Plan de Acción 2020-2023 ha propuesto fortalecer la Red de Monitoreo de Aire en el Área Metropolitana de Bucaramanga con el fin de que las estaciones de monitoreo de la ciudad se encuentren en total funcionamiento para su disponibilidad en tiempo real para optimización de la gestión de la información, el desarrollo de la investigación, el ordenamiento del territorio y la gestión del riesgo por contaminación del aire (CDMB C. A., 2020). Sin embargo, los estudios sobre los efectos de la contaminación atmosférica causada por el material particulado PM₁₀ y los metales pesados son poco investigados. Lo cierto es que no hay elementos de juicio suficientes para determinar la calidad del aire de la ciudad, puesto que las estaciones de monitoreo no se encuentran en total funcionamiento. Desde el año 2018, la Autoridad Ambiental no ha emitido informes sobre la calidad del aire en su jurisdicción, pero si ha identificado en su nuevo Plan de Acción 2020-2023, la necesidad de fortalecer la red de monitoreo y desarrollar programas que permitan el control de fuentes móviles y fijas en pro de mejorar la calidad de Aire (CDMB C. A., 2020). En consecuencia, en los tres últimos años no se cuenta con una base sólida que permita indicar la calidad de aire en el Área Metropolitana de Bucaramanga. No obstante, se han realizado campañas del día sin carro para incentivar el uso de transporte público y nuevos medios de desplazamiento.

De acuerdo con el último informe publicado por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, en el año 2017 las concentraciones de PM₁₀, en la estación que se encontraba en funcionamiento, ubicada en el sector Cabecera revelaba que la concentración

promedio anual 24 horas fue de 101.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la cual se encuentra por encima de lo permitido por la norma Nacional (CDMB, 2017)

Por consiguiente, el propósito del presente trabajo es contribuir a generar conocimiento de otro tipo de variables (metales pesados) en la calidad del aire durante las campañas de educación del día sin carro, que permitan evidenciar la necesidad de incorporar este tipo de variables, así como el desarrollo de estrategias y proyectos que mejoren las condiciones de inmisión para la ciudad de Bucaramanga.

Dentro de los principales metales dada su importancia biológica y alta acumulación en plantas y animales, se encuentran: Cobre, Cadmio y Zinc, que merecen especial atención puesto que su presencia en la atmósfera está asociada a la rápida urbanización y al incremento de vehículos e industrias. El aumento de las concentraciones de metales ha sido relacionado con procesos antropogénicos, asociados al desarrollo de las ciudades y a la combustión de carbón, gasolina y diésel (Baek, 2016).

En efecto, los metales mencionados, serán evaluados en este estudio, ya que su presencia en la atmósfera está asociada con procesos que incluyen temperaturas elevadas relacionadas al transporte vehicular, quema de combustibles fósiles, desgaste de neumáticos y motores, generando desequilibrio en la saturación del nitrógeno alterándose los ciclos de los nutrientes. Con el presente estudio se pretende fortalecer la línea de investigación en Gestión Ambiental del Grupo de Investigación en Nuevos Materiales y Energías Alternativas, específicamente en el componente de Aire siguiendo como referente el proyecto de grado titulado "Caracterización Química del Material Particulado-Fracción Respirable PM₁₀ de la Estación de Monitoreo Ciudadela Real de Minas de la Ciudad de Bucaramanga- Santander" realizado en el año 2018 por las Químicas Ambientales Luisa Suarez y Dina Bermúdez (Bermudez & Suarez, 2018).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Determinar la concentración de metales (Cu, Cd, Zn) en el material particulado PM₁₀ en las estaciones provisionales de monitoreo ubicadas en el Intercambiador Puerta del Sol y Club de Comercio para las campañas del día sin carro del año 2018 en la ciudad de Bucaramanga.

1.2 Objetivos Específicos

Implementar el método IO- 3.1 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para la determinación de metales (Cu, Cd, Zn) en filtros de PM₁₀ por extracción de ácido caliente y espectroscopia de absorción atómica con llama.

Evaluar los niveles de metales (Cu, Cd, Zn) para los sectores Intercambiador Puerta del Sol y Club de Comercio durante las campañas del día sin carro del año 2018 en la ciudad de Bucaramanga tomando como referencias la norma establecida en Ontario Canadá.

Evaluar el riesgo en la salud por exposición a metales pesados aplicando el modelo establecido por la Agencia de Protección Ambiental EPA y la Agencia para las Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades ATSDR de Estados Unidos.

2. Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Contaminación atmosférica y su efecto en la salud. La contaminación atmosférica se puede definir como el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes entendidos como fenómenos físicos, químicos, sustancias o elementos causantes de efectos adversos en el medio ambiente, recursos naturales renovables y la salud humana y se considera como uno de los mayores problemas ambientales de mayor preocupación a nivel mundial por los impactos generados en la salud humana y medio ambiente. (MINAMBIENTE, Contaminación Atmosférica, 2018).

La contaminación atmosférica se debe a diferentes procesos naturales y antrópicos el cual esta direccionado a través del ciclo geológico y por diversas actividades como la industrialización, combustión, procesos de fundición, tráfico vehicular, minería, escurrimientos agrícolas, actividad petrolera tienden a depositarse en áreas alejadas a su fuente de origen y su exposición es reconocida como una amenaza para la salud humana debido a que son altamente resistentes y no biodegradables, que una vez liberados al ambiente no se descomponen si no por el contrario son persistentes y acumulables (Machado, y otros, 2008).

Dentro de los problemas de salud con relación a la exposición de metales pesados en el material particulado se puede incluir cáncer, irritación respiratoria, problemas del sistema respiratorio, problemas del sistema nervioso y defectos de nacimiento (EPA, 1991).

Algunos problemas de salud ocurren muy poco después que una persona inhala un contaminante tóxico del aire. Estos efectos inmediatos pueden ser menores tales como ojos acuosos e irritación en la garganta. O ellos pueden ser serios, como el daño pulmonar de por vida (EPA, 1991). Otros problemas de salud pueden manifestarse hasta muchos meses o años después de la exposición de una persona al contaminante tóxico del aire. El Cáncer es un ejemplo de un problema de salud tardío (EPA, 1991).

Los metales de estudio, puede ocasionar efectos adversos en la salud de la población, el cadmio tiene efectos tóxicos en los riñones y en los sistemas óseo y respiratorio; además, está clasificado como carcinógeno para los seres humanos. Por lo general, está presente en el medio ambiente en niveles bajos. Sin embargo, la actividad humana ha incrementado considerablemente esos niveles. El cadmio puede recorrer grandes distancias desde la fuente de emisión a través del aire. El cobre puede alterar procesos bioquímicos y/o fisiológicos en el organismo como ejemplo, enfermedad de Wilson que debido a la falla de la eliminación por la bilis acumula cobre hasta enfermar y desarrolla cirrosis e insuficiencia hepática y la acumulación del Zinc puede incluso producir defectos de nacimiento, durante un período breve, puede producir calambres estomacales, náusea y vómitos. Niveles altos de zinc durante varios meses puede producir anemia, daño del páncreas y disminución del tipo de colesterol beneficioso (HDL) en la sangre (EPA, 1987).

2.1.2. Técnicas para la determinación de metales. Para la determinación de metales pesados es necesario realizar el análisis de estos mediante métodos analíticos. La espectroscopia de

absorción atómica y la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente son técnicas de cuantificación para muestras de elementos traza presentes en muestras ambientales para lo cual las muestras deben encontrarse en estado líquido siendo así la espectrometría de masas con plasma la más sensible.

2.1.3. Espectroscopia de absorción atómica. La espectroscopia de absorción atómica es una técnica empleada para determinar la concentración de un elemento metálico en una muestra determinada. La técnica se llevó a cabo por espectroscopia de absorción con el fin de evaluar la concentración del analito en una muestra y se basa en la ley de Lambert-Beer.

Los electrones de los átomos en el atomizador son promovidos a orbitales más altos mediante la absorción de energía, esta energía se refiere específicamente a una transición de electrones en un elemento particular para lo cual cada longitud de onda corresponde a un elemento particular. Como la cantidad de energía que se pone en la llama es conocida, y la cantidad restante en el otro lado (el detector) se puede medir, es posible a partir de la ley de Lambert Beer calcular cuántas de estas transiciones tienen lugar y así obtener una señal que es proporcional a la concentración del elemento que se mide (Gilmudtinov, 2017). Esta técnica ha sido utilizada para determinar partículas suspendidas en el aire y su uso se debe a su especificidad, sensibilidad y facilidad de operación.

2.1.4. Monitoreo calidad de aire. Es el conjunto de equipos de monitoreo de los contaminantes atmosféricos, que se encuentran instalados en un lugar de interés con el propósito de buscar un mejoramiento continuo en la disminución del potencial deterioro de la salud pública, dentro de las

cuales se cuenta con programas de mantenimiento preventivo como lo son las campañas del día sin Carro (SIAC, 2010).

Esta medida consiste en restringir la circulación de vehículos particulares durante un día completo cada año, de esta manera, la Secretaría de Ambiente puede lograr dos objetivos; por un lado, monitorear la calidad del aire en diferentes puntos de la ciudad; por el otro, con la difusión de los datos, consigue que la población tome conocimiento de la magnitud del problema, estas campañas permiten una disminución de 12.300 toneladas de dióxido de carbono que redundan, en una reducción de emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera y a su vez los niveles de material particulado pueden llegar a disminuir hasta en un 28% (MAVDT, 2007).

En Colombia, el monitoreo a la calidad del aire es competencia de las autoridades ambientales que de acuerdo con las actividades que se desarrollen en el área de su jurisdicción, deberán elaborar y publicar como mínimo tres informes mensuales, trimestrales y anuales del estado de la calidad del aire. A su vez, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM deberá realizar informes anuales del estado de la calidad del aire en Colombia, con lo lineamientos establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2017).

2.1.5 Contexto del Área. Bucaramanga capital del departamento de Santander limita por el Norte con el municipio de Rionegro; por el Oriente con los municipios de Matanza, Charta y Tona; por el Sur con el municipio de Floridablanca y; por el Occidente con el municipio de Girón. se encuentra en una terraza inclinada de la Cordillera Oriental a los 7 08' de latitud norte con respecto al Meridiano de Bogotá y 73° 08' de longitud al Oeste de Greenwich (Alcaldia, 2014).

El área municipal es de 165 kilómetros cuadrados, su altura sobre el nivel del mar es de 959 m y sus pisos térmicos se distribuyen en: cálido 55 kilómetros cuadrados: medio 100 kilómetros

cuadrados y frío 10 kilómetros cuadrados. Su temperatura media es 23°C y su precipitación media anual es de 1.041 mm (Alcaldía, 2014).

Bucaramanga cuenta con plan de ordenamiento territorial (POT), el cual clasifica las vías de la ciudad en dos tipos las vías llamadas Arterias Tipo y las vías de la Red local del municipio.

Las Vías de Arteria Tipo están divididas: en Vías Tipo V-0. Tienen una sección transversal mayor de 60 metros. Vías Tipo V-1. tienen una sección transversal entre 60m y 40 m. Vías Tipo V-2. Tiene entre 30 m y 40 m de sección transversal. Vías Tipo V-3. Tienen entre 25 m y 30 m de sección transversal. Entre las vías de arteria tipo podemos encontrar:

Carrera 27: Es del tipo V-2. Conocida también como Avenida Prospero Pinzón, cruza la ciudad de Norte a Sur. Inicia en la Universidad Industrial de Santander y cruza la ciudad de norte a sur. En el sector de la puerta del sol está ubicado el intercambiador del mismo nombre de donde se desprenden vías hacia la autopista a Floridablanca y una continuación de la carrera 27 continua hasta el sector entre los barrios la Victoria y la Salle donde se convierte en la Autopista a Girón y Lebrija, de esta vía se inicia la Carretera hacia Barrancabermeja.

Este estudio se desarrolló específicamente en el sector de la puerta del sol en donde se encuentra ubicado el intercambiador del mismo nombre sobre la carrera 27 y en el cual se dispuso de una estación de monitoreo provisional para el día sin carro tal como se observa en la figura 1



Figura 1. Ubicación geográfica de la estación de monitoreo de tipo provisional ubicada en la puerta del sol.

Tomada de Google Maps.

