ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE DATOS DE CALIDAD DE AIRE DE LAS ESTACIONES DE BOSA PORVENIR Y ADUANILLA DE PAIBA CON EL SVCA DE BOGOTÁ

HAROL DUVÁN RODRÍGUEZ VANEGAS

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ingeniería Sanitaria.

Bogotá, Colombia

2023

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE DATOS DE CALIDAD DE AIRE DE LAS ESTACIONES DE BOSA PORVENIR Y ADUANILLA DE PAIBA CON EL SVCA DE BOGOTÁ

HAROL DUVÁN RODRÍGUEZ VANEGAS

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERA SANITARIA

Director (a): INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO JOSÉ ALEJANDRO MURAD PEDRAZA

Modalidad: Pasantía

FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, INGENIERÍA SANITARIA

BOGOTÁ, COLOMBIA

2023

RESUMEN

El presente trabajo realiza un análisis de comparación de las estaciones de monitoreo de calidad de aire ubicadas en las sedes Bosa Porvenir y la Aduanilla de Paiba de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con las estaciones seleccionadas Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire de Bogotá (SVCA) basados en la caracterización y localización, con el fin de establecer una correlación de las mediciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) para lo cual se recolecto a información registrada en la base de datos del RMCAB y en la base de datos de la UFJDC en un periodo de 26 semanas comprendido entre 01 de julio del 2022 hasta el 31 de diciembre de 2022 donde se aplicaron métodos de reconocimiento de errores a 4420 datos de concentración por estación.

El tratamiento de los datos se desarrolló con las metodologías del manual de operación de sistema de vigilancia de calidad de aire del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo para descartar las mediciones que superaran el 25% de datos inválidos, para posteriormente hacer el análisis estadístico descriptivo en el cual se estableció una correlación de 86 % entre la estación Bosa Porvenir y la estación Kennedy. Estableciendo como la mejor opción para realizar procesos de control en el futuro.

Para el caso de la estación Aduanilla de Paiba se determinó que las dos estaciones de comparación del SVCA de Bogotá, Puente Aranda y El Jazmine presenta un alto grado de correlación de los datos de PM_{10} y $PM_{2.5}$ y las dos pueden ser utilizadas para realizar controles futuros ya que su correlación es mayor al 85%.

Se establecieron diferentes franjas horarias para determinar en qué momento se realiza el mayor aporte de material particulado PM_{10} Y $PM_{2.5}$ en las diferentes distribuciones, encontrado que los días viernes y sábados son los que presentan una mayor carga de material particulado para los dos grupos de comparación. Así mismo se estableció que la franja de 06 a 09 horas representa el mayor aporte del día en las estaciones de grupo A Y la franja de 11 a 14 h para el grupo B.

SUMMARY

This work performs a comparison analysis of the air quality monitoring stations located at the Bosa Porvenir and Aduanilla de Paiba sites of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas with the selected stations of the Bogotá Air Quality Monitoring System (SVCA) based on the characterization and location, in order to establish a correlation of the measurements of particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$) for which information was collected from the RMCAB database and the UFJDC database for a period of 26 weeks from July 1, 2022 to July 1, 2022. 5) for which information registered in the RMCAB database and in the UFJDC database was collected during a period of 26 weeks from July 1, 2022 to December 31, 2022, where error recognition methods were applied to 4420 concentration data per station.

The data treatment was developed with the methodologies of the operation manual of the air quality monitoring system of the Ministry of Environment, Housing and Development to discard the measurements that exceeded 25% of invalid data, to subsequently make the descriptive statistical analysis in which a correlation of 86% was established between the Bosa Porvenir station and the Kennedy station. Establishing as the best option to carry out control processes in the future. In the case of the Aduanilla de Paiba station, it was determined that the two comparison stations of the SVCA of Bogotá, Puente Aranda and El Jazmine present a high degree of correlation of PM_{10} and $PM_{2.5}$ data and both can be used for future controls since their correlation is higher than 85%.

Different time bands were established to determine at what time the greatest contribution of PM_{10} and $PM_{2.5}$ particulate matter is made in the different distributions, and it was found that Fridays and Saturdays are the days with the highest load of particulate matter for the two comparison groups. Likewise, it was established that the period from 06:00 to 09:00 hours represents the highest contribution of the day in the stations of group A and the period from 11:00 to 14:00 hours for group B.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 12

2. OBJETIVOS 13

2.1. Objetivo General 13
2.2. Objetivos Específicos 13

3. MARCO TEÓRICO 14

3.1. Calidad de aire 14
3.2. SVCA - Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire: 15
3.3. Material particulado Material Particulado 17
3.4. La RMCAB 20
3.5. Clasificación de estaciones según las emisiones dominantes 21
3.6. Marco legal 21

4. METODOLOGÍA 23

4.1. Reconocimiento de SVCAS 23
4.2. Tratamiento y validación de datos 24
4.3. Análisis de datos 24

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS 26

5.1. Reconocimiento de SVCA 26
5.1.1. Descripción 26
5.1.2. Análisis de comparación 27
5.1.3. Descripción de estaciones 31
5.1.3.1. Grupo A 31
5.1.3.2. Grupo B 37
5.2. Recolección de información 43
5.2.1. Validación de datos 43
5.3. Análisis de datos 44
5.3.1. Análisis de estadístico de concentración PM_{10} 44
5.3.1.1. Grupo A concentración PM_{10} 44
5.3.1.2. Análisis de PM_{10} Grupo B 46
5.3.1.3. Análisis de $PM_{2.5}$ Grupo B 49
5.3.2. Análisis de diferencia de concentraciones 51
5.3.2.1. Diferencia de concentración PM_{10} grupo A 51
5.3.2.1. Diferencia de concentración PM_{10} grupo B 53
5.3.2.1. Diferencia de concentración $PM_{2.5}$ grupo B 57
5.3.3. Análisis de dispersión 59
5.3.3.1. Grupo A concentración PM_{10} 59
5.3.3.2. Grupo B concentración PM_{10} 60
5.3.3.3. Grupo B concentración $PM_{2.5}$ 61
5.3.4. Pruebas de normalidad 62
5.3.4.1. Grupo A concentración PM_{10} 62
5.3.4.2. Grupo B concentración PM_{10} 64
5.3.4.3. Grupo B concentración $PM_{2.5}$ 66
5.3.5. Correlación 68

5.3.5.1. Grupo A concentración PM_{10} 68
5.3.5.2. Grupo B concentración PM_{10} 69
5.3.5.3. Grupo B concentración $PM_{2.5}$ 69
5.3.6. Análisis de concentración días de la semana 71
5.3.6.1. Análisis de PM_{10} Grupo A 71
5.3.6.2. Análisis de PM_{10} Grupo B 72
5.3.6.3. Análisis de $PM_{2.5}$ Grupo B 72
5.3.7. Análisis de concentración franja diurna y nocturna 73
5.3.7.1. Análisis de PM_{10} Grupo A 73
5.3.7.2. Análisis de PM_{10} Grupo B 74
5.3.7.3. Análisis de $PM_{2.5}$ Grupo B 74
5.3.8. Análisis de concentración por franja horaria 75
5.3.8.1. Análisis de PM_{10} Grupo A 75
5.3.8.2. Análisis de PM_{10} Grupo B 76
5.3.8.3. Análisis de $PM_{2.5}$ Grupo B 77
6. CONCLUSIONES 78
7. RECOMENDACIONES 79
8. GLOSARIO CONCEPTOS ESTADÍSTICOS 80
8.1.1. Análisis de correlación. 80
8.1.2. Asimetría 80
8.1.3. Coeficiente de correlación. 80
8.1.4. Curtosis. 80
8.1.5. Coeficiente de determinación 81
8.1.6. Dato cuantitativo. 81
9. BIBLIOGRAFÍA 82

LISTA DE TABLAS0

Tabla 1 *Rangos de concentración, tiempo de exposición y efectos a la salud.* 20
Tabla 2 *Tipos de estaciones de medición* 21
Tabla 3 *Normativa colombina y de la ciudad de Bogotá.* 21
Tabla 4 *Matriz selección de estaciones.* 27
Tabla 5 *Descripción estación bosa porvenir (UDFJC)* 31
Tabla 6 *Descripción estación Kennedy (RMCAB).* 33
Tabla 7 *Descripción estación Ciudad Bolívar (RMCAB)* 35
Tabla 8 *Descripción estación Aduanilla de Paiba (UDFJC).* 37
Tabla 9 *Descripción estación Puente Aranda (RMCAB).* 39
Tabla 10 *Descripción estación El Jazmín (RMCAB).* 41
Tabla 11 *Estadística descriptiva de la concentración de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Kennedy* 44
Tabla 12 *Estadística descriptiva de la concentración de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar* 45
Tabla 13 *Estadística descriptiva de la concentración de PM_{10} en las estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda.* 47
Tabla 14 *Estadística descriptiva de la concentración de PM_{10} en las estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín.* 48
Tabla 15 *Estadística descriptiva de la concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda* 49
Tabla 16 *Estadística descriptiva de la concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín* 50
Tabla 17 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Kennedy* 62
Tabla 18 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar* 63
Tabla 19 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda* 64
Tabla 20 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín* 65

Tabla 21 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda* 66
Tabla 22 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*..... 67
Tabla 23 *Correlación de concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*..... 68
Tabla 24 *Correlación de concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*..... 69
Tabla 25 *Correlación de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda* 69
Tabla 26 *Correlación de concentración PM10 estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*..... 69
Tabla 27 *Correlación de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda* 70
Tabla 28 *Correlación de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*..... 70
Tabla 29 *Resumen de correlación para las estaciones de estudio.* 71

LISTADE FIGURAS

Figura 1 *Fuentes, tipos de contaminante y procesos en la implícitos en la calidad de aire.*..... 15
Figura 2 *Funcionamiento de SVCA de tecnología automática.*..... 16
Figura 3 *Proceso general de operación de un SVCA automático*..... 17
Figura 4 *Comparación de tamaños de las partículas de material particulado*..... 18
Figura 5 *Porcentaje de deposición de partículas en cada órgano del sistema respiratorio.* 19
Figura 6 *Diagrama de flujo metodología fase 1.*..... 23
Figura 7 *Diagrama de flujo metodología fase 2*..... 24
Figura 8 *Diagrama de flujo metodología fase 3.*..... 25
Figura 9 *Figura distribución de estaciones RMCAB y estaciones de estudio.*..... 26
Figura 10 *Distribución grupo A*..... 29
Figura 11 *Distribución grupo B*..... 30
Figura 12 *Fuentes de emisiones estación Bosa Porvenir.*..... 32
Figura 13 *Fuentes de emisión estación Kennedy (RMCAB).*..... 34
Figura 14 *Fuentes de emisión estación Ciudad Bolívar (RMCAB).*..... 36
Figura 15 *Fuentes de emisión estación Aduanilla de Paiba (RMCAB).*..... 38
Figura 16 *Fuentes de emisión estación Puente Aranda (RMCAB).*..... 40
Figura 17 *Fuentes de emisión estación El Jazmín (RMCAB).*..... 42
Figura 18 *Concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*..... 45
Figura 19 *Concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*..... 46
Figura 20 *Concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*..... 47
Figura 21 *Concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*..... 48
Figura 22 *Concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*..... 50
Figura 23 *Concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*..... 51
Figura 24 *Diferencia de concentración de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*. 52
Figura 25 *Diferencia de concentración de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*..... 52
Figura 26 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 18 y 19 agosto de 2022* .. 53
Figura 27 *Diferencia de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*..... 54
Figura 28 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 03 y 04 octubre de 2022*. 54

Figura 29 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 11 y 12 octubre de 2022* . 55
Figura 30 *Diferencia de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*..... 56
Figura 31 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 27 y 28 septiembre de 2022* 56
Figura 32 *Diferencia de concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda* 57
Figura 33 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 16 y 17 octubre de 2022* . 58
Figura 34 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 18 y 19 octubre de 2022* . 58
Figura 35 *Diferencia de concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín* 59
Figura 36 *Gráfico de dispersión de concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Kennedy* 60
Figura 37 *Gráfico de dispersión de concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*..... 60
Figura 38 *Gráfico de dispersión de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda* 61
Figura 39 *Gráfico de dispersión de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín* 61
Figura 40 *Gráfico de dispersión de concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda* 61
Figura 41 *Gráfico de dispersión de concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín* 61
Figura 42 *Histograma PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*..... 63
Figura 43 *Histograma PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar* 64
Figura 44 *Histograma PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda* 65
Figura 45 *Histograma PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín* 66
Figura 46 *Histograma $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda* 67
Figura 47 *Histograma $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín* 68
Figura 48 *Concentración promedio de PM_{10} por día de la semana para estaciones del grupo A* 71
Figura 49 *Concentración promedio de PM_{10} por día de la semana para estaciones del grupo B* 72

Figura 50 *Concentración promedio de $PM_{2.5}$ por día de la semana para estaciones del grupo B* 73
Figura 51 *Porcentaje de aporte de PM_{10} por franja diurna y nocturna estación Bosa Porvenir, Kennedy y Ciudad Bolívar* 73
Figura 52 *Porcentaje de aporte de PM_{10} por franja diurna y nocturna estación Aduanilla de Paiba, Puente Aranda y El Jazmín.* 74
Figura 53 *Porcentaje de aporte de $PM_{2.5}$ por franja diurna y nocturna estación Aduanilla de Paiba, Puente Aranda y El Jazmín.* 75
Figura 54 *Concentración promedio de PM_{10} por franja de 4h Grupo A* 76
Figura 55 *Concentración promedio de PM_{10} por franja de 4h Grupo B* 77
Figura 56 *Concentración promedio de $PM_{2.5}$ por franja de 4h Grupo B* 78

1. INTRODUCCIÓN

El monitoreo de la calidad de aire es cada vez más relevante para combatir los efectos presentados por las dinámicas y actividades humanas en las ciudades y países, las cuales provocan emisión de contaminantes a la atmósfera generando así un riesgo medioambiental y a la salud de las poblaciones, dado que la Organización Mundial de la salud (OMS) establece que la contaminación de aire como la mayor amenaza ambiental para la salud humana debido a su notable contribución a la carga de enfermedades. Esto es especialmente cierto para las PM_{10} tanto como $PM_{2.5}$, es decir, partículas con un diámetro aerodinámico igual o inferior a 2,5 μm, como PM_{10}, que son partículas con un diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 μm). (OMS, 2022). Por lo tanto, se establece la concentración de PM_{10} Y $PM_{2.5}$ como los contaminantes criterio de este estudio.