La estación de monitoreo de tipo provisional dispuesta en la puerta del sol figura 1 se encuentra ubicada en una zona comercial y residencial con alta presencia de tráfico vehicular debido a que se caracteriza por ser una de las principales vías del municipio de Bucaramanga. Las fuentes móviles de mayor circulación y contaminación son los medios de transporte público que transcurren sobre la carrera 27.

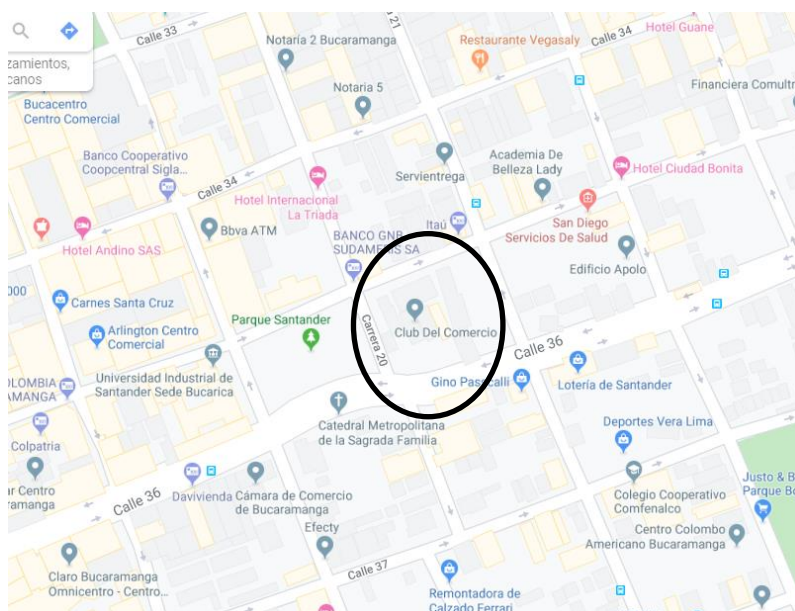


Figura 2. Ubicación geográfica de la estación de monitoreo de tipo provisional ubicada en el club de comercio.

Tomado de Google maps.

Esta vía se encuentra categorizada como vía de red local del municipio ya que atraviesa la ciudad de oriente a occidente. , tiene mínimo 18 m y máximo 25 m de sección transversal. En donde se ubica el club de comercio y se dispuso de una segunda red de monitoreo de tipo provisional.

La calle 36 con carrera 21 es un sector altamente transcurrido por el transporte público y alta presencia de transeúntes dada su importancia comercial, residencial y servicios de salud.

2.1.5 Estaciones de monitoreo. El Área Metropolitana de Bucaramanga desde el año 2000 cuenta con una red de monitoreo de la calidad de aire, que reúne características de calidad, operatividad, garantía y expansión que la ubica a la altura de las mejores a nivel nacional e

internacional. El Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire está conformado por cinco (5) estaciones automáticas, tres (3) estaciones manuales y cuatro (4) estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente en el Área Metropolitana de Bucaramanga con el objeto de monitorear los cinco (5) contaminantes criterio (PM_{10} $PM_{2.5}$ CO O_3 SO_2) exigidos por la normatividad colombiana, generados por fuentes contaminantes fijas y móviles (CDMB, Red de Monitoreo de Calidad de Aire , 2016).

Las estaciones seleccionadas para el análisis de la calidad de aire no se encuentran dentro de la red de monitoreo de la CDMB puesto que son estaciones temporales para evaluar campañas específicas para el día sin carro en los meses de abril y junio del año 2018. La primera se encuentra ubicada en el intercambiador puerta de Sol de donde se desprenden vías hacia la autopista con sentido Floridablanca, hacia la carrera 27 y continua hasta el sector entre los barrios la Victoria y la Salle donde se convierte en la Autopista a Girón y Lebrija, la otra se encuentra ubicada en el club de comercio por la carrera 21 con calle 36 de la ciudad de Bucaramanga.

2.2. Estado del Arte

El material particulado (PM) presente en el ambiente está compuesto por diversas especies químicas entre otras las que se encuentra metales, aniones, cationes y carbono orgánico y elemental. La técnica conocida como “caracterización del material particulado” comprende la identificación y cuantificación de dichas especies a través de la aplicación de diversas técnicas de análisis fisicoquímicos las cuales se describen a continuación.

En el año 2010 por parte de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la CDMB se evaluaron las concentraciones diarias promedio de PM₁₀ en diferentes puntos de la ciudad; en donde se observó que el barrio la Joya en el occidente de la ciudad tenía un promedio menor diario de concentración de PM₁₀ (menor de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en comparación a la zona centro donde era mayor la concentración promedio diaria (superiores a 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (CDMB, Informe anual de calidad del aire de Bucaramanga, 2010).

La CDMB, el Área Metropolitana, con el apoyo de la Universidad Pontificia Bolivariana y la Alcaldía de Bucaramanga realizaron mediciones en el año 2017 para determinar la calidad del aire de la ciudad de Bucaramanga. El informe presentó la concentración de material particulado PM₁₀ (partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor a 10 micras) y algunas mediciones de PM_{2.5} (partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2.5 micras) como resultado, se presentó una excedencia a la norma diaria de PM₁₀ con una concentración de 101.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrada el 22 de marzo en la estación Cabecera, así mismo, se evidenció que al analizar el comportamiento de los niveles de material particulado durante las diferentes horas del día se observó que las mayores concentraciones se encuentran entre 6 y 8 de la mañana y entre 6 y 9 de la noche, que corresponde con las horas de mayor tráfico vehicular en donde las mayores fuentes de contaminación son los transportes públicos y motos (CDMB, Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga, 2017).

En el año 2018 se evaluó la composición multi-elemental del material particulado en la atmósfera y se verificó la relación entre el daño del ADN y los niveles de PM_{2.5} y PM₁₀ alrededor del área minera de carbón en el norte de Colombia. El análisis reveló un aumento significativo en la frecuencia de micronúcleos en células binucleadas (MNBN) y mononucleadas (MNMONO) de individuos con proximidad residencial a minas de carbón a cielo abierto en comparación con

residentes de áreas no mineras. El análisis de correlación demostró una asociación altamente significativa entre los niveles de PM_{2.5}, las frecuencias MNBN y la inducción de micronúcleos CREST + en los residentes expuestos, estos resultados sugieren que la fracción PM_{2.5} y PM₁₀ generada en las actividades de extracción de carbón puede inducir la pérdida de cromosomas completos (aneuploidía) preferentemente, aunque también hay rupturas cromosómicas. El análisis de la composición química de PM_{2.5} por PIXE demostró que las concentraciones de S, K, y Cr variaron significativamente entre la minería de carbón y las áreas determinadas como referencia. Lo resultados demuestran que la fracción PM_{2.5} y PM₁₀ representan un riesgo de salud importante para los residentes que viven cerca de minas a cielo abierto, lo que subraya la necesidad de incorporar estándares de aire ambiental basados en medidas de PM_{2.5} en áreas de minería de carbón (Perez, y otros, 2018).

En el año 2018, Luisa Suárez y Dina Bermúdez evaluaron la composición elemental de Cu, Ni, Pb y Zn en la fracción respirable del aire PM₁₀ las cuales fueron colectadas en la estación ubicada en el colegio Aurelio Martínez Mutis de la calle de los estudiantes, utilizando un muestreador de alto volumen con filtros de fibra de cuarzo, en muestreos de 24 horas, con una frecuencia de siete días. Los periodos de estudio se realizaron del 27 de mayo al 2 de junio de 2016 y del 19 de junio al 25 de junio de 2017, periodos con presencia y receso escolar respectivamente. El proceso de extracción se realizó siguiendo el método IO-3.1, estandarizado por la EPA y para la lectura de los metales se usó el método IO-3.2 mediante la técnica de absorción atómica. Los niveles promedio de material particulado en el año 2016 ($34,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 2017 ($35,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no excedieron estándares nacionales e internacionales. Los resultados encontrados indicaron que el Cu (0,20 año 2016, 0,18 año 2017) y Ni (0,024 año 2016 y 0,046 año 2017) son los metales más abundantes en las muestras, a diferencia de Pb y Zn que se encontraron en menor proporción (Bermudez & Suarez, 2018).

En el año 2019 Omar Ramirez, Ana Sanchez, Daniel Sanchez, y Jesus de la Rosa evaluaron las variaciones temporales, fuentes y riesgos para la salud de Cd, Cr, Pb, Zn, Cu, Ni, Sn, Ba, Co, As, V y Sb en la fracción respirable PM₁₀ en Bogotá Colombia las cuales fueron recolectados en 315 muestras recolectadas durante un año. Según los resultados, Cu (52 ng / m³), Zn (44 ng / m³), Pb (25 ng / m³) y Ba (20 ng / m³) fueron los rastros con las concentraciones más altas, particularmente durante la estación seca (enero a marzo), que se caracterizó por la combustión de carbón de barbacoa (BBQ) y los incendios forestales. Además, se identificaron las diferencias entre los resultados de los días de semana y fines de semana. El factor de enriquecimiento (EF) indicó que Zn, Pb, Sn, Cu, Cd y Sb se originaron principalmente de fuentes antropogénicas. Se identificaron seis causas de los elementos peligrosos en función del modelo de factorización de matriz positiva (PMF): combustión de combustibles fósiles e incendios forestales (60%), polvo de carretera (19%), emisiones relacionadas con el tráfico (9%), fundición de cobre (8%), la industria siderúrgica (2%) y un sector industrial no identificado (2%). En la evaluación de riesgo para la salud se determinó que el riesgo de cáncer de exposición por inhalación a Co, Ni, As, Cd, Sb (III) y Pb fue insignificante para niños y adultos en el sitio de muestreo (Ramirez, Sánchez, & Sánchez, 2019).

2.3 Marco Legal

En Colombia la norma vigente para la medición de Material Particulado es regido por la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017. La cual establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, en ella se encuentra los niveles máximos permisibles en condiciones de referencia para cada

contaminante criterio (PST, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃, CO) así mismo, establece la concentración a condiciones de referencia y el tiempo de exposición bajo los cuales es declarado por parte de las autoridades ambientales competentes los estados excepcionales de Prevención, Alerta y Emergencia. En la tabla 1 se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio (MINAMBIENTE, Resolución 2254, 2017).

Tabla 1. *Niveles Máximos Permisibles de Contaminantes Criterio en el Aire*

Contaminante	Nivel máximo permisible (µg/m ³)	Tiempo de exposición
PM ₁₀	50	
	75	24 horas
PM _{2.5}	25	Anual
	37	24 horas
SO ₂	50	24 horas
	100	1 hora
NO ₂	60	Anual
	200	1 hora
O ₃	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

Tabla 2. *Niveles Máximos Permisibles de Contaminantes Tóxicos en el Aire*

Contaminantes tóxicos	Nivel máximo permisible (µg/m ³)	Tiempo de exposición
Benceno	5	Anual
Plomo y sus compuestos	0,50	Anual
Cadmio	0,005	Anual
Mercurio inorgánico (vapores)	1	Anual
	260	1 Semana
Tolueno	1000	30 minutos
Níquel y sus compuestos	0,180	Anual
Hidrocarburos	0,001	Anual
Aromáticos policíclicos		

Nota: El Artículo 4 de la Resolución 2254 de 2017 establece que los niveles máximos permisibles de contaminantes tóxicos en el aire (tabla 2) a condiciones de referencia para contaminantes tóxicos del aire, teniendo en cuenta sus efectos adversos en la salud humana y el ambiente”.

3. Metodología

3.1. Selección de Puntos de Muestreo

El presente estudio abarcó dos campañas del día sin carro realizadas en el municipio de Bucaramanga, realizadas en los meses de abril y junio del 2018, en dos puntos ubicados en el intercambiador vial puerta del sol (figura 3 a.) y Club de comercio (figura 3 b). Estas campañas fueron lideradas por La Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) y laboratorio SIAM Ingeniería Ltda.

Las estaciones en donde se evaluó el contenido de PM₁₀ durante las campañas del año 2018 se instalaron en los 2 puntos indicados durante 2 días; el día previo a la campaña y el día sin carro, (cabe resaltar que los resultados obtenidos en el presente estudio solo son referentes a los días 19 de abril de 2018 y 13 de junio de 2018 jornadas estipuladas como día sin carro en la ciudad de Bucaramanga, no obstante, por ausencia de filtros, no se realizó el estudio previo a las jornadas del día sin carro) . Estas estaciones son provisionales y sólo fueron utilizadas para evaluar específicamente el impacto de la campaña.