La implementación de los Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire (SVCA) permiten conocer la problemáticas y riesgos a las que están expuestas las zonas de medición en términos de calidad de aire y de esta forma tomar acciones que mitiguen los daños generados por las actividades humanas. La cuidad de Bogotá, cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – (RMCAB), la cual está conformada por veinte (20) estaciones monitoreo de las cuales dieciocho (18) son fijas, y dos (2) son móviles (SDA, 2021, pág. 17). Actualmente entidades educativas como la Universidad Francisco José de Caldas cuentan con su propia red de vigilancia de calidad de aire que está compuesta por seis estaciones de las cuales dos se encuentran en funcionamiento y cuatro están fuera de operación. Por tal motivo se realizará el estudio utilizando los datos obtenidos por las estaciones activas y sus equivalentes de la (RMCAB), con el fin de relacionar la información de los dos sistemas de vigilancia y establecer una validación de los datos recogidos, que permitirá determinar si existen similitud o una disparidad en la información de concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ y así concluir si: ¿existe una correlación de los datos del SVCA de Bogotá con los datos obtenidos por las estaciones de Bosa Porvenir y Aduanilla de Paiba pertenecientes a el SVCA de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas? De esta forma se podrá realizar un control entre los sistemas de vigilancia de calidad del aire.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Establecer un análisis y correlación de las concentraciones reportadas por el sistema de vigilancia de calidad de aire de la ciudad de Bogotá y las estaciones de bosa porvenir y aduanilla de Paiba de la Universidad Distrital.

2.2. Objetivos Específicos

1. Recolectar la información de las estaciones de calidad de aire de los SVCA de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y de la Universidad Distrital, para el periodo 2021 y 2022 con el fin de validarla y establecer su fluctuación o variabilidad para diferentes temporalidades.

2. Realizar la comparación de los datos reportados por cada estación de tanto del SVCA de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y de la Universidad Distrital, bajo diferentes tiempos de exposición 24 ,12, 8 o 4 horas.

3. Evaluar los dos sistemas de vigilancia de calidad de aire teniendo en cuenta sus similitudes diferencias y contrarrestarlos con los protocolos y normas establecidas para Colombia.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Calidad de aire

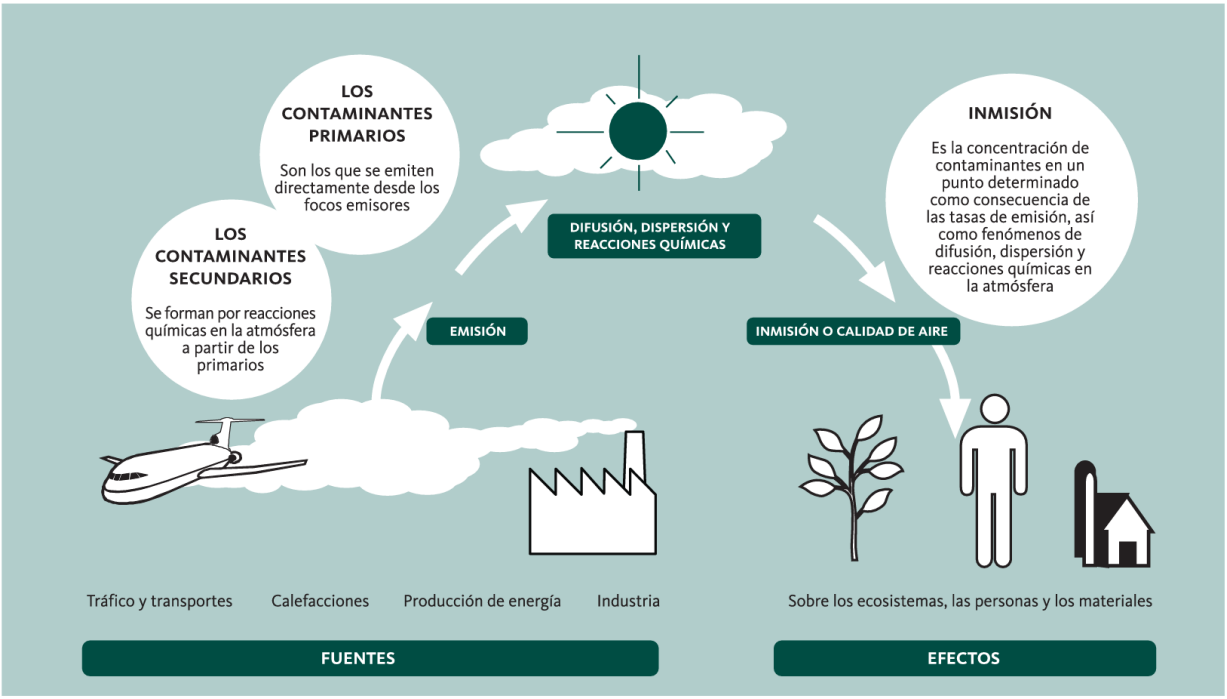
Los efectos que se presentan en la salud por estar expuesto a un aire contaminado han propiciado que tarte como un problema de alta prioridad solo en Colombia en el 2021 según estudios realizado por el Instituto Nacional de Salud (INS), se atribuye 17.549 muertes a factores de riesgo ambiental, siendo 15.681 muertes asociadas a la mala calidad del aire.
(Minsalud, 2021)
Por tal motivo entidades direccionan sus esfuerzos para mejorar las condiciones en el territorio nacional implementado leyes que definen la calidad de aire cómo la cantidad de concentración, o la transferencia por acción del viento, de contaminantes emitidos por fuentes fijas o móviles, en un tiempo concreto, a una zona receptora. (Resolución 610 de 2010). Se han identificado que los principales medios por los cuales se produce contaminación atmosférica se concentran en los procesos industriales en donde se realiza combustión, así como por fuentes móviles tales como los automóviles (IDEAM, 2021). En Colombia se presentado un incremento en las emisiones debido principalmente al crecimiento del parque automotor y una mayor actividad industrial, impulsados por el incremento de la población y a la mayor demanda de bienes y servicios, ha ocasionado el deterioro progresivo de la calidad del aire en las ciudades del país. (MADS, 2019)

Este aumento de emisiones altera la composición atmosférica aportando gases y partículas sólidas o líquidas lo cual se traduce en contaminación atmosférica según la definición del IDEAM puesto que, si las concentraciones son suficientemente altas o por tiempos prolongados que pueden afectar negativamente la salud y el bienestar de las personas, el clima, la vida de los animales y plantas, así como los materiales y otros componentes del medio ambiente natural. Este fenómeno puede presentarse en varias escalas espaciales a nivel global, regional o local; en este último, las emisiones de los contaminantes suelen ocurrir en zonas aledañas a los sitios de monitoreo y son de tipo industrial y urbano, principalmente. (IDEAM I. M., 2016)

la necesidad de mitigar los efectos negativos a la salud y al medio ambiente que se producen por las fuentes de emisión en los principales asentamientos del territorio han derivado en diversos mecanismos que permiten promover acciones a futuro esto Debido a que la mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior están más allá del control de las personas, se requiere la adopción de medidas concertadas por parte de las instancias normativas locales, nacionales y regionales que trabajan en sectores tales como el de la energía, el transporte, la gestión de desechos, la planificación urbana y la agricultura. (OMS O. M., 2022)

Se debe tener en cuenta que los procesos fisicoquímicos que se producen en la atmósfera, la meteorología y la orografía condicionan enormemente los procesos de dispersión y transporte de estos contaminantes. Dentro de las dinámicas atmosféricas se pueden identificar dos tipos de aportes los cuales son emisiones primarias, bien sea desde fuentes naturales o bien desde fuentes antropogénicas y las emisiones secundarias que son el resultado de las transformaciones químicas que tienen lugar en la atmósfera (muchas de ellas activadas por la energía de la radiación solar). (DKV, 2010) . Como se observa a continuación en la figura N° 1.

Figura 1 *Fuentes, tipos de contaminante y procesos en la implícitos en la calidad de aire.*



Fuentes: *Ilustración tomada de* (DKV, 2010)

En estas dinámicas se pueden identificar generalmente cuatro etapas: La primera es la emisión que corresponde a la generación del contaminante desde la fuente hasta su expulsión al aire. La segunda es formación de contaminantes secundarios que se lleva a cabo cuando los contaminantes están en la atmósfera y se ven influenciados por parámetros como la luz solar, humedad, temperatura, entre otros, que pueden catalizar reacciones químicas y físicas generando otros contaminantes llamados secundarios. La tercera es la dispersión la cual desempeña un rol clave en la concentración y transporte de los contaminantes debido a que entre mayor sea la dispersión, menor será la concentración del contaminante en el aire. En esta etapa variables meteorológicas como la velocidad y dirección del viento, la humedad y la temperatura, juegan un papel importante dada su relación con la estabilidad atmosférica. Finalmente la concentración de contaminantes en la atmosfera la cual corresponde a la cantidad de contaminante en una unidad de volumen de aire y se encuentra directamente relacionada con la dispersión; a nivel de suelo se encuentra influenciada por características topográficas y estructurares de la zona de análisis. (SDA S. , 2020)

3.2. SVCA - Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire:

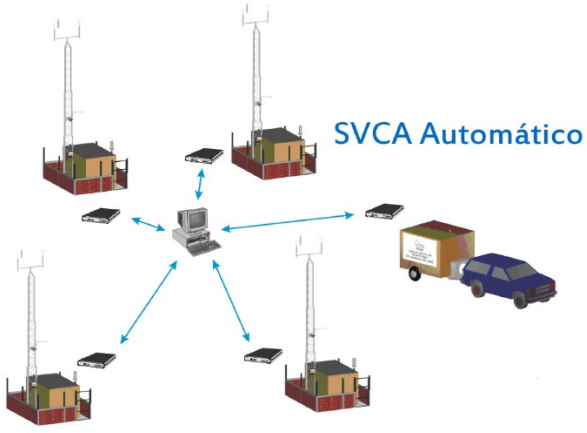
Los sistemas de vigilancia surgen debido a la necesidad de detallar el comportamiento de los contaminantes presentes en la atmosfera con el propósito de tomar acciones a futuro con esta información. la definición propuesta por el IDEAM para estos sistemas se establece como el conjunto de equipos de monitoreo de los contaminantes atmosféricos, que se encuentran instalados en un lugar de interés con un propósito determinado; esta infraestructura debe estar acompañada de todas las actividades necesarias para su correcto funcionamiento, dentro de las cuales se puede mencionar la operación por personal calificado, programas de mantenimiento preventivo y

correctivo, un sistema de administración de información que permita una correcta validación de los datos, entre otras. Su implementación se realiza bien sea cuando se presenta una problemática específica relacionada con la calidad del aire, o en zonas con población por encima de los cincuenta mil habitantes. (IDEAM & SIAC, s. f.)

Se han desarrollado diversidad de técnicas y protocolos para que se puedan recolectar datos de una forma eficaz y con una alta confiabilidad con el fin de identificar situaciones especiales de contaminación atmosférica por actividades industriales específicas, así como de analizar la tendencia del comportamiento de los contaminantes criterio, como responsables de las mayores afecciones a la salud y hacer seguimiento al estado de la calidad del aire en Colombia, los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire - SVCA implementados en todo el país se encargan de monitorear a partir de estaciones de tipo manual, automático, semiautomático y mixto los diferentes contaminantes atmosféricos además de variables meteorológicas, permitiendo así observar la influencia de estas últimas en la dispersión de los contaminantes. (IDEAM I. M., 2010)

Los sistemas de vigilancia cuentan con una clasificación que permite identificar la forma que se registran las mediciones la cual está sujeta a el tipo de instrumentos de operación:
SVCA Manuales: SVCA constituidos totalmente por equipos manuales (muestreadores y semiautomáticos).
SVCA Automáticos: SVCA constituidos totalmente por equipos y sistemas automáticos (analizadores automáticos).
SVCA Híbridos: SVCA constituidos por la combinación entre equipos manuales y automáticos. (MAVD, 2010)
En la ciudad de Bogotá la red de estaciones está conformada por equipos automáticos que suben la información de las mediciones a una base de datos publica lo que permite conocer el estado del punto de medición en tiempo real, por otra parte, las dos estaciones del SVCA de la Universidad Distrital cuenta con equipo automáticos que suben la información a una base de datos local la cual es administrada por el laboratorio de calidad de aire de la institución.
A continuación se ilustra el proceso que sigue la información recolectada por los equipos de medición.

Figura 2 *Funcionamiento de SVCA de tecnología automática*.

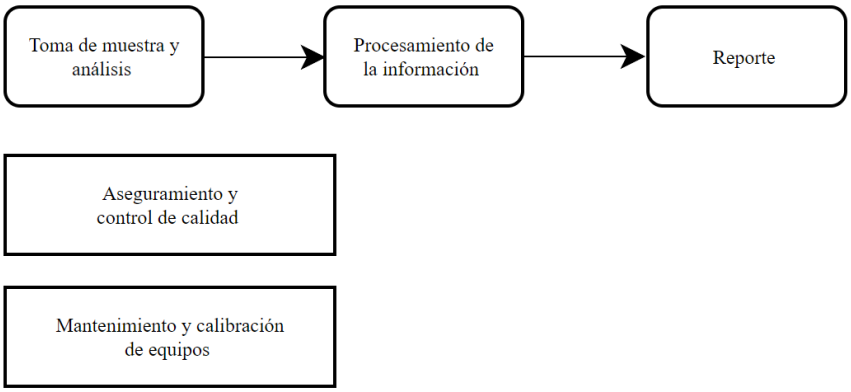


Fuentes: *Ilustración tomada de* (MAVD, 2010).

Dependiendo de la tecnología que se tenga en los SVCA se puede tener pasos adicionales en su operación. Según el protocolo aceptado para Colombia, se dicta que para equipos automáticos no se requiere análisis posteriores de la muestra tomada. Por medio de métodos ópticos o eléctricos se analiza la muestra directamente proporcionando datos en tiempo real de modo que se puedan tomar acciones inmediatas ante la ocurrencia de un evento de concentraciones altas de algún contaminante. (MAVD, 2010).

En la figura N° 3 se observa los procesos de operación de un SVCA automático, el cual se divide en tres etapas: la primera hace referencia a procedimientos que hacen los equipos cuando toman las mediciones, generalmente estas emplean métodos ópticos y electrónicos para la determinación de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos. Las otras dos etapas son de apoyo y aseguran la calidad y fiabilidad de los datos, para lo cual se debe definir un plan que especifique cada una de las etapas de ejecución y los responsables del desarrollo de tales etapas, de modo que el proceso se mecanice. (MAVD, 2010). Dentro de este plan se debe incluir el mantenimiento preventivo y correctivo, al igual que la calibración; labores que aseguran la operatividad de los equipos y la veracidad en la lectura de las muestras tomadas. En el Plan de Calidad se debe elaborar un flujo detallado del proceso que permita establecer actividades rutinarias y no rutinarias a realizar. (MAVD, 2010).

Figura 3 *Proceso general de operación de un SVCA automático*

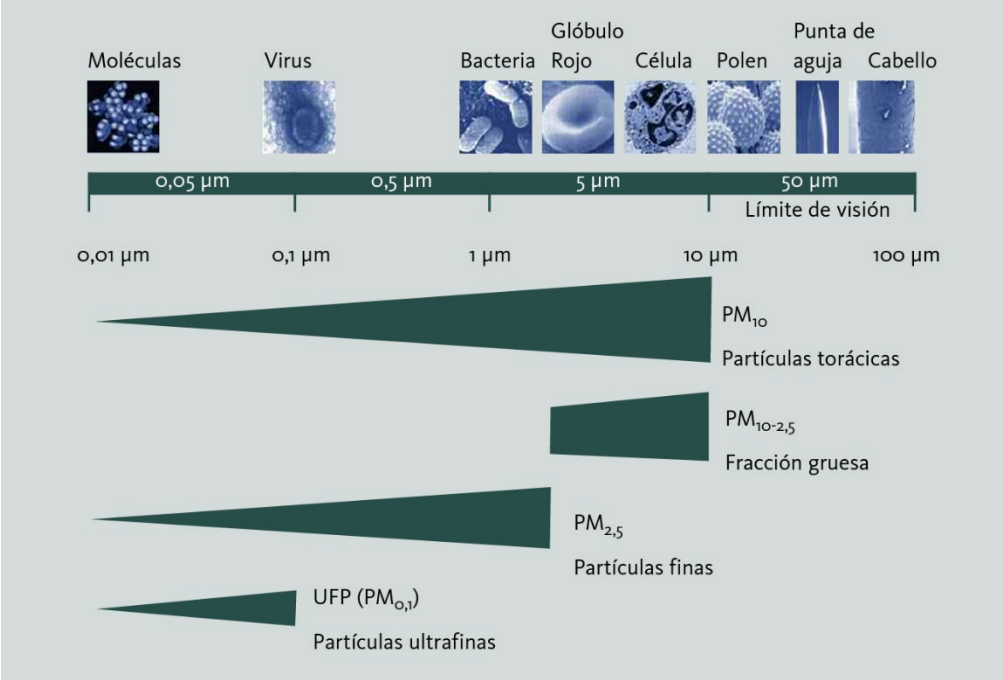


Fuentes: Ilustración tomada de (MAVD, 2010).

3.3. Material particulado Material Particulado

El material particulado (PM) se refiere a partículas inhalables, compuestas de sulfato, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, carbón negro, polvo mineral o agua. (OMS O. , 2021)Esta mezcla compleja de componentes de diversas características químicas y físicas. se clasifican generalmente por su propiedad aerodinámica dado que ésta determina los procesos de transporte y remoción en el aire y sitios de depósito y vías de eliminación dentro del tracto respiratorio. Los diámetros aerodinámicos se utilizan como indicador resumido del tamaño de las partículas; El enfoque en las últimas décadas ha estado en partículas con diámetros aerodinámicos menor o igual a 2.5 µm ($PM_{2.5}$) o 10 µm (PM_{10}) (OMS O. , 2021). Como se muestra a continuación se puede apreciar el tamaño de las partículas a evaluar con relación a un cabello humano.

Figura 4 *Comparación de tamaños de las partículas de material particulado*



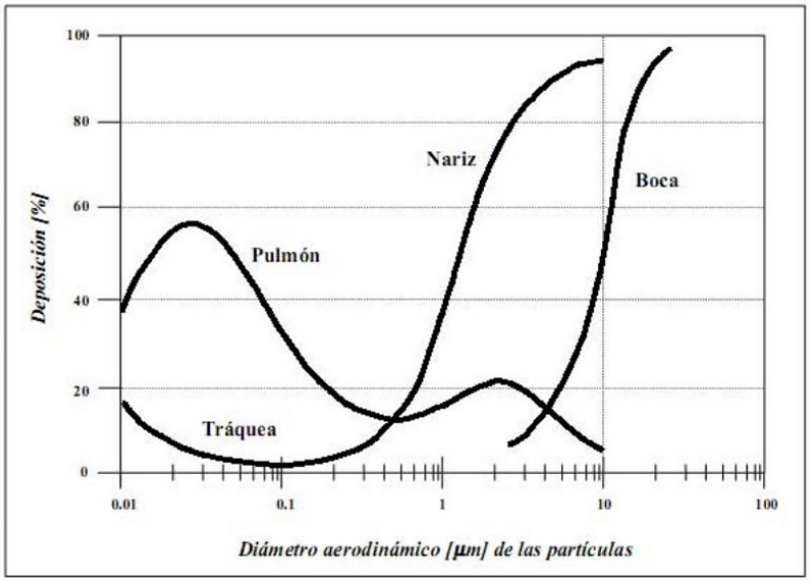
Fuentes: *Ilustración tomada* (DKV, 2010).

Las fuentes de las partículas más grandes, denominadas partículas gruesas (partículas con un diámetro de entre 2.5 µm y 10 µm), consistirán principalmente en polen, espuma marina y polvo arrastrado por el viento procedente de la erosión, espacios agrícolas, carreteras y operaciones mineras. Las partículas más finas (es decir, PM 2.5) pueden derivarse de fuentes primarias (p. ej., combustión de combustibles en instalaciones, industrias o vehículos de generación de energía) y fuentes secundarias (p. ej., reacciones químicas entre gases). (OMS O. , 2021).

Estas partículas vienen en muchos tamaños y formas y pueden estar conformadas por cientos de diferentes químicos, algunas se emiten directamente desde una fuente, como obras en construcción, caminos sin asfaltar, campos, chimeneas o incendios.
La mayoría de las partículas se forman en la atmósfera como resultado de reacciones complejas de químicos, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, que son contaminantes emitidos por centrales eléctricas, industrias y automóviles. (EPA, 2023).

Los efectos sobre la salud humana dependen en gran parte del tamaño de la partícula debido principalmente al nivel de penetración en diferentes partes del sistema respiratorio, tal y como se representa en la figura N° 5. (ACC, 2018).

Figura 5 *Porcentaje de deposición de partículas en cada órgano del sistema respiratorio.*



Fuentes: *Ilustración tomada* (MAVDT, 2010).

Los principales efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud van desde alteraciones de la función pulmonar, problemas cardíacos y otros síntomas y molestias hasta un aumento del número de defunciones, de ingresos hospitalarios y de visitas a urgencias, especialmente por causas respiratorias y cardiovasculares. (DKV, 2010). Por este motivo las instituciones de control crean sistemas que permitan comparar los niveles de contaminación del aire teniendo en cuenta el periodo de exposición a estos mismos. Actualmente la ciudad de Bogotá adopto mediante la Resolución 2410 de 2015, el índice Bogotano de Calidad de Aire, IBOCA el cual es un indicador multipropósito dimensional, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en un momento y lugar de la ciudad, que comunica simultáneamente el riesgo ambiental por contaminación atmosférica, el estado de la calidad del aire de Bogotá y las afectaciones que producen ciertos contaminantes en la salud (véase la tabla N° 1). Este indicador también funciona como una señal de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el marco del Sistema Distrital de Alertas del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático.

Tabla 1 *Rangos de concentración, tiempo de exposición y efectos a la salud.*

Rango concentración 24h PM_{10} µg/m³	Rango concentración 24h $PM_{2.5}$ µg/m³	Estado de calidad del aire		Efectos en salud
0 -54	0 -12		Favorable	La calidad del aire se considera aceptable y la contaminación atmosférica supone un riesgo muy bajo para la salud.
55 - 154	12.1 - 35.4		Moderada	La calidad del aire se considera aceptable y la contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud.
155 - 254	35.5 - 55.4		Regular	Las personas de los grupos vulnerables pueden presentar enfermedades respiratorias o cardiovasculares o complicación de las mismas, en cuanto que las personas sanas presentan un incremento de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como: irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general y tos.
255 - 354	55.5 – 150.4		Mala	Complicación de enfermedades en las personas de los grupos vulnerables. En las personas sanas se da el inicio de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.
355 - 424	150.5 - 250.4		Muy mala	La población vulnerable presenta efectos severos y en la población general se aumenta el número de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.
425 – 604	250.5 - 500.4		Peligrosa	Se activa la alerta epidemiológica, puesto que la población general ya presenta daños en el sistema respiratorio y cardiovascular.

Fuentes: *Tabla tomada de* (SDA S. , 2023)

3.4.La RMCAB

Hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaría Distrital de Ambiente y está conformada por dieciocho (18) estaciones de monitoreo de las cuales diecisiete (17) son fijas, y una (1) es móvil (SDA, 2021).

La Secretaría Distrital de Ambiente realizó la zonificación ambiental en términos de comportamiento de la calidad del aire, la cual surge de la necesidad de tener áreas efectivas de actuación que permita un despliegue de acciones coherentes para la mitigación de los impactos por aumento en las concentraciones de contaminantes. La zonificación se encuentra caracterizada de la siguiente manera: Zona Occidente: contempla las estaciones de monitoreo de Fontibón, Suba y Guaymaral, Zona Centro: contempla las estaciones de monitoreo de Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, y estación Móvil de la Carrera 7ma, Zona Oriente: contempla las estaciones Ministerio de Ambiente, San Cristóbal y Tunal, por último la Zona Sur: contempla las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y Puente Aranda (SDA, 2021).