El equipo instalado en ambas estaciones provisionales es un muestreador de partículas HI-VOL para medición de PM₁₀ es de resaltar que en estas no midieron otros contaminantes criterio ni tampoco variables meteorológicas, lo que dificulta relacionar los resultados de PM₁₀ con otros contaminantes y con condiciones climáticas.



Figura 3. Estación de Monitoreo Intercambiador Vial Puerta del Sol y Estación de monitoreo Club de Comercio.

Teniendo en cuenta el apartado anterior, la determinación de metales pesados en el material Particulado fracción respirable PM₁₀ durante las campañas del día sin carro en el municipio de Bucaramanga, son de tipo específico, ya que las estaciones son temporales y establecidas para la evaluación del impacto de las campañas.

3.2 Acondicionamiento de Filtros y Muestreo

3.2.1. Acondicionamiento. Una vez recibidos los filtros por parte del laboratorio SIAM, se transportaron al laboratorio de investigaciones ambientales de la Universidad Santo Tomás, en donde se realizó el acondicionamiento de los mismos. Para ello, se introdujeron al desecador los

cuatro filtros (2 de la campaña de abril y junio) por un periodo de 36 horas, con lo cual se finalizó la etapa de acondicionamiento. Posteriormente, se procedió a colocar cada uno de los filtros en una caja de Petri para su pesaje en la balanza analítica (EPA U. E., 1999).

3.2.2. Muestreo. Se desplegó el filtro para ser seccionado, se colocó cuidadosamente el lado muestreado hacia arriba, cuidadosamente y sin perturbar el área del filtro muestreado y con una cuchilla de corte transparente se dividió el filtro en cuatro partes iguales las cuales A, B, C,D con los dedos enguantados se desechó los lados opuestos, es decir, B y C o A y D, repitiendo esta operación hasta dejar el mínimo necesario para llevar acabo la digestión del filtro (Southgate, 2006). En la figura 2, se observa un esquema del método utilizado para el muestreo.

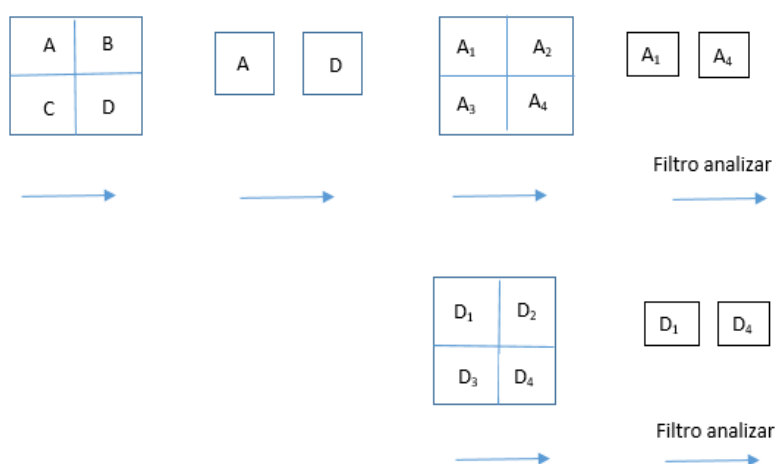


Figura 4. Método del cuarteo

3.3. Dopaje de los Filtros

Para el proceso de dopaje, cada filtro fue enriquecido con 0,4 ml de solución de 0,8 ppm de Cu, Cd, y Zn durante 24 horas. Los filtros fueron depositados en vasos de precipitado y sometidos al proceso de extracción.

3.4. Digestión de los Filtros

Para llevar a cabo el proceso digestión de los filtros se implementó el procedimiento establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), método EPA- IO 3.1 procedimiento 6.3 por extracción de ácido caliente.

Una vez finalizado el procedimiento del dopaje, el filtro acondicionado se depositó en un vaso de precipitado de 50 mL, se adicionó 3 ml de HCl y 1 ml de HNO₃, el filtro se depositó hacia abajo ubicándolo en la parte inferior del vaso de precipitado para asegurar que la solución de HCl y HNO₃ cubriera todo el filtro. Posteriormente, se colocó en una placa a 90 °C con agitación suave y constante por 30 minutos. Una vez finalizada la digestión de los filtros se realizó un lavado por las paredes del vaso de precipitado con agua desionizada, agregando aproximadamente 10 mL de agua. Luego, se dejó reposar durante 30 minutos, se filtró y se llevó a volumen de 25 mL para su posterior lectura en el espectrofotómetro (EPA U. E., 1999).

3.5. Cuantificación de Metales por Espectroscopia de Absorción Atómica

Para la lectura de metales se utilizó un espectrofotómetro de Absorción Atómica modelo Thermo Scientific, ICE 3000 series, ubicado en el laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Universidad Santo Tomás.

Para la cuantificación de metales por espectroscopia de absorción atómica se implementó el procedimiento establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), método EPA- I0 3.2 determinación de metales pesados en material Particulado por espectroscopia de absorción atómica (EPA U. E., 1999). Se prepararon estándares para la curva de calibración de cada metal (Apéndice B, C y D), estos se prepararon a partir de un patrón certificado (Mol Labs Quimiométricas) de 1000 ppm de Cu, Cd, Zn. Cada análisis se realizó por triplicado.

3.5.1 Parámetros estadísticos

Porcentaje de Recuperación: a fin de determinar la eficacia del proceso de extracción y perdidas en el proceso del mismo, se calculó el porcentaje de recuperación, para esto se utilizó un filtro blanco el cual fue enriquecido con una solución conocida de 0,8ppm y el cual fue sometido al proceso de extracción con ácido caliente para después ser pasado por el equipo de absorción atómica.

$$\%R = \frac{\overline{C_X} - C_{BK}}{C_A} * 100 \quad (1)$$

Donde:

$\overline{C_X}$: Concentración promedio de las determinaciones

C_{BK} : Concentración del Blanco

C_A : concentración adicionada

Límite de Detección: para el límite de detección se analizó 10 veces las lecturas del blanco (para el esto se utilizó filtro blanco) para cada metal y se calculó el promedio y la desviación estándar de los mismos (Apéndice E)

$$LD = Y + 3S \quad (2)$$

Y : Promedio de absorbancias

S : Desviación estándar

Límite De Cuantificación: Para el límite de cuantificación se añadió al filtro blanco una concentración conocida del analito de interés, se tuvo en cuenta que la concentración estuviera por encima del límite de detección, se realizó 10 veces la lectura del blanco y se calculó la desviación estándar (Apéndice F)

$$LD = Y + 10S \quad (3)$$

Y : Promedio de absorbancias

S : Desviación estándar.

Desviación estándar: se determinó la desviación estándar en la concentración de cada metal, así como la desviación estándar en las concentraciones hallada en m³ de aire. (Apéndice G y H)

$$S = \sqrt{\frac{\sum |x - \mu|^2}{N}} \quad (4)$$

3.5.2 Determinación de Metales por m³ de Aire

Cantidad de metal presente en la muestra

A fin de determinar la concentración del metal, se utilizó la siguiente ecuación

$$m = (C_m \times V_m \times f) - (C_b \times V_b) \quad (5)$$

Donde:

m: es la cantidad de metal presente en la muestra, en µg

C_m: es la concentración de metal en la disolución de muestra, en µg/mL

V_m: es el volumen hasta el cual la muestra ha sido diluida, en mL

f: es el factor de dilución

C_b: es la concentración media de metal en los blancos en µg/mL

V_b: es el volumen hasta el cual han sido diluidos los blancos en mL.

Concentración de metal por metro cubico de aire

La concentración de metal en aire, en miligramos por metro cúbico, se calcula según la ecuación

$$C = \frac{m}{V} \quad (6)$$

C: concentración de aire en m³

m: Cantidad de metal

V: volumen de aire muestreado

Con el fin de evaluar los niveles de Cu, Cd, Zn en el material particulado PM₁₀ se tuvo en cuenta como norma de referencia los criterios de Calidad de Aire establecidos en Ontario Canadá debido

al tiempo de exposición por 24 horas lo cual favorece las estaciones de monitoreo específicas para el estudio en los días sin carro del año 2018 (Ontario, 2019).

Tabla 3. *Niveles Máximos Permisibles de Cu, Cd, Zn*

Contaminante	Criterios de Calidad ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	Tiempo de exposición
Cobre	50	24 horas
Zinc	120	24 horas
Cadmio	0,025	24 horas

Nota: Los criterios de calidad presentados en la siguiente tabla son desarrollados por el Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Ontario Canadá.

3.6. Evaluación de Riesgos para la Salud

Se calculó los riesgos carcinogénicos para la salud en función de la exposición por inhalación a metales pesados en PM₁₀, para ello se tuvo en cuenta las siguientes ecuaciones

$$ExpC = \left(\frac{C * ET * EFR * ED}{AT} \right) \quad (7)$$

$$RC = ExpC * IUR \quad (8)$$

C: concentración del metal ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)

ET: tiempo de exposición (horas / día)

EFR: frecuencia de exposición (días / año)

ED: duración de la exposición (años)

AT: vida media (horas = años $\times$ 365 días / año $\times$ 24 h / día)

IUR: es el riesgo de la unidad de inhalación ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) -1 proporcionado por el Sistema Integrado de Información de Riesgos (IRIS). Por otra parte, la Agencia de Protección Ambiental EPA y la Agencia para las Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades ATSDR determinaron un proceso de evaluación de riesgo para salud humana y medio ambiente, para ello se tuvo en cuenta el diagrama de la figura 3 (EPA, 1989).

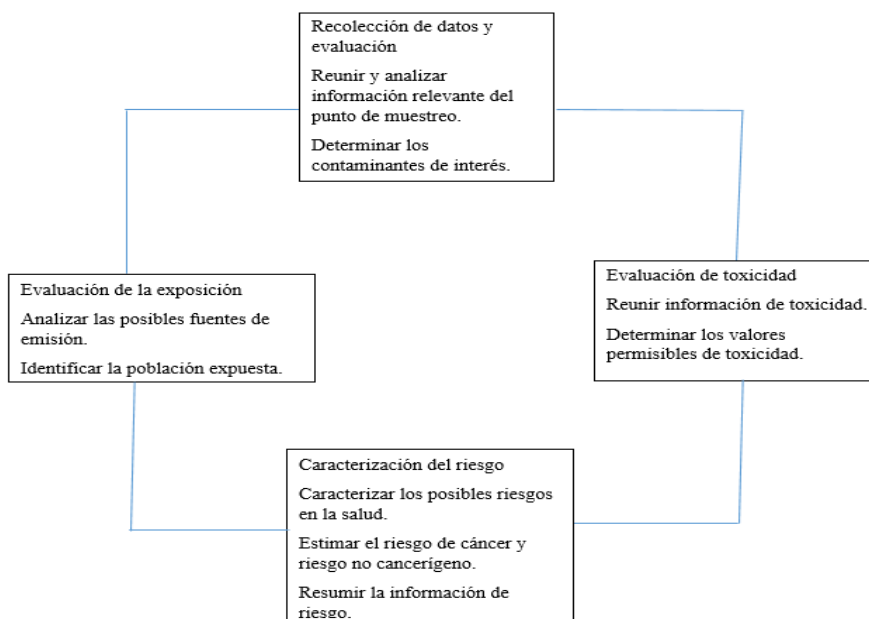


Figura 5. Diagrama del proceso de evaluación del riesgo en salud propuesto por la US-EPA

3.7. Rosa de Vientos

Con el software WRPLOT View -Wind Rose Plot View se realizó un análisis de los datos del viento, basado en el ingreso de datos meteorológicos a fin de calcular la estadística de frecuencia

del viento. Como finalidad de este programa se obtendrá una gráfica del levante del viento en cada sector eólico. Es de resaltar que las estaciones provisionales de donde se obtuvieron los filtros para el estudio no cuentan con información del clima, por lo que se utilizarán los datos de la única estación en funcionamiento que corresponde a Ciudadela Real de Minas.

Una vez se genere la Rosa de Vientos permitirá establecer la dirección del viento y se podrá conocer la posible dirección de las concentraciones del contaminante (Innovación, 2017).

4. Resultados y Discusión

4.1 Fuentes de Emisión

Para llevar acabo el inventario de fuentes de emision, se realizó el metodo de observación y conteo de vehiculos y motocicletas por un periodo de 6 horas durante los días 18 y 19 de abril de 2018 así como los días 12 y 13 de junio de 2018. Adicionalmente, se tuvo en cuenta el inventario de fuentes fijas alrededor de la puerta del sol y del club de comercio establecido por el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB).