La obtención de los datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas se realiza a través de los registros en tiempo real de los equipos de monitoreo y sensores meteorológicos, cuyo funcionamiento y operatividad son verificados mediante mantenimientos preventivos y correctivos por parte del equipo de campo de la RMCAB (SDA).

3.5.Clasificación de estaciones según las emisiones dominantes

La clasificación determina el tipo de estación dependiendo de su Localización dentro de un área, particularmente en relación con la influencia que sobre ellas tienen los diferentes tipos de fuentes emisoras. Las estaciones de medición se clasifican en cuatro tipos, tal como se muestra.

Tabla 2 *Tipos de estaciones de medición*

Tipo de área	Descripción
De tráfico	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido este determinado principalmente por las emisiones de tráfico cercano.
Punto Critico	Estaciones ubicadas a nivel del suelo de apoyo a estudios epidemiológicos.
Industrial	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido este influenciado significativamente por las emisiones cercanas de fuentes industriales.
De fondo	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido no está significativamente influenciado por fuente o calle alguna, pero si por la contribución de las fuentes que influyen en estas estaciones debido al régimen de vientos. Por ejemplo , estaciones ubicadas en el centro urbano que están bajo influencia indirecta de tráfico o procesos de combustión debido a la dirección del viento, o estaciones ubicadas en áreas rurales influenciadas por los centros urbanos o áreas industriales debido al régimen de vientos. También serán consideradas de fondo, estaciones que se encuentran vientos arriba de la fuente avaluada.

Fuentes: *Tabla tomada de* (MAVDT, 2010).

3.6.Marco legal

En la Tabla N° 2 se muestra la normatividad colombiana y bogotana vigente para el 2023 en la cual se basaron los límites de concentración y parámetros de tratamiento de datos para la ejecución del presente estudio.

Tabla 3 *Normativa colombina y de la ciudad de Bogotá.*

Ley / Decreto / Resolución / Acuerdo	Fecha de expedición	Entidad que lo expide	Por la cual
Normas generales			
RESOLUCIÓN 2254 DE 2017	01 /Noviembre/ 2017	MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	Se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.
RESOLUCIÓN 650 DE 2010	29 /Marzo/ 2010	EL MINISTRO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL	se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire
Normas especificas			
RESOLUCIÓN 2154 de 2010	02/Noviembre/ 2010	MINISTRA DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL	Se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones.
RESOLUCIÓN 1541 DE 2013	12/Noviembre/ 2013	MINISTRA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones.
RESOLUCIÓN 6982 DE 2011	27 /Diciembre/ 2011	EL SECRETARIO DISTRITAL DE AMBIENTE	se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire.
DECRETO 623 DE 2011	26 /Diciembre/ 2011	LA ALCALDESA MAYOR DE BOGOTÁ, D. C. DESIGNADA	Por medio del cual se clasifican las áreas-fuente de contaminación ambiental Clase I, II y III de Bogotá, D.C., y se dictan otras disposiciones.

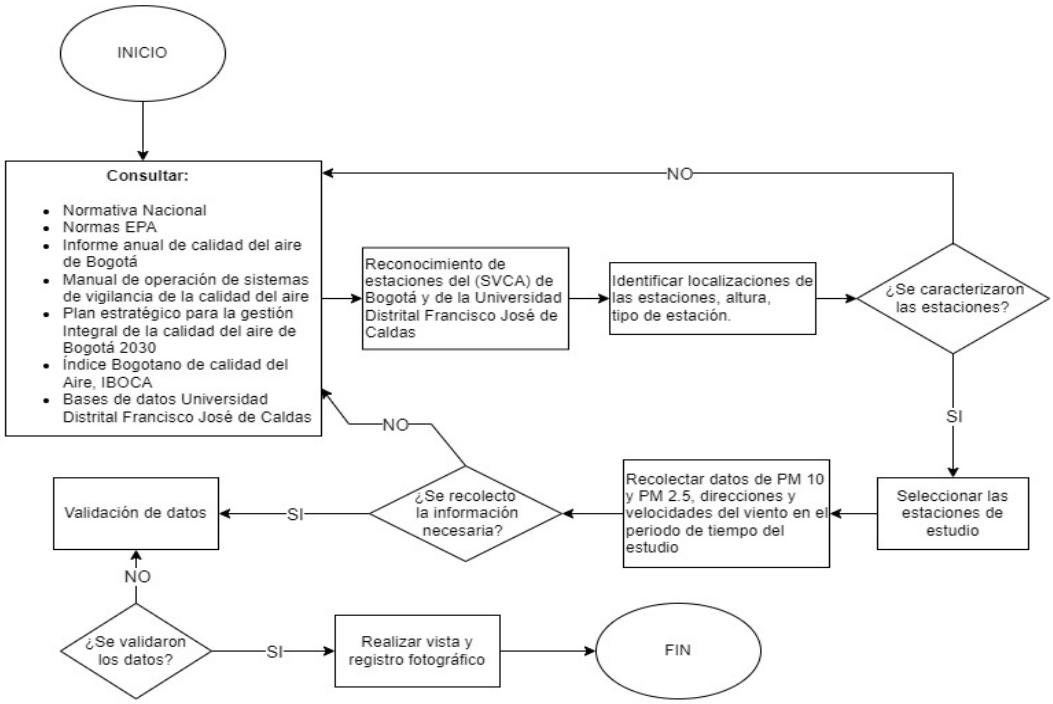
4. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la elaboración de este proyecto se divide en tres etapas.

4.1.Reconocimiento de SVCAS

En la fase de reconocimiento se tuvo en cuenta: 1) Reconocimiento del estado de la red de monitoreo de calidad de aire de Bogotá y de las estaciones de Bosa Porvenir y Aduanilla de Paiba. 2) Datos de operación de las estaciones 3) Localización y fuentes de emisiones cercanas.
Se debe consultar en las bases de datos la información consignada de las mediciones de concentración realizadas en las estaciones en el periodo de estudio y se debe filtrar teniendo en cuenta parámetros de operación, localización, tipificación y contaminantes de medición de esta forma establecer un modelo de selección para descartar estaciones.
El descarte de estaciones se debe desarrollar teniendo en cuenta las condiciones mencionas y el criterio técnico del desarrollador del estudio para prevenir comportamientos atípicos en el tratamiento de los datos que puedan causar errores ya que se busca establecer un control con la correlación realizada.
Para validar las condiciones en las que se tomaron las mediciones se debe realizar una visita de campo, de esta forma se obtendrá información del entorno y su influencia en los datos recolectados.
Debido a que la estación de Bosa Porvenir no cuenta con los equipos necesarios para realizar la medición de concentración de material particulado de $PM_{2.5}$, este parámetro no se tendrá en cuenta para el análisis del grupo A.

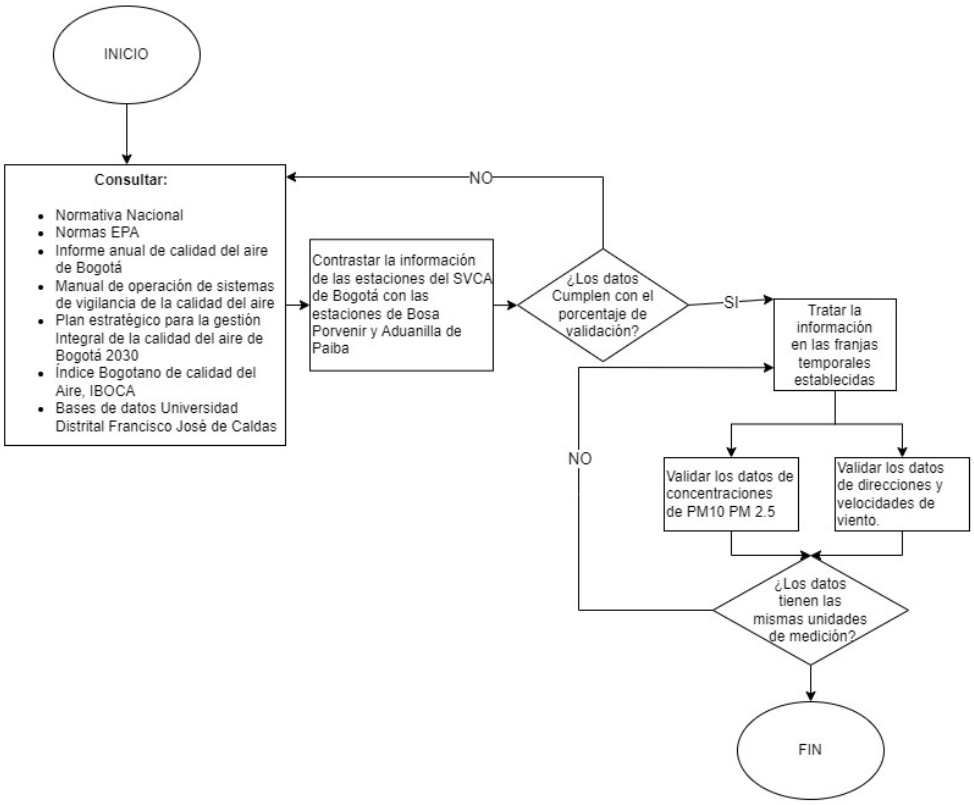
Figura 6 *Diagrama de flujo metodología fase 1.*



4.2.Tratamiento y validación de datos

Se verificó la información obtenida de las bases de datos teniendo en cuenta que cumplieran el porcentaje de validación de 75 % y se realizó un seguimiento a los datos que representaran un comportamiento anómalo en las mediciones para identificar datos erróneos. Este proceso se lleva a cabo con base a las instrucciones del Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
Se realiza la comparación entre estaciones y se descartan los datos para los periodos de tiempo que se establezcan teniendo en cuenta los criterios antes mencionados.

Figura 7 *Diagrama de flujo metodología fase 2*

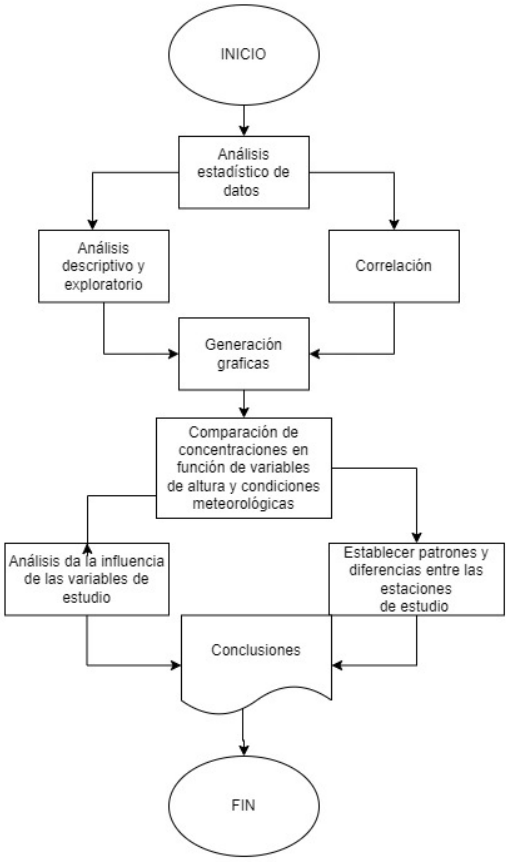


4.3.Análisis de datos

Se realizaron pruebas de estadística para determinar las medidas de tendencia de los datos y se realizó un análisis de normalidad por el método de Kolmogórov-Smirnov para establecer el tipo de correlación utilizada en los datos de concentración, para realizar una verificación de este resultado se estableció un análisis exploratorio para determinar el comportamiento y establecer si las hipótesis planteadas son correctas.
Posteriormente se distribuyeron los datos en las franjas establecidas por los objetivos del proyecto y se analizó el comportamiento de los grupos de datos para conseguir distinguir tendencias y

determinar los momentos donde se presenta una mayor concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Figura 8 *Diagrama de flujo metodología fase 3.*



5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1.Reconocimiento de SVCA

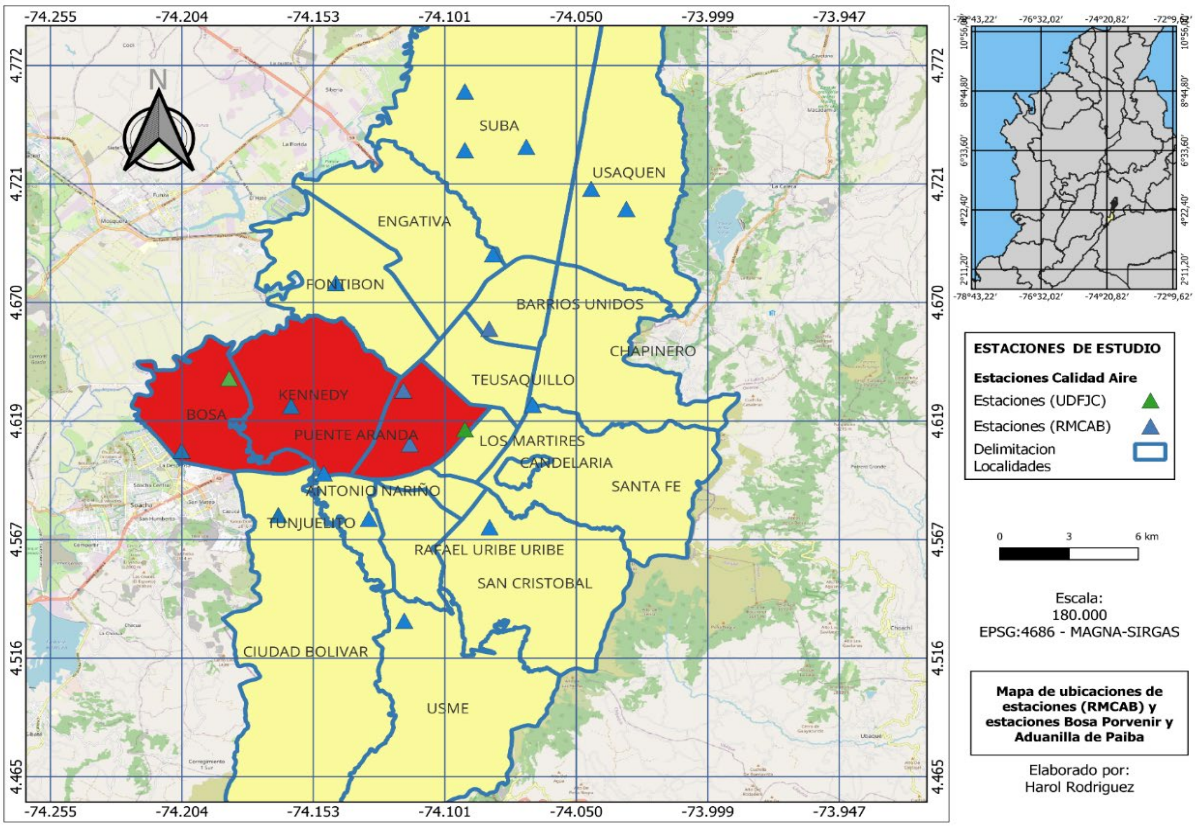
5.1.1. Descripción

El sistema de vigilancia de Bogotá cuenta con una red de monitoreo de calidad de aire RMCAB. La cual desempeña el trabajo de recolectar datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas de forma continua en lugares estratégicos distribuidos en la ciudad de Bogotá, lo cual permite conocer el comportamiento de dichos contaminantes y evaluar el cumplimento de los estándares de calidad de aire.

En el informe anual de calidad de aire de Bogotá se establece que para el año 2021 la RMCAB estuvo conformada por veinte (20) estaciones monitoreo de las cuales dieciocho (18) son fijas y dos (2) son móviles. (SDA, 2021, pág. 17).

El sistema de vigilancia de Universidad Distrital Francisco José de Caldas cuanta con un total de 5 estaciones ubicadas en las diferentes sedes de la universidad las cuales permiten conocer las mediciones en tiempo real de material particulado menor a 10 µm y 2.5 µm (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y otros contaminantes, también cuenta con la recolección de variables meteorológica dependiendo el equipó de monitoreo con el que cuente la estación.

Figura 9 *Figura distribución de estaciones RMCAB y estaciones de estudio.*



5.1.2. Análisis de comparación

Para realizar el análisis de comparación se identificaron las SVCA de Bogotá cercanas a las estaciones de Bosa porvenir y Aduanilla de Paiba y se clasificaron en dos grupos:
Grupo A: está conformado por la estación Bosa Porvenir y cuatro estaciones del SVCA de Bogotá: Bosa, Kennedy, Ciudad Bolívar y Sevillana – Carvajal
Grupo B: está conformado por la estación Aduanilla de Paiaba y tres estaciones del SVCA Bogotá: El Jazmín, Puente Aranda y Centro de Alto Rendimiento.
De esta forma se realizó una caracterización con el fin de establecer una matriz de selección que permitió descartar estaciones.

Tabla 4 *Matriz selección de estaciones*.

Grupo	Nombre estacion	Punto	Distancia entre puntos (Km)		Tipo de zona	Tipo de estacion	Altura	Medicion de PM_{10}	Medicion de $PM_{2.5}$
Grupo A	Bosa Porvenir	A			Urbana	Residencial	10	SI	NO
Grupo A	BOSA	B	A-B	4,12	Urbana	De Fondo	0	SI	SI
Grupo A	Kenndy	C	A-C	3,05	Urbana	De Fondo	3	SI	SI
Grupo A	Ciudad Bolivar	D	A-D	7,02	Urbana	Residencial	0	SI	SI
Grupo A	Sevillana Carvajal	E	A-E	3,87	Urbana	Trafico / Industrial	3	SI	SI
Grupo B	Aduanilla de Paiba	F			Urbana	Urbana/ Industrial	0	SI	SI
Grupo B	El Jazmin	G	F-G	2,48	Urbana	Residencial	0	SI	SI
Grupo B	Puente Aranda	H	F-H	3,26	Urbana	Industrial	10	SI	SI
Grupo B	Centro de Alto Rendimiento	I	F-I	4,96	Urbana	De fondo	0	SI	SI

De acuerdo con la información suministrada por la tabla se establecieron criterios de selección con: distancia entre estaciones, tipo de estación, tipo de zona de muestreo, parámetros de medición entre otros.

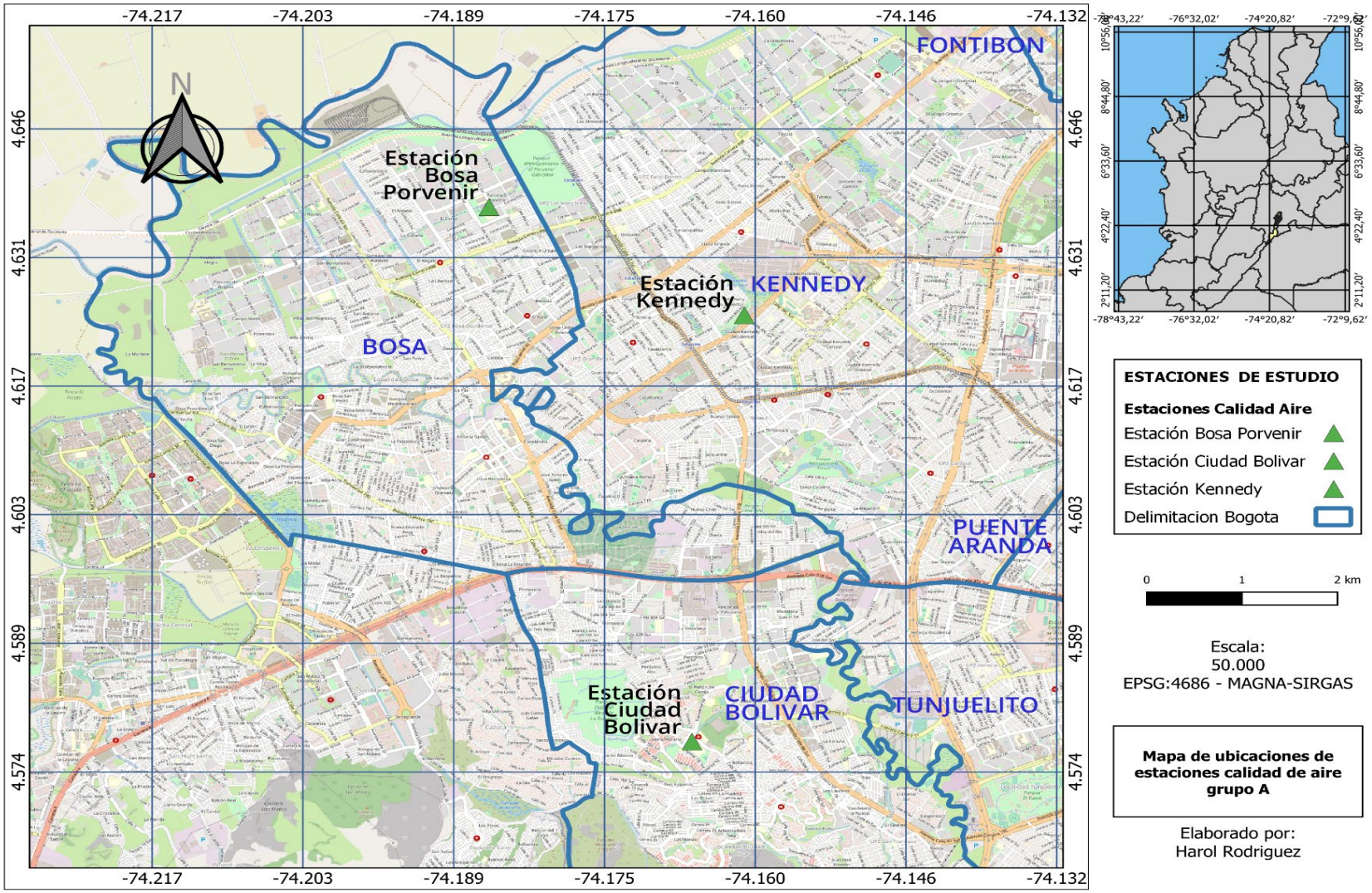
Para el grupo A se descartó la estación Bosa por motivo de falta de información para el periodo de estudio ya que en el informe trimestral elaborado por la RMCAB se encontró que no se encuentra habilitada y no se recolectan datos para este punto de medición.
La estación de Sevillana y Carvajal se descartaron debido a las condiciones de medición que se presentan en el punto ya que está expuesta a niveles de contaminación altos debido a la influencia vehicular e industrial de la zona, lo cual no representa las condiciones del punto medición de la estación Bosa Porvenir que es de tipo residencial.

Para el grupo B se descartó la estación Centro de Alto Rendimiento ya que no representaba las condiciones de la zona de Aduanilla de Paiba y la distancia entre los puntos de medición era la más alta del grupo.
Teniendo en cuenta el inventario de emisiones de Bogotá se expresa que existen tres mecanismos que pueden generar contaminación. El primero corresponde a las emisiones generadas por la combustión interna o externa de combustibles como madera. gasolina. diésel entre otras. Ejemplo de esto son las emisiones generadas en los motores de los vehículos. El segundo corresponde a las

emisiones generadas por procesos mecánicos. siendo un ejemplo de esto los procesos de resuspensión del material particulado depositado en las vías debido al paso de vehículos. Finalmente. el tercer mecanismo corresponde a las emisiones por evaporación. que corresponde a las emisiones generadas por la fuga de sustancias químicas en fase gaseosa. como combustibles o materia prima en proceso industriales (Ambiente, 2020), de esta forma se establecen las fuentes cercanas a las estaciones de estudio.