Se observó que las principales fuentes de emisión existentes en las dos áreas de estudio se deben a la presencia de fuentes móviles derivadas de la alta presencia vehicular y su constante permanencia. Así mismo, el Área Metropolitana de Bucaramanga, en convenio con la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, durante los años 2017 y 2018 realizaron el Inventario de Emisiones Atmosféricas. Como resultado se obtuvo que las fuentes fijas más cercanas a la puerta del sol son Santandereana de Aceites (Saceites) a 9 Km, planta de harinas de Mac Pollo a 13 Km

y jardines la colina a 3,6 Km aproximadamente, tal como se evidencia en la figura 6 en el punto de monitoreo ubicado en el club de comercio no se encontró fuentes de emisión fijas cercanas.

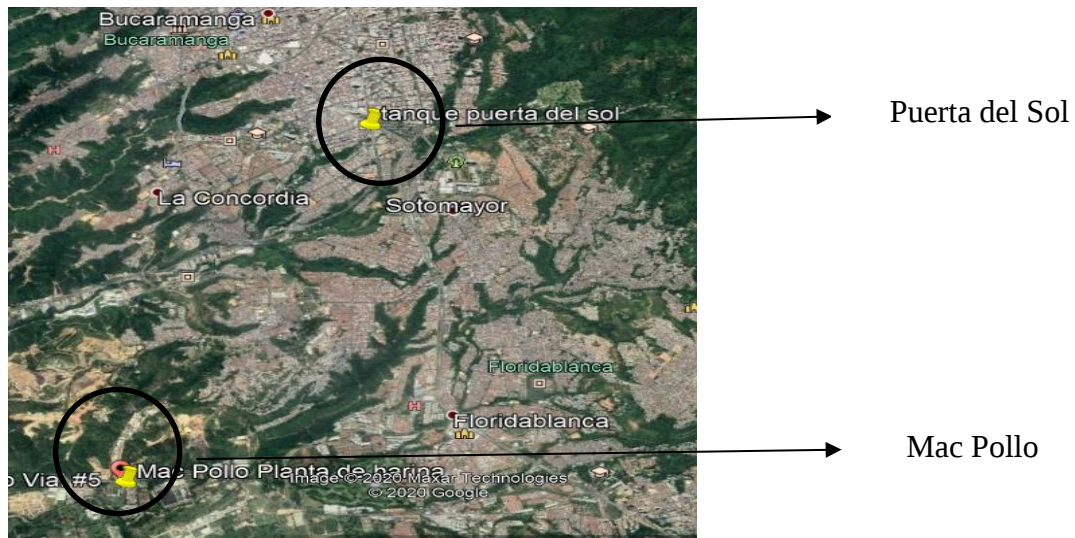


Figura 6. Ubicación geográfica fuente fija en el área de estudio Mac Pollo.

Tomado de Google Earth

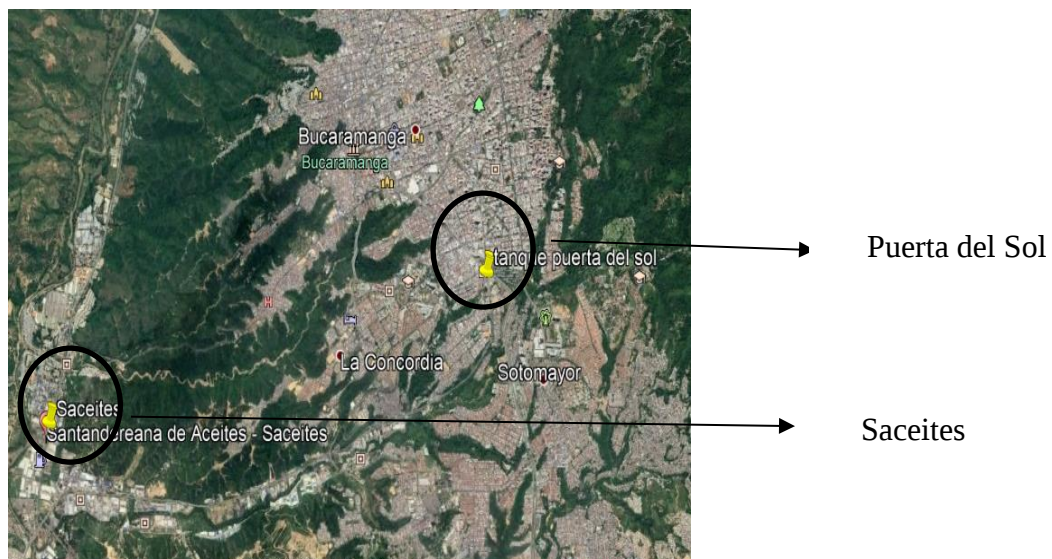


Figura 6. Ubicación geográfica fuentes fijas en el área de estudio SACEITES.

Tomado de Google Earth

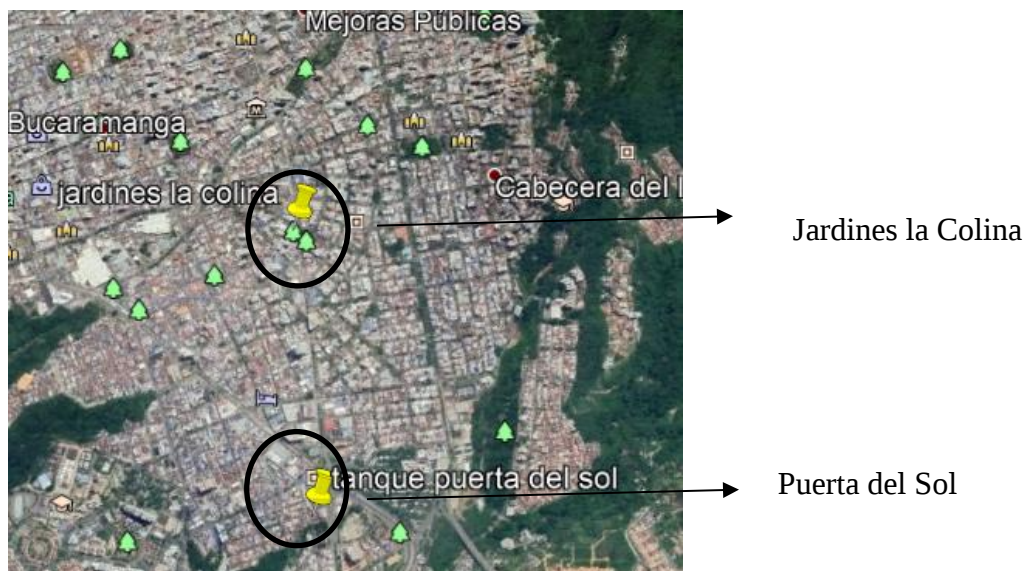


Figura 6. Ubicación geográfica fuentes fijas en el área de estudio Jardines la Colina.

Tomado de Google Earth

4.1.1 Fuentes Móviles. A fin de efectuar el inventario de fuente de emisión móvil se tuvo en cuenta la jornada del día sin carro y la jornada anterior al día sin carro, esto a fin de realizar un comparativo en la presencia vehicular.

El primer inventario de fuentes móviles se realizó el 18 y 19 de abril de 2018, el segundo inventario se realizó el 12 y 13 de junio de 2018. Para esto, la jornada fue seccionada en tres horarios diferentes para cada punto de monitoreo. En la tabla 4 se puede apreciar los horarios establecidos para el aforo en las dos jornadas del día sin carro y anterior a estas. Se realizó registro de vehículos livianos, motocicletas, transporte público, vehículos pesados en donde se tuvo en cuenta un conteo y promedio de fuentes por tipo de vehículo.

Tabla 4. *Horarios de Observación y conteo*

Puerta Del Sol	Club Comercio
8:00 am a 10:00 am	6:00am a 7:30am
2:00 pm a 4:00pm	11:00am a 1:30pm
7:00pm a 9:00pm	7:00pm a 9:00pm

La alta presencia vehicular en la carrera 27 y calle 36 se debe a que se encuentran categorizadas como principales vías en la ciudad de Bucaramanga por su conectividad con otras regiones del departamento y conectividad al interior de la ciudad. Se considera alta presencia de parque automotor, debido a que estas vías donde se ubicaron los puntos de monitoreo de tipo provisional para la evaluación del día sin carro son altamente transitados, puesto que en estas zonas se encuentran localizados sectores residenciales, comerciales, hotelería, e instituciones educativas. Se observó que, en los tres intervalos de tiempo establecidos tanto para la puerta del sol como para el club de comercio, el mayor volumen vehicular lo aportan las motocicletas y seguido los vehículos livianos en los días 18 abril y 12 de junio de 2018, tanto para la puerta del sol como para el club de comercio tal como se observa en las figuras 7 y 8.

Inventario de fuentes móviles

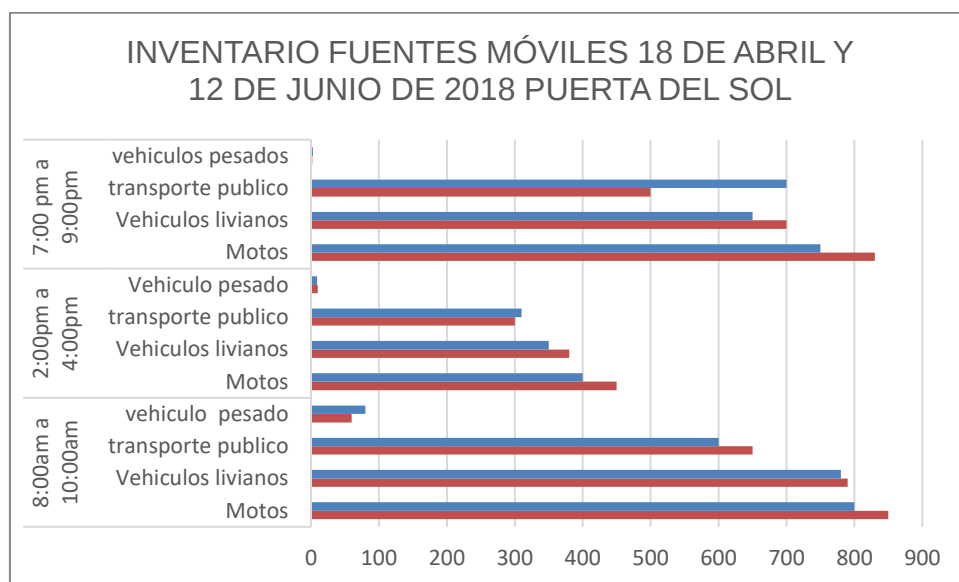


Figura 7. Inventario fuentes moviles 18 de abril y 12 de junio de 2018 Puerta del Sol

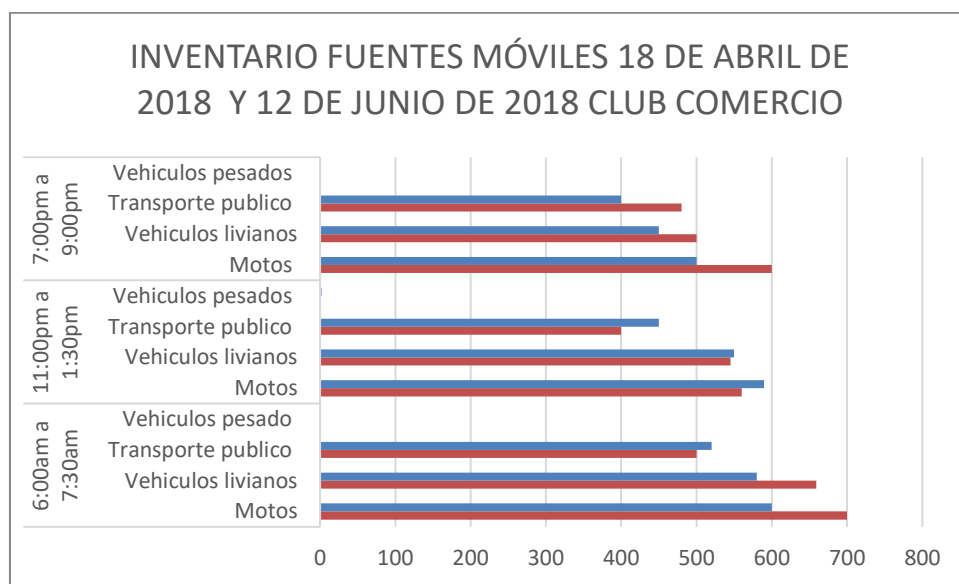


Figura 8. Inventario fuentes moviles 18 de abril y 12 de junio de 2018 Club de comercio.