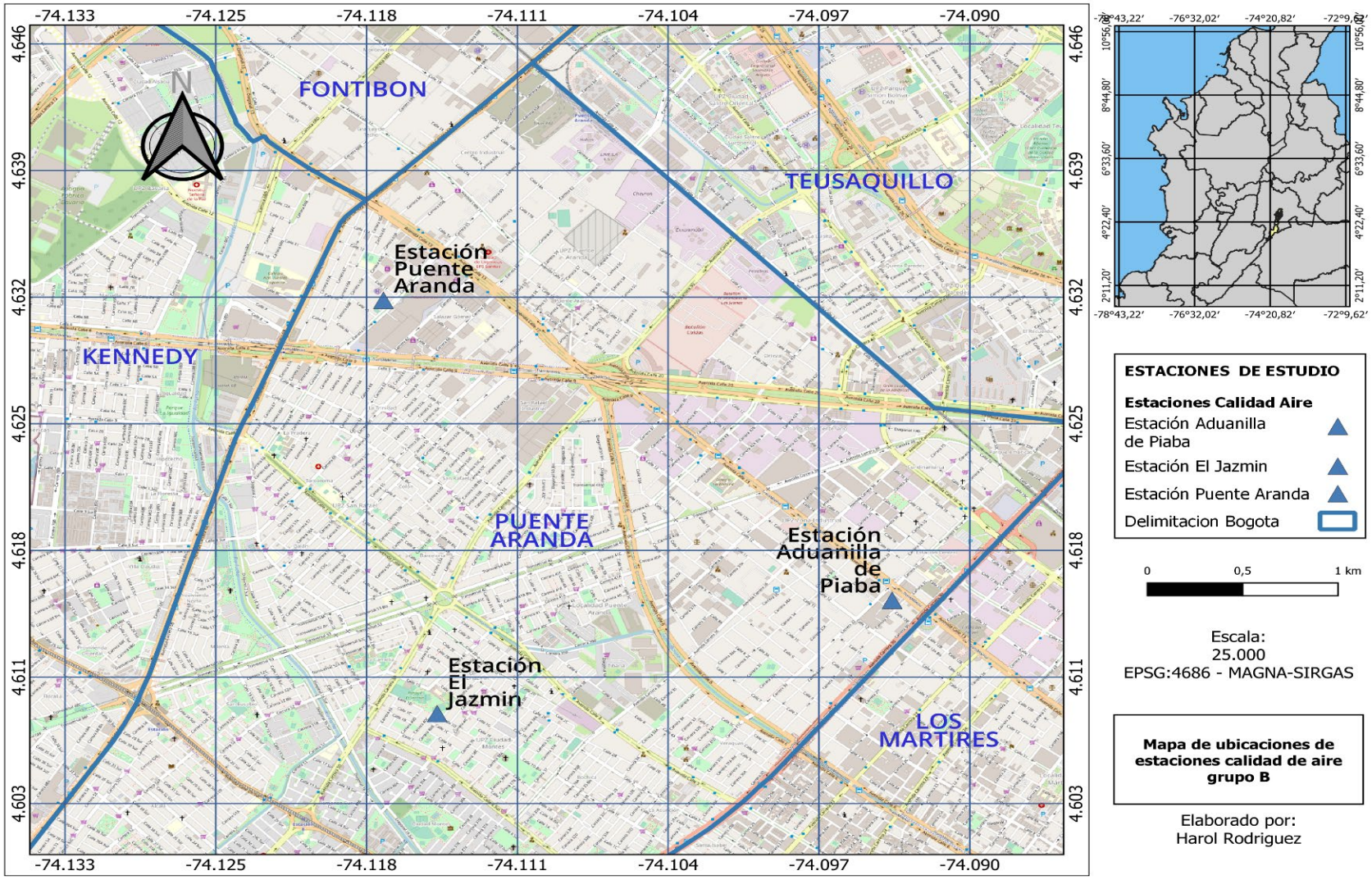
En el siguiente mapa se establece la ubicación de las estaciones del grupo A ubicadas en tres localidades distintas de la ciudad de Bogotá.

Figura 10 *Distribución grupo A*



En el siguiente mapa se establece la ubicación de las estaciones del grupo B ubicadas en localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá.

Figura 11 *Distribución grupo B*



5.1.3. Descripción de estaciones

Se realizo la visita de campo en la cual se recolectaron datos del entorno y se representaron las diferentes condiciones para cada una de las estaciones de estudio. Esto permitió establecer las fuentes de emisiones cercanas, las condiciones particulares de cada estación e identificar similitudes o diferencias entre ellas, se consignaron los datos a través de tablas y mapas los cuales se muestran a continuación.

5.1.3.1.Grupo A

El Primer grupo de comparación está conformado por la estación de Bosa Porvenir Perteneciente a la Universidad Francisco José de Caldas y las estaciones Kennedy y Ciudad Bolívar pertenecientes a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.

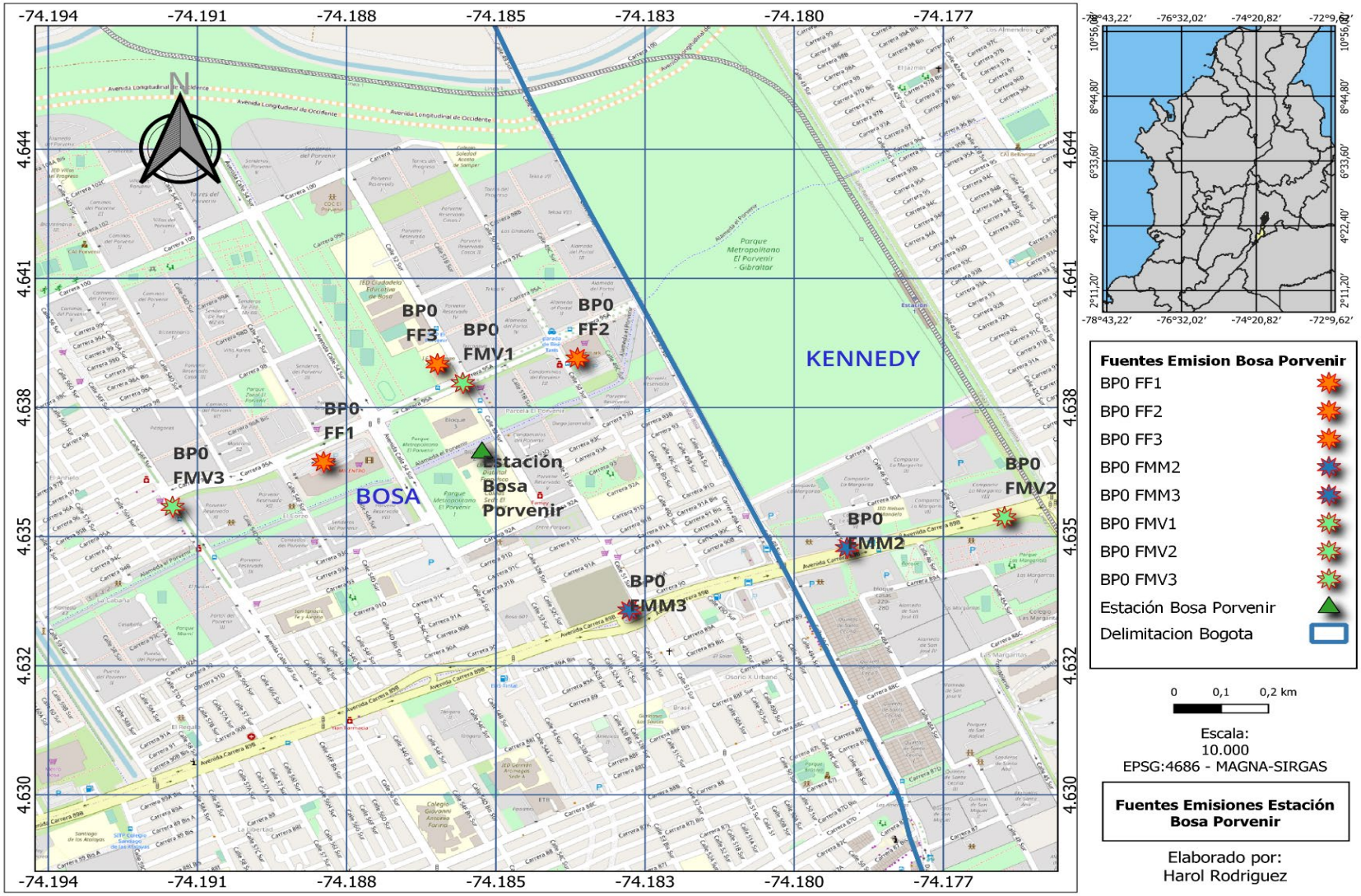
En la Tabla N ° 5 se puede obtener la información referente a la estación Bosa porvenir en la cual se tienen consignados los datos de identificación, ubicación, características y registro fotográfico de alrededores, así como también la identificación de las fuentes de emisión y su identificativo para reconocimiento en el mapa.

Tabla 5 *Descripción estación bosa porvenir (UDFJC)*

Nombre estacion	Bosa Porvenir			
Siglas	BPO			
Ubicación				
Localidad Bosa	Latitud 4,637849	Longitud -74,185768	Altitud (m) 2500	Altura (m) 10
Caracteristicas				
	Tipo de zona	Tipo de Estacion	Medicion de PM_{10}	Medicion de $PM_{2.5}$
	Urbana	Residencial	SI	NO
Vias Cercanas				
Localizacion	Norte	Sur	Este	Oeste
Calle 52 sur No. 93d 39	Carrera 95 A	Carrera 92 A	Calle 52 sur	Avenida Calle 54 sur
Observaciones				
BPO FMM1, Fuentes por manipulación de material, Construcción obras metro Bogotá				
BPO FMM2, Fuentes por manipulación de material, Construcción avenida guayacanes Bogotá				
BPO FMM3, Fuentes por manipulación de material, Construcción Clínica policía				
BPO FMV1, Fuentes móvil vehículos, Carrera 95 a				
BPO FMV2, Fuentes móvil Vehículos, Carrera 89				
BPO FMV3, Fuentes móvil Vehículos, Carrera 56 f Sur				
BPO FF1, Fuentes fijas comercial, CC micentro el porvenir				
BPO FF2, Fuentes fijas comercial , CC trebolis				
BPO FF3, Fuentes fijas institucional Colegio Germán Arciniegas I,E,D Bogotá				
Entorno				
Alzados	Norte 	Sur 	Este 	Oeste 

En la figura N° 12 se establece la ubicación de la estación Bosa Porvenir y de las fuentes cercanas de emisión con su respectivo indicativo para consultar en la tabla N ° 5.

Figura 12 *Fuentes de emisiones estación Bosa Porvenir.*



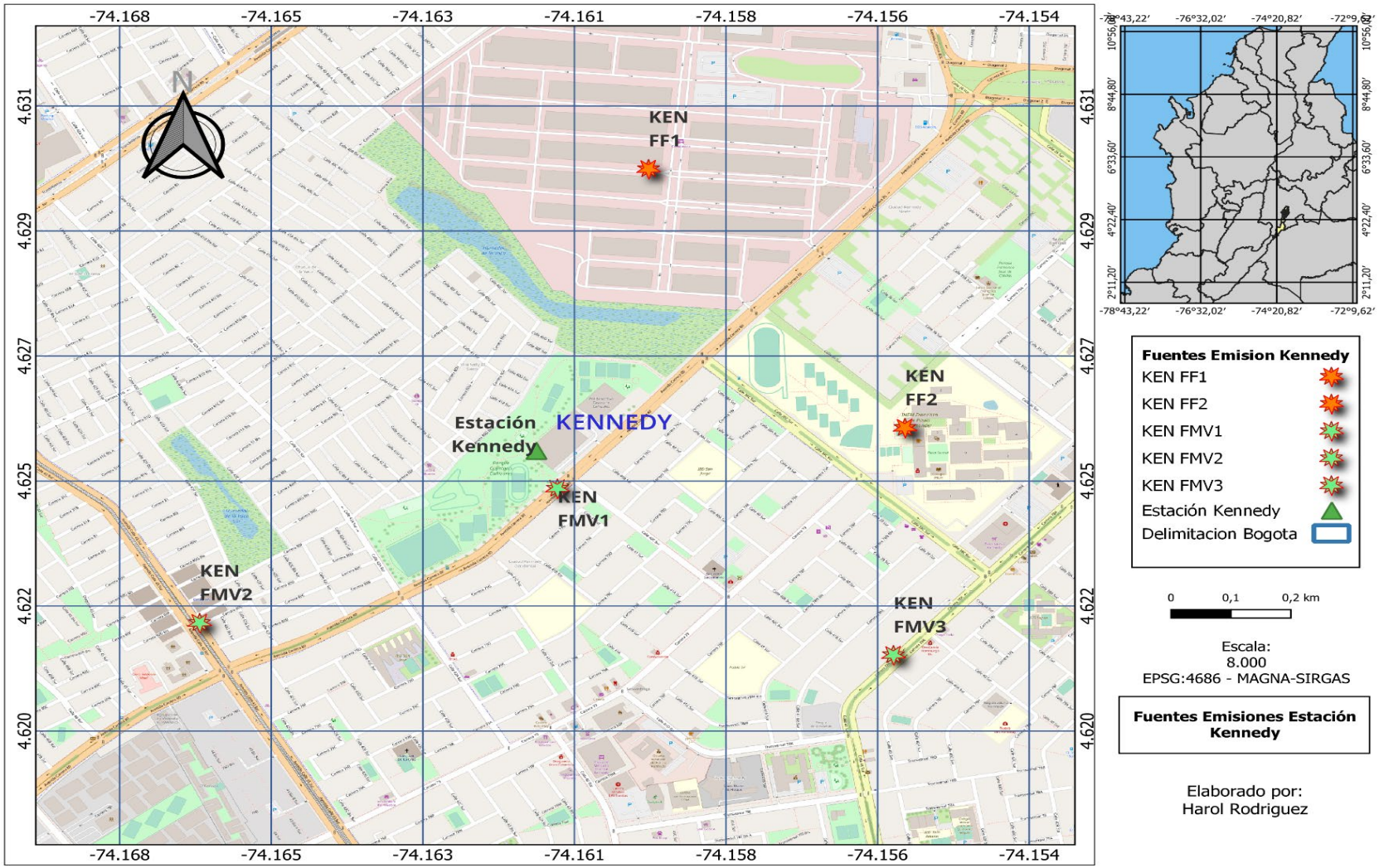
En la Tabla N ° 6 se puede obtener la información referente a la estación Kennedy en la cual se tienen consignados los datos de identificación, ubicación, características y registro fotográfico de alrededores, así como también la identificación de las fuentes de emisión y su identificativo para reconocimiento en el mapa. Para esta estación se cuenta con cinco principales fuentes de emisión: tres fuentes móviles pertenecientes a los principales corredores viales del sector y dos de fuentes fijas pertenecientes a comercio e instituciones presentes en la zona.

Tabla 6 *Descripción estación Kennedy (RMCAB).*

Nombre estacion	Bosa Kenndy			
Siglas	KEN			
Ubicación				
Localidad Kennedy	Latitud 4,62505	Longitud -74,161333	Altitud (m) 2580	Altura (m) 3
Caracteristicas				
	Tipo de zona	Tipo de Estacion	Medicion de PM_{10}	Medicion de $PM_{2.5}$
	Urbana	De fondo	SI	SI
Vias Cercanas				
Localizacion	Norte	Sur	Este	Oeste
Carrera 80#40-55 sur	Carrera 80 D Bis	Avenida Carrera 80	Calle 42 A Sur	Diagonal 38 Sur
Observaciones				
KEN FMV1, Fuentes móvil vehículos avenida Agoberto Mejía KEN FMV2, Fuentes móvil vehículos avenida ciudad de Villavicencio KEN FMV3, Fuentes móvil vehículos carrera 78 k KEN FF1, Fuentes fijas comercial , Corabastos KEN FF2, Fuentes fijas institucionales, INEM Francisco de Paula Santander				
Entorno				
Alzados	Norte	Sur	Este	Oeste
				

En la figura N° 13 se establece la ubicación de la estación Kennedy y de las fuentes cercanas de emisión con su respectivo indicativo para consultar en la tabla N° 6.

Figura 13 *Fuentes de emisión estación Kennedy (RMCAB).*



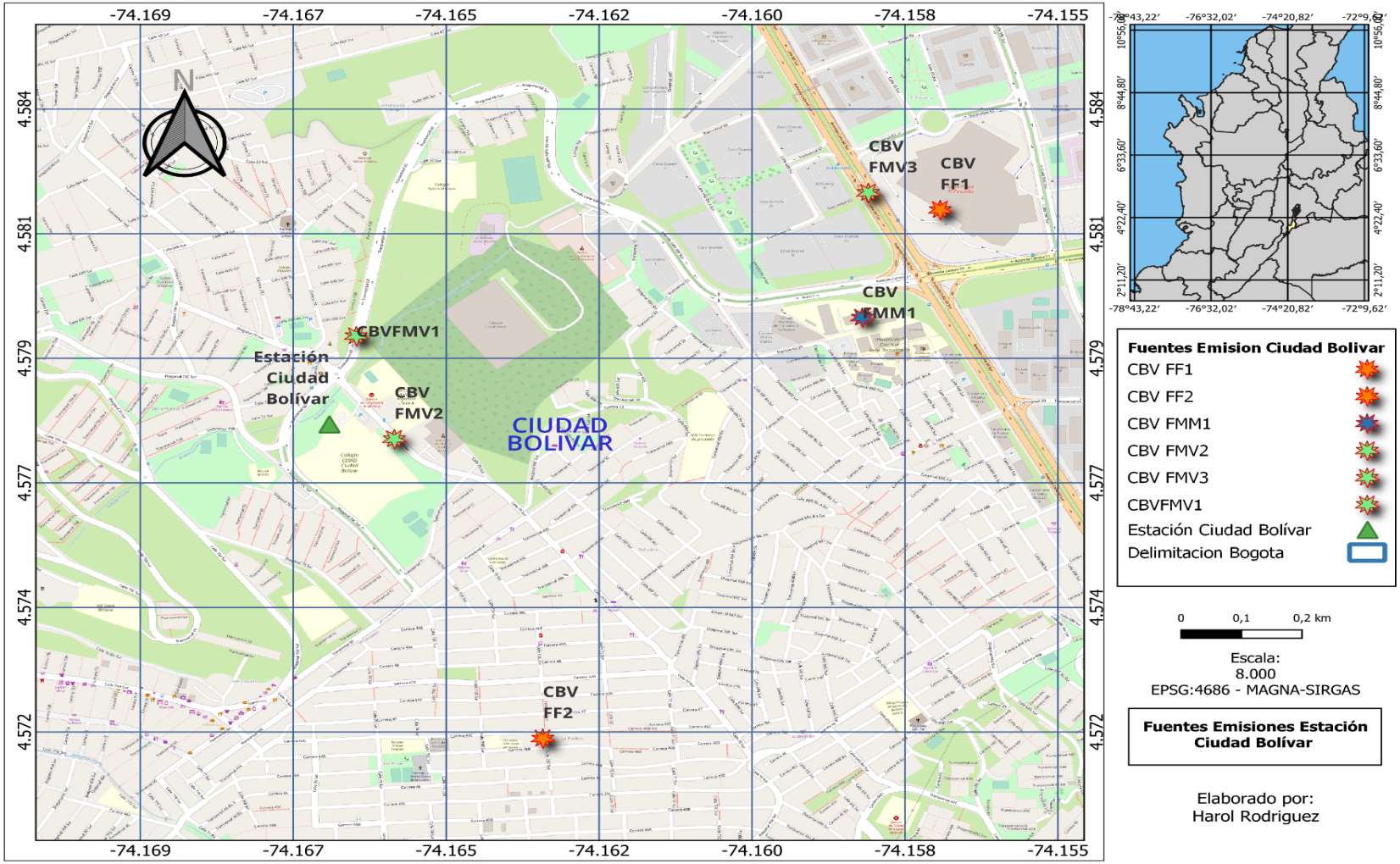
En la Tabla N ° 7 se puede obtener la información referente a la estación Ciudad Bolívar en la cual se tienen consignados los datos de identificación, ubicación, características y registro fotográfico de alrededores, así como también la identificación de las fuentes de emisión y su identificativo para reconocimiento en el mapa. Para esta estación se cuenta con seis principales fuentes de emisión: una fuente por manipulación de material, tres fuentes móviles pertenecientes a los principales corredores viales del sector y dos fuentes fijas pertenecientes a comercio e instituciones presentes en la zona.

Tabla 7 *Descripción estación Ciudad Bolívar (RMCAB)*

Nombre estacion	Ciudad Bolivar			
Siglas	CBV			
Ubicación				
Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Altura (m)
Ciudad Bolivar	4,577806	-74,166278	2661	0
Caracteristicas				
	Tipo de zona	Tipo de Estacion	Medicion de PM_{10}	Medicion de $PM_{2.5}$
	Urbana	Residencial	SI	SI
Vias Cercanas				
Localizacion	Norte	Sur	Este	Oeste
Calle 70 Sur # 56-11	Diagonal 70 Sur	Diagonal 73 C Sur	Trasversal 60	Trasversal 54
Observaciones				
CBV FMM1, Fuentes por manipulación de material, Construcción obras Universidad distrital				
CBVFMV1, Fuentes móvil vehículos, transversal 60 c sur				
CBV FMV2, Fuentes móvil vehículos, diagonal 70 sur				
CBV FMV3, Fuentes móvil vehículos, avenida ciudad de Villavicencio				
CBV FF1, Fuentes fijas comercial, CC Ensueño				
CBV FF2, Fuentes fijas institucional, Hospital Vista Hermosa I Nivel				
Entorno				
Alzados	Norte	Sur	Este	Oeste
				

En la figura N° 14 se establece la ubicación de la estación Ciudad Bolívar y de las fuentes cercanas de emisión con su respectivo indicativo para consultar en la tabla N° 7.

Figura 14 *Fuentes de emisión estación Ciudad Bolívar (RMCAB).*



5.1.3.2. Grupo B

El segundo grupo de comparación está conformado por la estación de Aduanilla de Paiba Perteneciente a la Universidad Francisco José de Caldas y las estaciones Puente Aranda y El Jazmín pertenecientes a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.

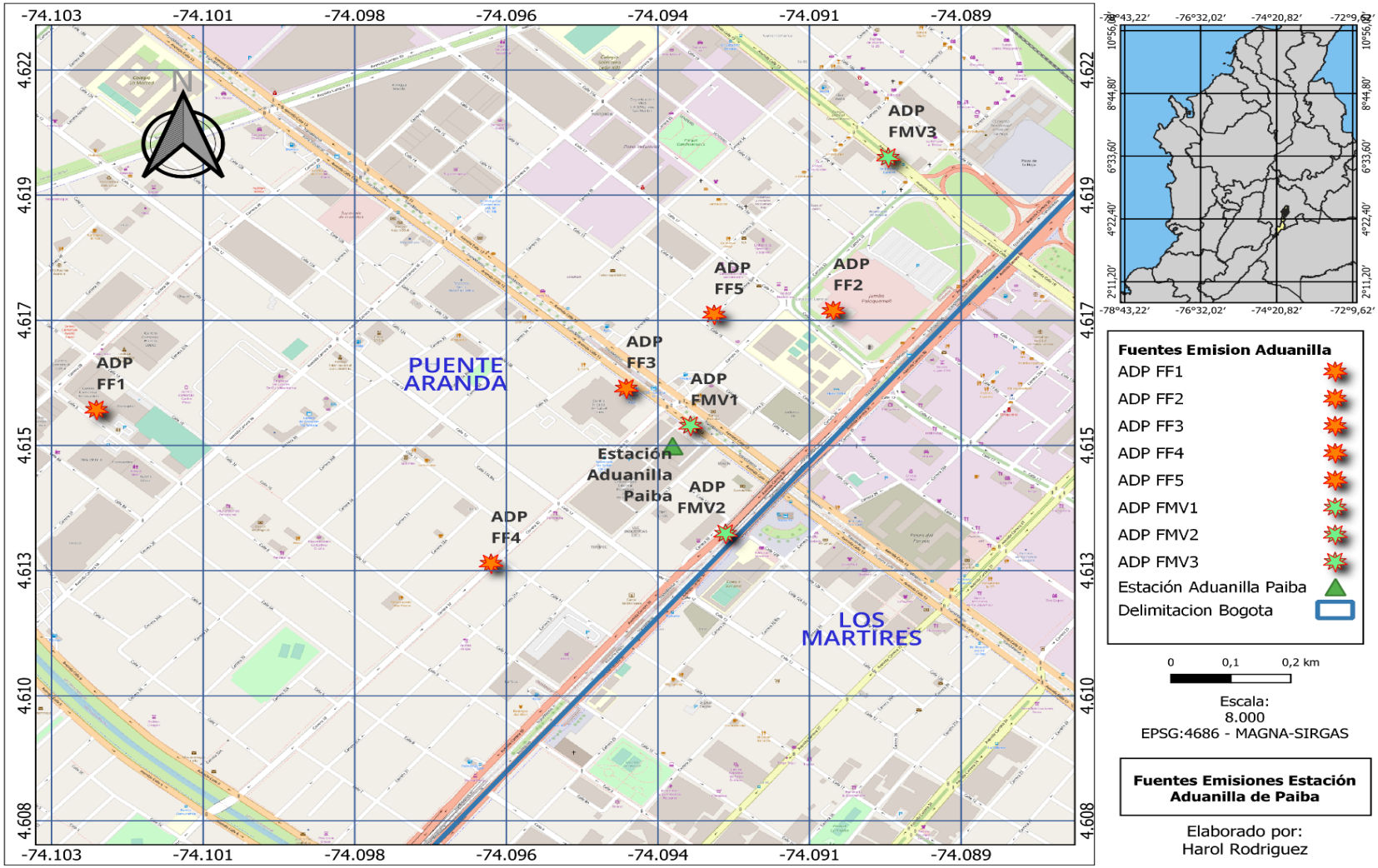
En la Tabla N ° 8 se puede obtener la información referente a la estación Aduanilla de Paiba en la cual se tienen consignados los datos de identificación, ubicación, características y registro fotográfico de alrededores, así como también la identificación de las fuentes de emisión y su identificativo para reconocimiento en el mapa. Para esta estación se cuenta con ocho principales fuentes de emisión: tres fuentes móviles pertenecientes a los principales corredores viales del sector y fuentes fijas pertenecientes a comercio, instituciones e industrias presentes en la zona.