Los días 19 de abril de 2018 y 13 de junio de 2018 fueron decretados días sin carro en la ciudad de Bucaramanga, implementados a partir de las 6:00am hasta las 8:00pm es decir que el flujo automotor en estos dos días disminuyó en gran proporción en referencia a motocicletas, vehículos livianos y vehículos pesados. sin embargo, aumentó significativamente el flujo del parque automotor del transporte público (buses, taxis, Metrolinea) debido al uso masivo y colectivo de los mismos, tal como se evidencia en las figuras 9 y 10

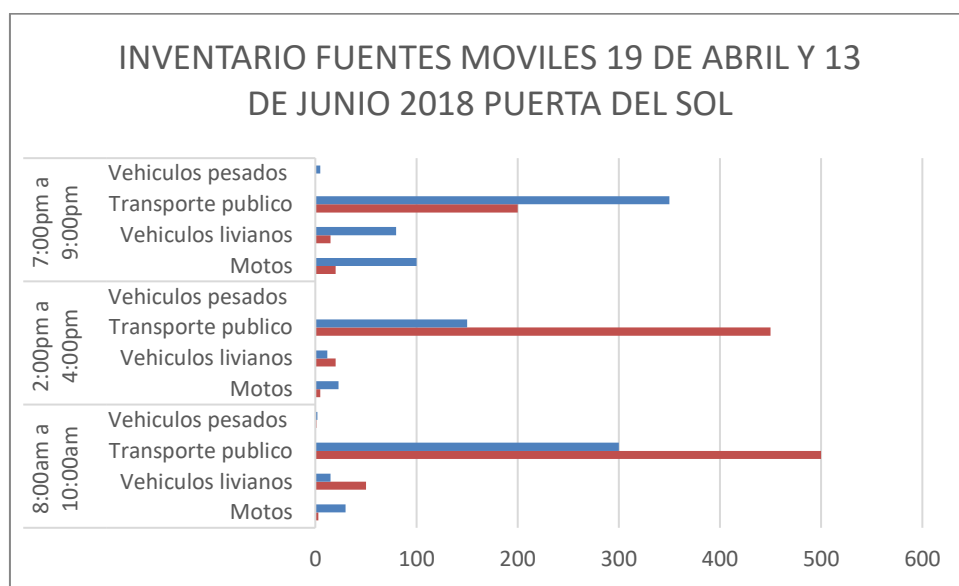


Figura 9. Inventario de fuentes móviles 19 de abril Y 13 de junio de 2018 Puerta del sol. Día sin carro

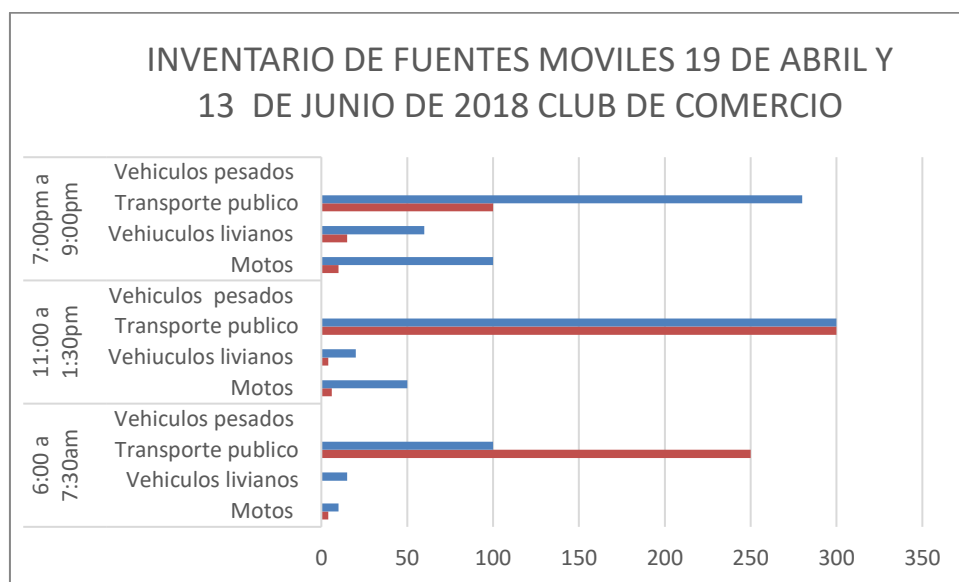


Figura 10. Inventario de fuentes moviles 19 de abril y 13 de junio de 2018 Club de comercio. Dia sin carro.

Como resultado del aforo del parque automotor presente en la puerta del sol y club de comercio se estableció en qué volumen se presenta cada fuente móvil a fin de comparar la presencia del mismo en el día sin carro y el día anterior al mismo. Encontrándose que el flujo de transporte público que utilizan diésel como combustible y los de motor a gasolina que son los taxis incrementan en el día estipulado como día sin carro, dado que en estas jornadas el transporte público opera al 100% de su capacidad. Por tanto, las concentraciones de cobre, cadmio y zinc encontradas en el presente estudio pueden estar atribuidas a la presencia de fuentes móviles como principales generadoras de contaminación atmosférica en comparación con los aportes que realizan las fuentes fijas (establecimientos comerciales e industriales).

4.2 Rosa de Vientos

Según los datos meteorológicos obtenidos por parte de la estación de monitoreo ubicada en Ciudadela Real de Minas se observó que para el día 19 de abril de 2018 la temperatura máxima registrada fue de 30,1°C en el horario de las 12:00 pm y la temperatura mínima registrada fue de 23,3°C para el periodo de las 5:00 am a 7:00 am. Así mismo, para el 13 de junio de 2018 la temperatura máxima registrada fue de 26,5°C en el horario de las 4:00 pm y la temperatura mínima registrada fue de 21,9 en el horario de las 6:00 am.

En la figura 11 se observa que para el día 19 de abril del año 2018 la dirección del viento fue hacia el norte con una velocidad media de 1,05 m/s, para el día 13 de junio del año 2018, la dirección predominante fue hacia el norte, con una velocidad media de 0,44 m/s como se muestra en la figura 12. De acuerdo con la información obtenida de la estación meteorológica, para el día 19 de abril del año 2018 se registró una velocidad máxima de 7,2 m/s, característica de vientos moderados, bonancibles con una escala Beaufort 4. Se observa movimientos en las ramas pequeñas de los árboles. El 13 de junio de 2018 se registró una velocidad máxima de 4,0 m/s caracterizados por ser vientos leves, brisa débil, las hojas de los árboles se agitan constantemente con una escala Beaufort 3 (Camargo Caicedo, Marín, & Vélez-Pereira, 2011).

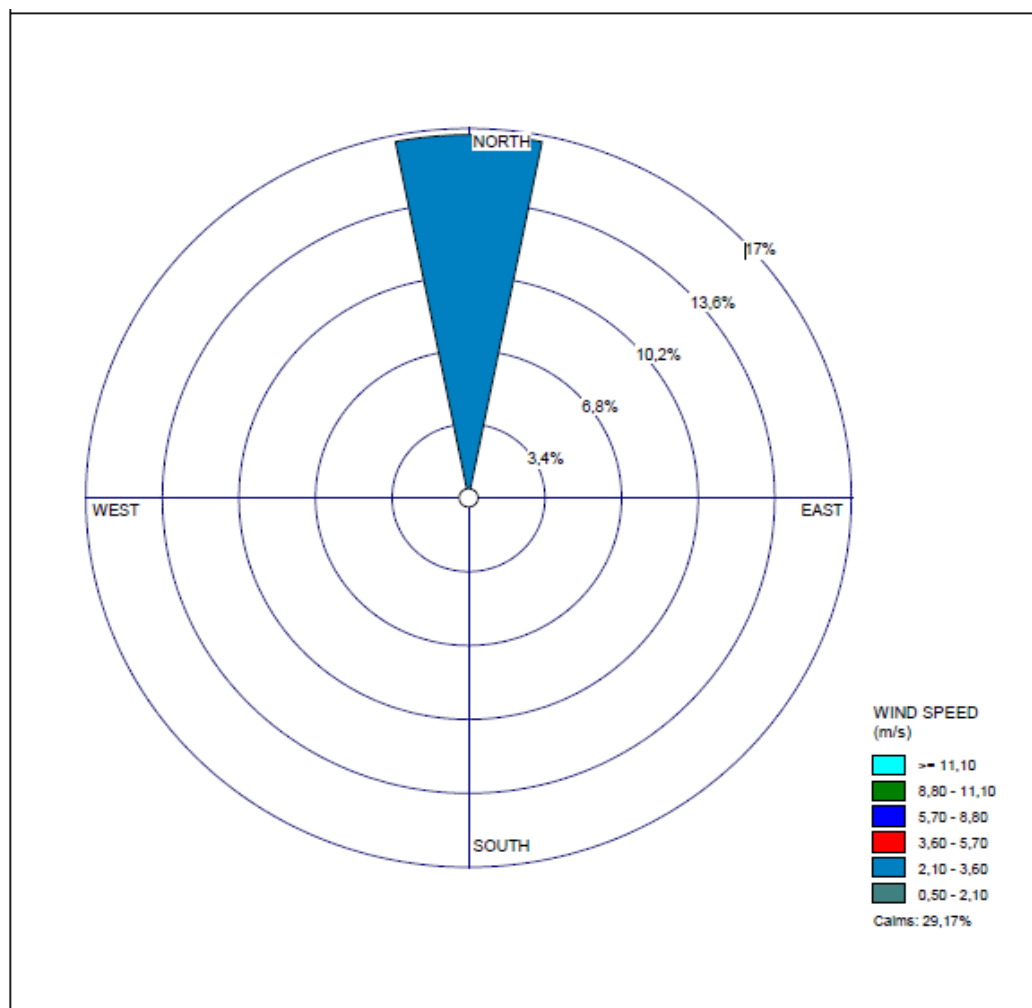


Figura 11. Rosa de vientos correspondiente al 19 de abril de 2018

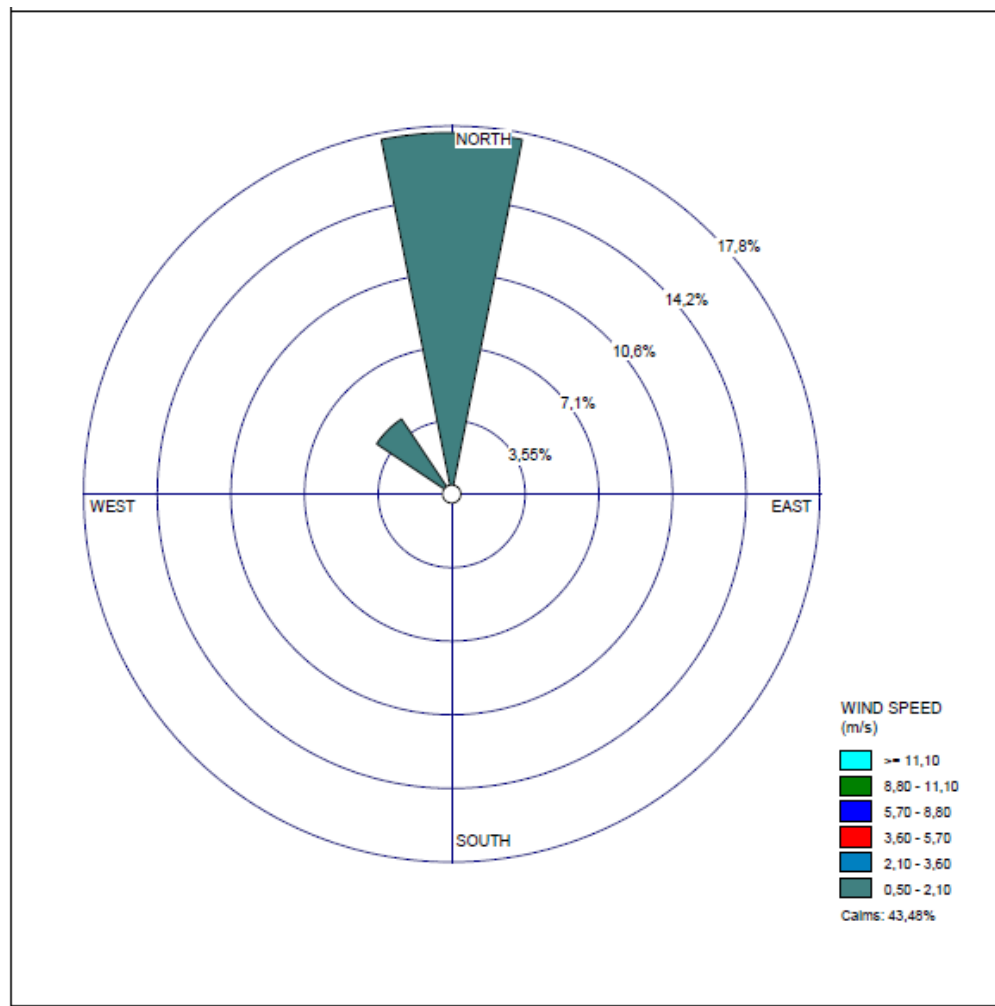


Figura 12. Rosa de vientos correspondiente al 13 de junio 2018

4.3 Comportamiento del Material Particulado

En el punto de monitoreo ubicado en la puerta del sol se encontró una concentración promedio del material particulado (PM₁₀) de 26 µg/m³ para la jornada de 19 de abril de 2018 y 19 µg/m³ para la jornada del 13 de junio de 2018. En el punto de monitoreo ubicado en el sector club de comercio

se encontró una concentración promedio de 26µg/m³ tanto para el día 19 de abril de 2018 como para el 13 de junio de 2018

4.4 Cuantificación de metales pesados en PM₁₀

4.4.1. Cobre. Se calculó el porcentaje de recuperación a fin de determinar pérdidas en la concentración de cobre durante el proceso de extracción; para la determinación del porcentaje de recuperación se tuvo en cuenta la masa registrada por el equipo de EAA y la masa del metal añadida al filtro. Los resultados mostraron un valor de 108%, lo que indica exactitud en los resultados obtenidos, así como del proceso de extracción desarrollado en donde se calculó el porcentaje de error obteniéndose un 6,2%.

A continuación, se muestra la concentración de Cobre obtenida para las jornadas del 19 de abril de 2018 y 13 de junio de 2018.

Tabla 5. *Concentración de cobre en las estaciones provisionales de la Puerta del Sol y Club de comercio*

Fecha	Punto	Concentración de metal en el filtro en mg/L	Concentración por Vol de aire de Cu (µg/m ³)
19 de abril de 2018	Puerta del Sol	0,0318	0,007
19 de abril de 2018	Club de Comercio	0,3139	0,077
13 de junio de 2018	Puerta del sol	0,0158	0,003
13 de junio de 2018	Club de comercio	0,0183	0,004

En la jornada del 19 de abril de 2018 se encontró una concentración máxima de cobre de 0,077 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ referente al sector club del comercio, para la jornada del 13 de junio de 2018 se evidenció que la concentración más alta se registró en el sector club de comercio con 0,004 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La presencia de este metal puede deberse a los vehículos diésel, ya que utilizan aditivos que poseen cobre, y que también se encuentra presente en el aceite lubricante. Es de resaltar que si bien, estas jornadas fueron determinadas como día sin carro, por tanto, disminuye el tráfico de vehículos particulares, pero aumenta significativamente el transporte público a diésel (Pachón & Sarmiento, 2008).

Tabla 6. *Comparación de Cobre frente a otros estudio*

Ciudad y estación de monitoreo	Concentración de cobre por Vol. de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bucaramanga – Est. Provisional club de comercio	0,077 (19/04/18) 0,004 (13/06/18)
Bucaramanga- Est. Ciudadela Real de Minas	0,20 (2016) 0,18 (2017)
Bucaramanga – Est. Centro	0,040
Bogotá, Puente Aranda - Est. La Merced	0,34
Riohacha – Est. Cruz Roja	0,52
Ontario's Ambient Air Quality Criteria	50

Al comparar el comportamiento de este metal frente al estudio realizado por Luisa Suarez y Dina Bermúdez en Ciudadela Real de Minas se encuentra que a pesar de no ser el mismo área de estudio, en Ciudadela Real de Minas se obtuvo una concentración de 0,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Cu en un día con congestión normal. Es decir, que la jornada de día sin carro genera un impacto positivo dado que disminuye la concentración de Cu tal como se evidencia en la tabla 6.

Teniendo en cuenta los criterios de Calidad de Aire establecidos en Ontario Canadá referentes a un tiempo de exposición de 24 horas se establece que las concentraciones de cobre determinadas en las estaciones provisionales de la puerta del sol y del club de comercio no pasan el límite máximo permisible de 50 µg/m³.

4.4.2 Zinc: se calculó el porcentaje de recuperación a fin de determinar pérdidas en la concentración de zinc durante el proceso de extracción; para la determinación del porcentaje de recuperación se tuvo en cuenta la masa registrada por el equipo de EAA y la masa del metal añadida al filtro. Los resultados mostraron un valor de 103%, lo que indica exactitud en los resultados obtenidos, así como del proceso de extracción desarrollado en donde se calculó el porcentaje de error obteniéndose un 3,7%.

A continuación, se muestra la concentración de zinc obtenida para la jornada del 19 de abril de 2018 y 13 de junio de 2018.

Tabla 7. *Concentración de Zn en las estaciones provisionales de la Puerta del Sol y Club de comercio*

<u>Fecha</u>	<u>Punto</u>	<u>Concentración de metal en el filtro en mg/L</u>	<u>Concentración por Vol de aire de Zn (µg/m³)</u>
19 de abril de 2018	Puerta del Sol	1,3084	0,33
19 de abril de 2018	Club de Comercio	0,8277	0,20
13 de junio de 2018	Puerta del sol	0,6705	0,16
13 de junio de 2018	Club de comercio	0,6155	0,15

En la jornada del 19 de abril de 2018 se encontró una concentración máxima de zinc de 0,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ referente al sector puerta del sol, para la jornada del 13 de junio de 2018 se evidenció que la concentración más alta de zinc se registró en el sector puerta del sol con una concentración de 0,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estas concentraciones pueden atribuirse a procesos antrópicos como la presencia de vehículos diésel, el frotamiento de las ruedas con el pavimento, y el desgaste de los frenos. Como consecuencia, se libera partículas de zinc en el aire (Pachón & Sarmiento, 2008).

De acuerdo con los otros dos metales de estudio, el zinc presenta concentraciones más altas, esto puede deberse a que en el intercambiador puerta del sol se desprenden vías hacia la autopista con sentido Floridablanca, hacia la carrera 27 y continua hasta el sector entre los barrios la Victoria y la Salle donde se convierte en la Autopista a Girón y Lebrija, siendo una de las principales vías de la ciudad de Bucaramanga, es decir, una de las vías con mayor flujo vehicular.

Tabla 8. *Comparación de la concentración de Zinc frente a otros estudios*

Ciudad y estación de monitoreo	Concentración de zinc por Vol. De aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bucaramanga – Est. Provisional puerta del sol	0, 33(19/04/18)
	0, 16 (13/06/18)
Bucaramanga- Est. Ciudadela Real de Minas	0,037 (2016)
	0,059 (2017)
Bucaramanga – Est. Centro	0,050
Riohacha – Est. Cruz Roja	1,94
Bogotá, Puente Aranda - Est. La Merced	5,07
Ontario's Ambient Air Quality Criteria	120

Al comparar el comportamiento de este metal frente al estudio realizado por Luisa Suarez y Dina Bermúdez en Ciudadela Real de Minas se encuentra que a pesar de no ser el mismo área de estudio, en Ciudadela Real de Minas se obtuvo una concentración de 0,037 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Zn en un día con congestión normal. Como se observa en la tabla 8 en el día sin carro en los puntos de monitoreo la concentración de Zn es mayor frente a los resultados obtenidos en el estudio de Ciudadela Real de Minas, esto se debe al aumento del transporte público puesto que en las jornadas del día sin carro se opera con el 100% de la capacidad de taxis, buses y Metrolinea que son vehículos diésel, que por su proceso de combustión emite partículas de Zinc al medio ambiente.

Teniendo en cuenta los criterios de Calidad de Aire establecidos en Ontario Canadá referentes a un tiempo de exposición de 24 horas, se establece que las concentraciones de Zinc determinadas en el presente estudio en las estaciones provisionales de la puerta del sol y del club de comercio no pasan el límite máximo permisible de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.4.3 Cadmio. Se calculó el porcentaje de recuperación a fin de determinar pérdidas en la concentración de cadmio durante el proceso de extracción; para la determinación del porcentaje de recuperación se tuvo en cuenta la masa registrada por el equipo de EAA y la masa del metal añadida al filtro. Los resultados mostraron un valor de 128%, lo que indica exactitud en los resultados obtenidos, así como del proceso de extracción desarrollado en donde se calculó el porcentaje de error obteniéndose un 6,2%.

A continuación, se muestra la concentración de cadmio obtenida para la jornada del 19 de abril de 2018 y 13 de junio de 2018

Tabla 9. *Concentración de Cd en las estaciones provisionales de la Puerta del Sol y Club de comercio*

Fecha	Punto	Concentración de metal en el filtro mg/L	Concentración por Vol de aire de Cd ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
19 de abril de 2018	Puerta del Sol	0,0078	0,001
19 de abril de 2018	Club de Comercio	0,0086	0,002
13 de junio de 2018	Puerta del sol	0,0069	0,001
13 de junio de 2018	Club de comercio	0,0066	0,001

De acuerdo con la tabla 9 se evidencia que para la jornada del 19 de abril de 2018 en el club de comercio la concentración de cadmio es de $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es mayor frente a la concentración registrada para ese mismo día en el sector intercambiador puerta del sol, sin embargo, para la jornada del 13 de junio de 2018 la concentración de cadmio fue proporcional para los dos puntos de monitoreo. La presencia de este metal puede atribuirse a la presencia del mismo en la combustión de vehículos diésel y en las partículas de polvo de caucho provenientes de las ruedas de los vehículos (Pachón & Sarmiento, 2008).

Tabla 10. *Comparación de Cadmio frente a otros estudio*

Ciudad y estación de monitoreo	Concentración de cadmio por Vol. de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bucaramanga – Est. Provisional club de comercio	0,002 (19/04/18) 0,001 (13/06/18)
Quito-Zambizana	0,033
Bogotá, Puente Aranda - Est. La Merced	0,84
Ontario's Ambient Air Quality Criteria	0,025

A fin de comparar la concentración de Cadmio frente a un estudio realizado en la ciudad de Bucaramanga, no se encontró estudios a fines del proyecto. Sin embargo, en la ciudad de Bogotá, la Universidad de la Salle determinó la concentración de cadmio en la localidad de Puente Aranda, en donde se obtuvo una concentración de $0,84 \mu g/m^3$.

Teniendo en cuenta los criterios de Calidad de Aire establecidos en Ontario Canadá referentes a un tiempo de exposición de 24 horas, se establece que las concentraciones de cadmio determinadas en el presente estudio en las estaciones provisionales de la puerta del sol y del club de comercio no pasan el límite máximo permisible de $0,025 \mu g/m^3$.

4.5 Evaluación de Riesgo para la Salud Asociado al Cáncer.

En este estudio se calculó los riesgos carcinogénicos para la salud en función de la exposición por inhalación a metales pesados en PM₁₀, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ha definido criterios para establecer categorías del efecto carcinógeno de diferentes agentes, una vez revisada las categorías, se encontró que de los tres metales de estudio (Cu, Cd, Zn) el Cd se encuentra asociado al cáncer por exposición. Se asumió que todos los adultos y niños que viven, estudian, trabajan y transportan en el área de estudio fueron receptores potenciales, y esa inhalación fue la principal vía de exposición.

Tabla 11. *Evaluación de riesgo carcinogénico para la salud en niños y adultos 19 de abril de 2018 Puerta del Sol*

Parámetros	Evaluación en adultos	Evaluación en niños
C	0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Cd	0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Cd
ET	24 horas	24 horas
EFR	111días	111días
ED	29 años	6años
AT	74años×365días×24horas	74años×365días×24horas
IUR (Iris)	$1,8 \times 10^{-3}$	
Expc	$1,19 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-5}$
RC	$2,1 \times 10^{-7}$	$4,4 \times 10^{-8}$

Tabla 12. *Evaluación de riesgo carcinogénico para la salud en niños y adultos 19 de abril de 2018 Club de comercio*

Parámetros	Evaluación en adultos	Evaluación en niños
C	0,002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Cd	0,002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Cd
ET	24 horas	24 horas
EFR	111días	111días
ED	29 años	6años
AT	74años×365días×24horas	74años×365días×24horas
IUR (Iris)	$1,8 \times 10^{-3}$	
Expc	$2,3 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-5}$
RC	$4,2 \times 10^{-7}$	$8,8 \times 10^{-8}$

Se realizó la evaluación de riesgos para la salud del cadmio con La concentración encontrada en el PM₁₀. Para ello se utilizó las ecuaciones (7) y (8) del apartado 3.6 del diseño metodológico.

Como se observa en las tablas 11 y 12 se obtuvo una concentración de exposición de $2,1 \times 10^{-7}$ para jóvenes adultos, y $4,4 \times 10^{-8}$ en niños referente al punto de monitoreo ubicado en el intercambiador puerta del sol. En el punto de monitoreo del club de comercio $4,2 \times 10^{-7}$ en jóvenes adultos, y en niños $8,8 \times 10^{-8}$. Según la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos el mínimo de exposición es de 1×10^{-6} y el umbral máximo o por encima de 1×10^{-4} es considerado grave, por tanto, teniendo en cuenta los resultados obtenidos se logra determinar que el riesgo de cáncer era inferior a 1×10^{-6} para una exposición por inhalación al Cd. Por lo tanto, el riesgo fue insignificante para los dos puntos de monitoreo en la fecha del 19 de abril de 2018 jornada del día sin carro. Sin embargo, aunque es una exposición insignificante cabe resaltar que, aunque no es una exposición que puede generar problemas asociados al cáncer, una exposición permanente, puede producir un riesgo para la salud a largo plazo generando irritación en la mucosa e irritación en la garganta.

Para la jornada del 13 de junio de 2018 se calculó los riesgos carcinogénicos para la salud en función de la exposición por inhalación a metales pesados en PM₁₀, realizando el mismo procedimiento descrito en la jornada del día 19 de abril de 2018.

Tabla 13. *Evaluación de riesgo carcinogénico para la salud en niños y adultos 13 de junio de 2018 puerta del sol y club de comercio.*

Parámetros	Evaluación en adultos	Evaluación en niños
C	$0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ Cd}$	$0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ Cd}$
ET	24 horas	24 horas
EFR	163 días	163 días
ED	29 años	6 años
AT	74 años $\times$ 365 días $\times$ 24 horas	74 años $\times$ 365 días $\times$ 24 horas
IUR (Iris)	$1,8 \times 10^{-3}$	
Expc	$1,7 \times 10^{-4}$	$3,6 \times 10^{-5}$
RC	$3,1 \times 10^{-7}$	$6,5 \times 10^{-8}$

Como se observa en la tabla 13 se determina que las concentraciones halladas para exposición, el riesgo de cáncer es inferior a 1×10^{-6} para una exposición por inhalación al Cd, por tanto, el riesgo también es catalogado como insignificante para los dos puntos de monitoreo ubicados en el intercambiador puerta del sol y club de comercio.

4.5.1. Evaluación de Riesgo para la Salud

Tabla 14. *Evaluación Asociada a riesgos para la Salud*

Información relevante puntos de monitoreo	Evaluación de toxicidad	Caracterización del riesgo	Evaluación de la exposición
Calle 36 con carrera 21 (esquina club de comercio) es un punto de monitoreo importante por su alta presencial vehicular y de transeúnte. Se encuentra rodeado por zona residencial, entidades educativas, zona comercial, entidades bancarias. Según el POT del municipio la calle 36 es una vía de red local municipal, pasa por el centro de la ciudad y las Avenida González Valencia y la Rosita.	Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos el cobre no se encuentra categorizado como carcinogénico por exposición oral y tampoco por inhalación. Sin embargo, la Administración de Salud y Seguridad ocupacional (OSHA) de Estados Unidos, ha designado un límite de exposición permisible de 1mg/m ³ .	Los riesgos carcinogénicos para la salud en función de la exposición por inhalación a metales pesados en PM ₁₀ solo es aplicable para evaluar al cadmio, en el cual se pudo determinar que la concentración es insignificante y no genera riesgo cancerígeno para las personas aledañas a los puntos de monitoreo.	Como posibles fuentes de emisión encontramos las fuentes móviles que utilizan como principal combustible el diésel (transporte público). Dado que las zonas de monitoreo son puntos estratégicos en la ciudad de Bucaramanga por alta presencial vehicular y de transeúntes.

Tabla 14. (*Continuación*)

Información relevante puntos de monitoreo	Evaluación de toxicidad	Caracterización del riesgo	Evaluación de la exposición
La estación de monitoreo ubicada en el tanque de la puerta del sol es un punto estratégico en la ciudad de Bucaramanga, se encuentra sobre la carrera 27 Conocida también como Avenida Próspero Pinzón, cruza la ciudad de Norte a Sur, inicia en la Universidad Industrial de Santander y cruza la ciudad de norte a sur. Según el POT de municipio la carrera 27 esta categorizada como vía de red Arteria, puesto su conectividad con la red nacional y local. Este punto de monitoreo se encuentra ubicado en un sector residencial, estaciones de servicio vehicular, restaurantes y hoteles, así como zona comercial.	La toxicidad del cadmio se encuentra categorizada en agua, alimentos e inhalación. NOAEL 0,0005 mg/Cd / Kg/ día por agua, NOAEL 0,001 mg/ Cd/ Kg/ día por alimento, la estimación cuantitativa del riesgo carcinogénico por inhalación es de 0,0018µg/ m³. El Zinc no es clasificable como carcinogénico en seres humanos.	Los riesgos carcinogénicos para la salud en función de la exposición por inhalación a metales pesados en PM₁₀ solo es aplicable para evaluar al cadmio, en el cual se pudo determinar que la concentración es insignificante y no genera riesgo cancerígeno para las personas aledañas a los puntos de monitoreo.	En este estudio se asumió que todas las personas tanto jóvenes como adultos están expuestos a la presencia de metales pesados.

Conclusiones

Que las concentraciones de material particulado PM₁₀, presente en los dos sectores de estudio, no presentó valores altos (puerta del sol 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 19 de abril de 2018 y 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 13 de junio) (club de comercio 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tanto para el 19 de abril como 13 de junio de 2018) en cuanto a la generación de riesgos en la salud de la población teniendo en cuenta la Resolución 2254 de 2017 (75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por un periodo de 24 horas). Por tanto, se puede concluir que la de Calidad del aire en los dos sectores es buena, para las jornadas de 19 de abril de 2018 y 13 de junio de 2018.

Teniendo en cuenta las concentraciones de Cu, Cd, y Zn halladas en el presente estudio, se puede determinar que las concentraciones de metales pesados presente en los sectores Puerta del Sol y Club de Comercio no pasan los valores máximos permisibles por la norma de calidad Aire de Ontario Canadá (Cu: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Zn: 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Cd: 0,025 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, es de tener en cuenta que el estudio se realizó para fechas determinadas como jornadas de día sin carro en la ciudad de Bucaramanga, que una exposición prolongada puede ocasionar riesgos para la Salud a mediano y largo plazo.

De acuerdo con la evaluación de riesgo asociado a cáncer, el cadmio, metal estudiado es clasificado como carcinogénico, sin embargo, las concentraciones halladas en el sector Puerta del Sol y Club de Comercio no son concentraciones potenciales que sean asociadas a un riesgo carcinogénico.

Recomendaciones

Este trabajo puede convertirse en una herramienta importante para estudios posteriores para evaluar las concentraciones de metales pesados realizando un comparativo en la jornada del día sin carro y un día previo al mismo, es necesario realizar este tipo de análisis en jornadas diferentes a fin de realizar un comparativo del comportamiento del material particulado, así como las concentraciones de los metales.

Es importante realizar estudios epidemiológicos a fin de prevenir eventos en la salud debido a la exposición en corto, mediano y largo plazo, por ello, se recomienda realizar un análisis multiciudad que va a permita una clara correlación entre la contaminación atmosférica y los efectos en la salud de los habitantes.

Es importante seguir realizando estudios de las concentraciones de metales pesados debido al riesgo potencial que puede representar su impacto en el medio ambiente y la salud humana.

Este estudio puede ser usado como base para que las autoridades competentes puedan tomar acciones de mitigación para el mejoramiento de la calidad del aire para beneficio de las comunidades

Referencias Bibliográficas

- Acuerdo 011 del 2014. de Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Bucaramanga. 21 de Mayo de 2014.[Alcaldía de Bucaramanga]
- Arciniegas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fraccion respirable PM₁₀. Revista Luna Azul, p.195-213.
- Arciniegas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fraccion respirable PM₁₀. Revista Luna Azul, p.195-213.
- Argumedo, C.J., y Castillo, J. (2016). Caracterización química de material particulado PM₁₀ en la atmósfera de La Guajira, Colombia. Revista Colombiana de Quimica, Vol 45, p. 19-29.
- Argumedo, C.J., y Castillo, J. (2016). Caracterización química de material particulado PM₁₀ en la atmósfera de La Guajira, Colombia. Revista Colombiana de Quimica, Vol 45, p. 19-29.
- Baek, S.O., Suvarapu, L.N., (2016). Determination of heavy metals in the ambient atmosphere. Toxicology and Industrial Health, vol. 33, p. 79-96.
- Baek, S.O., Suvarapu, L.N., (2016). Determination of heavy metals in the ambient atmosphere. Toxicology and Industrial Health, vol. 33, p. 79-96.
- Baek, S.O., Suvarapu, L.N., (2016). Determination of heavy metals in the ambient atmosphere. Toxicology and Industrial Health, vol. 33, p. 79-96.

- Becerra, L.C., Gafaro, A., y Rojas, N.Y., (2015). «Influence of precipitation scavenging on the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio at the Kennedy locality of Bogotá, Colombia,» Revista de la facultad de Ingenieria, p. 5-35,
- Becerra, L.C., Gafaro, A., y Rojas, N.Y., (2015). «Influence of precipitation scavenging on the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio at the Kennedy locality of Bogotá, Colombia,» Revista de la facultad de Ingenieria, p. 5-35,
- Bermúdez, D y Suarez, L. (2018) Determinación de metales pesados en el material particulado fracción respirable PM₁₀ de la estación de monitoreo Ciudadela Real de Minas de la Ciudad de Bucaramanga, Tesis de grado publicada. Universidad Santo Tomas, Bucaramanga, Colombia 2018.
- Bermúdez, D y Suarez, L. (2018) Determinación de metales pesados en el material particulado fracción respirable PM₁₀ de la estación de monitoreo Ciudadela Real de Minas de la Ciudad de Bucaramanga, Tesis de grado publicada. Universidad Santo Tomas, Bucaramanga, Colombia 2018
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2010) Informe anual de calidad del aire de Bucaramanga. Disponible en el sitio web <http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/569-informe-de-calidad-del-aire-2010-1/file>.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2010) Informe anual de calidad del aire de Bucaramanga. Disponible en el sitio web <http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/569-informe-de-calidad-del-aire-2010-1/file>.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2010) Informe anual de calidad del aire de Bucaramanga. Disponible en el sitio web <http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/569-informe-de-calidad-del-aire-2010-1/file>.

Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga. (2017). La calidad del aire que respiran bumangueses está entre buena y moderada. Recuperando el 13 de junio del 2019: <http://www.cdmb.gov.co/web/ciudadano/prensa/noticias/item/4350-la-calidad-del-aire-que-respiran-bumangueses-esta-entre-buena-y-moderada>.

Environmental Protection Agency (1991). Contaminación del aire y riesgo en la salud: Estados Unidos. Disponible en el sitio web https://www3.epa.gov/airtoxics/3_90_024sp.html.

Environmental Protection Agency (1991). Contaminación del aire y riesgo en la salud: Estados Unidos. Disponible en el sitio web https://www3.epa.gov/airtoxics/3_90_024sp.html.

Environmental Protection Agency (1999) «Compendium method io-3.2, determination of metals in ambient particulate matter using atomic absorption (aa) spectroscopy. Estados Unidos., Disponible en el sitio web <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/inorganic/mthd-3-2.pdf>.

Environmental Protection Agency (1999) «Compendium method io-3.2, determination of metals in ambient particulate matter using atomic absorption (aa) spectroscopy. Estados Unidos Disponible en el sitio web <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/inorganic/mthd-3-2.pdf>.

- Environmental Protection Agency (1999). Selection, Preparation and Extraction Of Filter material. Estados Unidos. Disponible en el sitio web <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-io-3.1.pdf>.
- Gilmutdinov, A. (2017). «Atomic Absorption, Theory,» Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition), pp. 44-51
- Gilmutdinov, A. (2017). «Atomic Absorption, Theory,» Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition), pp. 44-51.
- Gobierno de México (2007). Tipos y fuentes de contaminación atmosférica: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Disponible en el sitio web <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>.
- Gobierno de México (2007). Tipos y fuentes de contaminación atmosférica: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Disponible en el sitio web <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>.
- Gobierno de Ontario. (2019). Criterios de calidad del aire ambiental de Ontario, ordenados por nombre de contaminante. Disponible en el sitio web <https://www.ontario.ca/page/ontarios-ambient-air-quality-criteria-sorted-contaminant-name>.
- Informe de la Calidad de Aire del Área Metropolitana de Bucaramanga. Area Metropolitana de Bucaramanga-Alcaldía de Bucaramanga-Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la meseta de Bucaramanga-Universidad pontificia Bolivariana. Marzo 2017.

Informe de la Calidad de Aire del Área Metropolitana de Bucaramanga. Area Metropolitana de Bucaramanga-Alcaldía de Bucaramanga-Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la meseta de Bucaramanga-Universidad pontificia Bolivariana. Marzo 2017.

Informe de la Calidad de Aire del Área Metropolitana de Bucaramanga. Area Metropolitana de Bucaramanga-Alcaldía de Bucaramanga-Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la meseta de Bucaramanga-Universidad pontificia Bolivariana. Marzo 2017

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (2006). Estandarización de Métodos analíticos Disponible en el sitio web http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38152/Estandarizacion_metodos_analaticos.pdf/934bd941-dd47-4501-8507-d2721ef4f316.

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (2012). Informe del estado de la calidad de aire en Colombia. Disponible en el sitio web <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0>.

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (2012). Informe del estado de la calidad de aire en Colombia. Disponible en el sitio web <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0>.

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (2013). Emisiones por Fuentes móviles. Bogota: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Disponible en el sitio web <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-moviles>.

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (2016). Contaminación Atmosférica. Disponible en el sitio web <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (2016). Contaminación Atmosférica. Disponible en el sitio web <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (2016). Contaminación Atmosférica. Disponible en el sitio web <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>.

Londoño, L., Muñoz, P y Garcia, F., (2016). Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud humana y Animal. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, vol 14, p. 145-153.

Londoño, L., Muñoz, P y Garcia, F., (2016). Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud humana y Animal. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, vol 14, p. 145-153.

Machado, A., Garcia, N., Garcia, C., Acosta, L., Cordova, A., Linares, M., Giraldoto, D y Velasquez, H., (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni, Cr) en aire, sedimento

de suelos y viales en una zona de alto trafico vehicular. Revista Internacional de contaminacion ambiental, vol 24, p. 171-182

Machado, A., Garcia, N., Garcia, C., Acosta, L., Cordova, A., Linares, M., Giraldeth, D y Velasquez, H., (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni, Cr) en aire, sedimento de suelos y viales en una zona de alto trafico vehicular. Revista Internacional de contaminacion ambiental, vol 24, p. 171-182

Machado, A., Garcia, N., Garcia, C., Acosta, L., Cordova, A., Linares, M., Giraldeth, D., y Velasquez, H (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni, Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. Revista Internacional de contaminación ambiental, p. 171-182.

Machado, A., Garcia, N., Garcia, C., Acosta, L., Cordova, A., Linares, M., Giraldeth, D., y Velásquez, H (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni, Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. Revista Internacional de contaminación ambiental, p. 171-182.

Martinez, M., Guzman, M., Cabrera A y Fernandez, A., (2014). Presencia de metales pesados en material particulado en aire, estación de monitoreo INHEM, Centro Habana. Disponible en el sitio web <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/Ecosolar52/HTML/articulo01N.htm>.

Martinez, M., Guzman, M., Cabrera A y Fernandez, A., (2014). Presencia de metales pesados en material particulado en aire, estación de monitoreo INHEM, Centro Habana. Disponible en el sitio web <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/Ecosolar52/HTML/articulo01N.htm.M>.

Megido, L., Suarez, B., Negral, L., Castrillón, L., Suarez, S., y Fernandez, Y., (2016).

Relationship between physico-chemical characteristics and potential toxicity of PM10.

Chemosphere ELSEVIER, p. 73-79.

Megido, L., Suarez, B., Negral, L., Castrillón, L., Suarez, S., y Fernandez, Y., (2016).

Relationship between physico-chemical characteristics and potential toxicity of PM10.

Chemosphere ELSEVIER, p. 73-79.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Contaminación Atmosférica, Bogota,

Disponible en el sitio web

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1801:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-2>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Contaminación Atmosférica, Bogota,

Disponible en el sitio web

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1801:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-2>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial (2008) por lo cual se establecen las

normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmosfera por fuentes

Fijas y se dictan otras disposiciones, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo

territorial. Disponible en el sitio web

<http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/f0Resoluci%C3%B3n%20909%20de%202008%20%20%20Normas%20y%20estandares%20de%20emisi%C3%B3n%20Fuentes%20fijas.pdf>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Bogotá. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: Disponible en el sitio web <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Bogotá. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: Disponible en el sitio web <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>.

Observatorio de Salud pública de Santander (2016). Contaminación atmosférica y sus efectos en la salud en Bucaramanga. Bucaramanga: Observatorio de Salud pública de Santander Disponible en el sitio web <https://web.observatorio.co/niveles-de-contaminacion-en-bucaramanga/>.

Observatorio de Salud pública de Santander (2016). Contaminación atmosférica y sus efectos en la salud en Bucaramanga. Bucaramanga: Observatorio de Salud pública de Santander. Disponible en el sitio web <https://web.observatorio.co/niveles-de-contaminacion-en-bucaramanga/>.

Pachón, J., & Sarmiento, H. (2008). Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá- Colombia. Revista de la facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, vol 43, p. 120-133.

Pérez, J.E., (2007). La Calidad de Aire en Colombia: un Problema de salud Pública en Colombia. Revista Biosalud, pp. 5-8.

Pérez, J.E., (2007). La Calidad de Aire en Colombia: un Problema de salud Pública en Colombia. Revista Biosalud, pp. 5-8.

Perez, L., Silva, J., Perez, P., Brango, H., Salcedo, S., Hoyos, L.S., Souza, C., Dias, J., Agudelo, D., Toscano, M., Perez y Henriques, J., (2018). Cytogenetic instability in populations with residential proximity to open-pit coal mine in Northern Colombia in relation to PM10 and PM2.5 levels. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, p. 453-466.

Perez, L., Silva, J., Perez, P., Brango, H., Salcedo, S., Hoyos, L.S., Souza, C., Dias, J., Agudelo, D., Toscano, M., Perez y Henriques, J., (2018). Cytogenetic instability in populations with residential proximity to open-pit coal mine in Northern Colombia in relation to PM10 and PM2.5 levels. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, p. 453-466. L. Suvarapu y B. S. OK, «Determination of heavy metals in the ambient atmosphere,» *Toxicology and Industrial Health* , pp. 79-96, 2017.

Perez, L.F y Hernandez, L., (2008). Determinación de metales pesados en particulas respirables de identificación de fuentes de emisión , a partir de un muestreo atmosferico en la localidad Puente Aranda en la ciudad de Bogota. Tesis de grado. Universidad de la Salle, Bogota, Colombia. Disponible en el sitio web: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14803/00798274.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Perez, L.F y Hernandez, L., (2008). Determinación de metales pesados en particulas respirables de identificación de fuentes de emisión , a partir de un muestreo atmosferico en la localidad Puente Aranda en la ciudad de Bogota. Tesis de grado. Universidad de la Salle, Bogota, Colombia. Disponible en el sitio web: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14803/00798274.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ramirez, O., Sánchez A y Sánchez, D., (2019). Hazardous trace elements in thoracic fraction of airborne particulate matter: Assessment of temporal variations, sources, and health risks in a megacity. Science Total Environment, p.12.
- Ramirez, O., Sánchez A y Sánchez, D., (2019). Hazardous trace elements in thoracic fraction of airborne particulate matter: Assessment of temporal variations, sources, and health risks in a megacity. Science Total Environment, p.12.
- Ramos, M. (2002). Niveles estandar de Cu, Zn y Co y evaluación de la contaminación en los suelos de invernaderos de la comarca del poniente Almeria, España. Revista Edafologia, p. 283-294.
- Ramos, M. (2002). Niveles estandar de Cu, Zn y Co y evaluación de la contaminación en los suelos de invernaderos de la comarca del poniente Almeria, España. Revista Edafologia, p. 283-294.
- Resolución 2254 del 2017. Por lo cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. 1 noviembre 2017. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible].

Resolución 2254 del 2017. Por lo cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. 1 noviembre 2017. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible].

Resolución 909 del 2008. por lo cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmosfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. 5 de junio de 2008. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]

Southgate, G. (2006) Composición de alimentos: reducción mediante muestreo por cuarteo. (2. ed.) Roma: Food & Agriculture Org.

Apéndices

Apéndice A. Formato para monitoreo de las fuentes móviles

Punto de Monitoreo : Estación provisional ubicada en el intercambiador puerta del sol			
Ubicación			
Fecha			
Hora de inicio		Hora final	
Jornadas :			
Responsable : Martha Lucia Bautista Betancur			
Vehículos livianos	Motocicletas	Vehículos pesados	Transporte publico

Apéndice B. Curva de Calibración Cobre.

<u>Estándar</u>	<u>Absorbancia</u>
0,2	0,0053
0,4	0,0112

0,6	0,0149
0,8	0,0200
1,0	0,0245
R ²	0,996

Apéndice C. Curva de Calibración Cadmio

<u>Estándar</u>	<u>Absorbancia</u>
0,2	0,0286
0,4	0,0738
0,6	0,1048
0,8	0,1493
1,0	0,1804
R ²	0,996

Apéndice D. Curva de Calibración Zinc.

<u>Estándar</u>	<u>Absorbancia</u>
0,2	0,0634
0,4	0,1169
0,6	0,1684
0,8	0,2306
1,0	0,2827
1,5	0,4101
R ²	0,996

Apéndice E. Determinación del límite de detección

<u>Blanco</u>	<u>Absorbancia Cu</u>	<u>Absorbancia Zn</u>	<u>Absorbancia Cd</u>
1	0,001	0,035	0
2	0	0,034	0,001
3	0	0,034	0,001
4	0	0,036	0
5	0	0,038	0
6	0	0,042	0
7	0	0,035	0
8	0	0,035	0
9	0	0,036	0
10	0	0,036	0
Promedio	0,0001	0,036	0,0002
Desviación estándar	0,0003	0,002	0,0004
Límite detección	0,001	0,042	0,001

Apéndice F. Determinación del límite de cuantificación

<u>Blanco</u>	<u>Absorbancia Cu</u>	<u>Absorbancia Zn</u>	<u>Absorbancia Cd</u>
1	0,003	0,065	0,020
2	0,003	0,070	0,015
3	0,005	0,070	0,016
4	0,002	0,069	0,016
5	0,005	0,081	0,015
6	0,005	0,079	0,024
7	0,006	0,068	0,022
8	0,004	0,068	0,021
9	0,004	0,075	0,025
10	0,005	0,080	0,016
Promedio	0,006	0,072	0,019
Desviación estándar	0,001	0,005	0,003
Limite cuantificación	0,014	0,122	0,049

Apéndice G. Desviación estándar de las concentraciones de cada metal

<u>Punto de Monitoreo</u>	<u>Cu</u>	<u>Cd</u>	<u>Zn</u>
Puerta del sol 19 de abril	0,0177	0,0023	0,0319
Club de comercio 19 de abril	0,0264	0,0023	0,0281
Puerta del sol 13 de junio	0,0158	0,0030	0,0275
Club de comercio 13 de junio	0,0206	0,0034	0,0442

Apéndice H. Desviación estándar de las concentraciones de cada metal en m³ de aire.

<u>Desviación estándar de la concentración Cu por m³ de aire</u>	<u>Desviación estándar de la concentración Zn por m³ de aire</u>	<u>Desviación estándar de la concentración Cd por m³ de aire</u>
0,0313	0,0717	0,0005