Tabla 8 *Descripción estación Aduanilla de Paiba (UDFJC).*

Nombre estacion	Aduanilla de Paiba			
Siglas	ADP			
Ubicación				
Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Altura (m)
Martires	4,614881	-74,093441	2500	0
Caracteristicas				
	Tipo de zona	Tipo de Estacion	Medicion de PM_{10}	Medicion de $PM_{2.5}$
	Urbana	Urbana - Industrial	SI	SI
Vias Cercanas				
Localizacion	Norte	Sur	Este	Oeste
75	Avenida Calle 13	Calle 12	Carrera 32	Avenida Carrera 31
Observaciones				
ADP FMV1, Fuentes móvil vehículos, Calle 13				
ADP FMV2, Fuentes móvil vehículos, avenida carrera 30				
ADP FMV3, Fuentes móvil vehículos, avenida ciudad de lima				
ADP FF1, Fuentes fijas industrial, Zona industrial				
ADP FF2, Fuentes fijas comercial, jumbo 30				
ADP FF3, Fuentes fijas institucional, Secretaria de salud				
ADP FF4, Fuentes fijas industrial, Zona industrial				
ADP FF5, Fuentes fijas Comercial , Zona bodegas y transporte				
Entorno				
Alzados	Norte	Sur	Este	Oeste
				

En la figura N° 15 se establece la ubicación de la estación Aduanilla de Paiba y de las fuentes cercanas de emisión con su respectivo indicativo para consultar en la tabla N° 8.

Figura 15 *Fuentes de emisión estación Aduanilla de Paiba (RMCAB).*



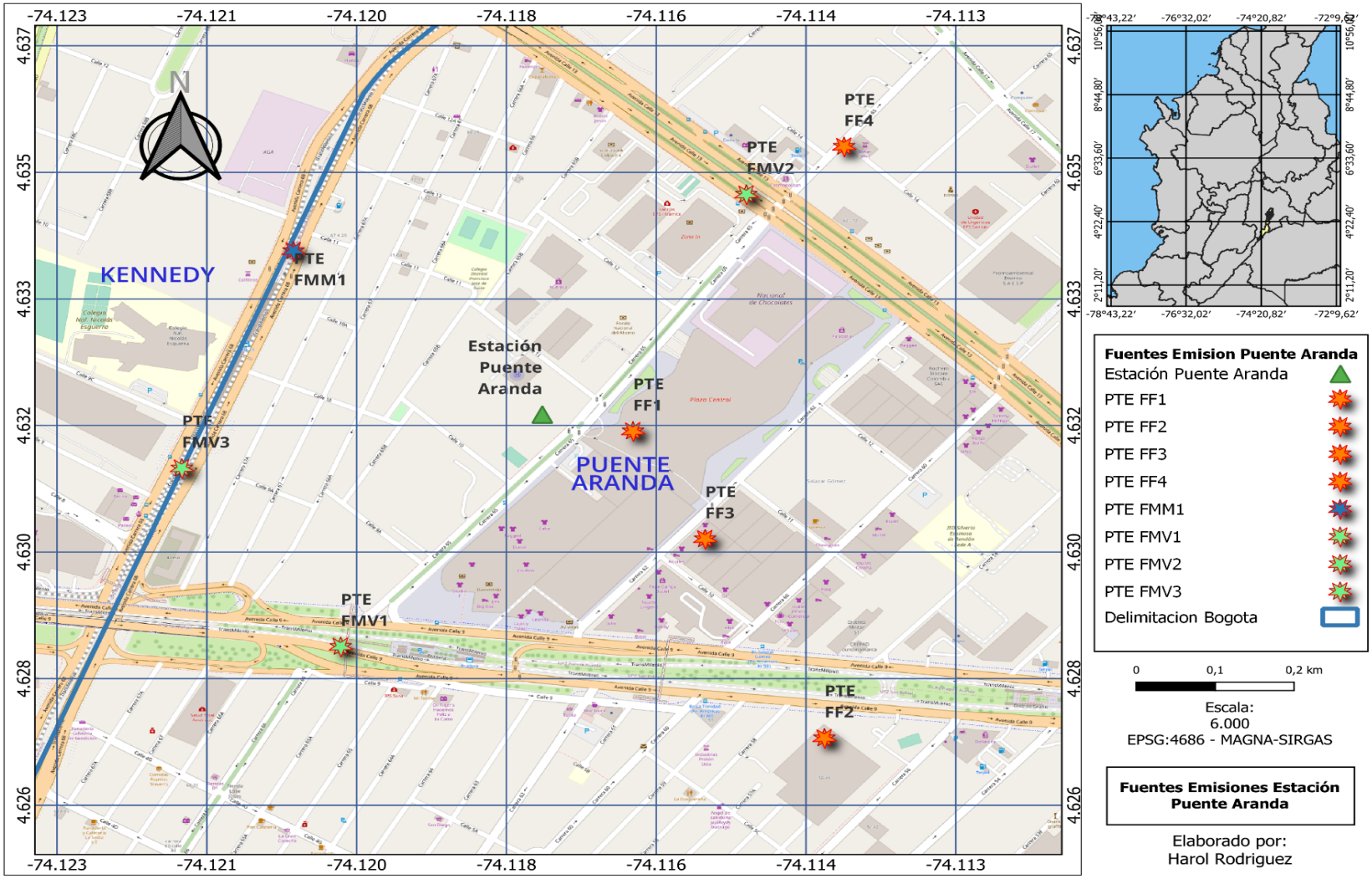
En la Tabla N ° 9 se puede obtener la información referente a la estación Puente Aranda en la cual se tienen consignados los datos de identificación, ubicación, características y registro fotográfico de alrededores, así como también la identificación de las fuentes de emisión y su identificativo para reconocimiento en el mapa. Para esta estación se cuenta con ocho principales fuentes de emisión: una fuente por manipulación de material, tres fuentes móviles pertenecientes a los principales corredores viales del sector y tres fuentes fijas pertenecientes a comercio, instituciones e industrias en la zona.

Tabla 9 *Descripción estación Puente Aranda (RMCAB).*

Nombre estacion	Puente Aranda			
Siglas	PTE			
Ubicación				
Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Altura (m)
Puente Aranda	4,631767	-74,117483	2590	10
Caracteristicas				
	Tipo de zona	Tipo de Estacion	Medicion de PM_{10}	Medicion de $PM_{2.5}$
	Urbana	Industrial	SI	SI
Vias Cercanas				
Localizacion	Norte	Sur	Este	Oeste
28	Avenida Calle 13	Avenida Calle 9	Avenida Calle 68	Avenida calle 13
Observaciones				
PTE FMM1, Fuentes por manipulación de material, Construcción obras adecuamiento avenida				
PTE FMV1 Fuentes móvil vehículos, avenida de la Américas				
PTE FMV2 Fuentes móvil vehículos, calle 13				
PTE FMV3 Fuentes móvil vehículos, avenida carrera 68				
PTE FF1 Fuentes fijas comercial, CC plaza central				
PTE FF2 Fuentes fijas industrial, Zona industrial				
PTE FF3 Fuentes fijas comercial, Zona comercial				
PTE FF4 Fuentes fijas industrial, Zona industrial				
Entorno				
Alzados	Norte	Sur	Este	Oeste
				

En la figura N° 16 se establece la ubicación de la estación Puente Aranda y de las fuentes cercanas de emisión con su respectivo indicativo para consultar en la tabla N° 9.

Figura 16 *Fuentes de emisión estación Puente Aranda (RMCAB).*



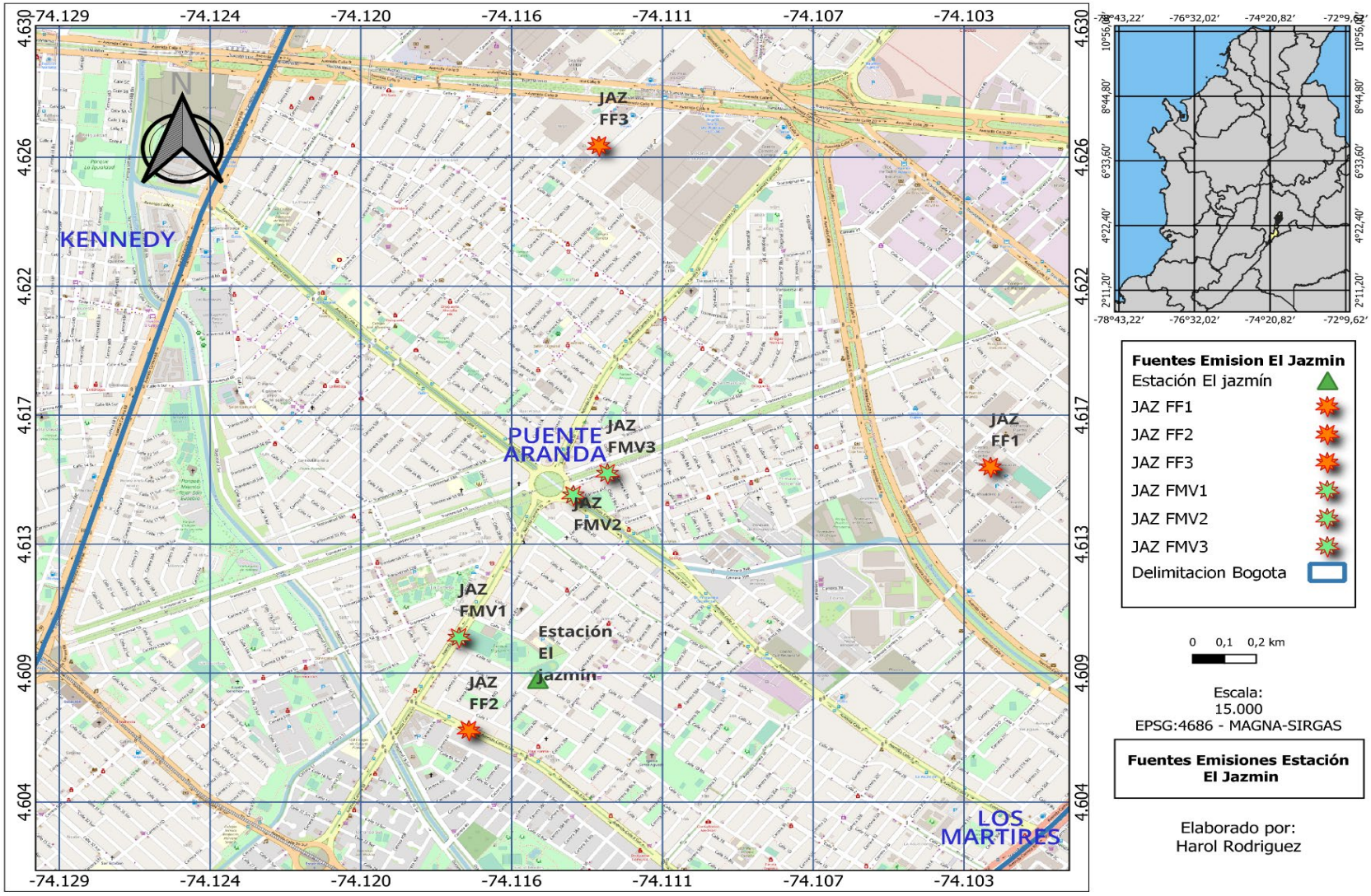
En la Tabla N ° 10 se puede obtener la información referente a la estación El Jazmín en la cual se tienen consignados los datos de identificación, ubicación, características y registro fotográfico de alrededores, así como también la identificación de las fuentes de emisión y su identificativo para reconocimiento en el mapa. Para esta estación se cuenta con seis principales fuentes de emisión: tres fuentes móviles pertenecientes a los principales corredores viales del sector y tres fuentes fijas pertenecientes a comercio, instituciones e industrias presentes en la zona.

Tabla 10 *Descripción estación El Jazmín (RMCAB).*

Nombre estacion	El Jazmin			
Siglas	JAZ			
Ubicación				
Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Altura (m)
Puente Aranda	4,6085	-74,114944	2559	0
Caracteristicas				
	Tipo de zona	Tipo de Estacion	Medicion de PM_{10}	Medicion de $PM_{2.5}$
	Urbana	Residencial	SI	SI
Vias Cercanas				
Localizacion	Norte	Sur	Este	Oeste
Carrera 1 G #41 A - 39	Carrera 41	Carrera 40 B	Avenida Carrera 50	Calle 1 H
Observaciones				
JAZ FMV1 Fuentes móvil vehículos, avenida carrera 50				
JAZ FMV2 Fuentes móvil vehículos, avenida calle 3				
JAZ FMV3 Fuentes móvil vehículos, trasversal 42				
JAZ FF1 Fuentes fijas industrial, Zona industrial				
JAZ FF2 Fuentes fijas comercial, Zona comercial				
JAZ FF3 Fuentes fijas comercial, Zona comercial				
Entorno				
Alzados	Norte	Sur	Este	Oeste
				

En la figura N° 17 se establece la ubicación de la estación Puente Aranda y de las fuentes cercanas de emisión con su respectivo indicativo para consultar en la tabla N° 10.

Figura 17 *Fuentes de emisión estación El Jazmín (RMCAB).*



5.2.Recolección de información

Una vez establecidas las estaciones de monitoreo utilizadas, se procede a realizar la descarga de la información a través de los portales de la RMCAB y se solicita los datos al Laboratorio de Calidad de Aire de la Universidad Distrital con el objetivo de realizar la comparación de sistemas de vigilancia se toma un periodo de tiempo del día 01 de julio de 2022 hasta el 31 de diciembre de 2022, esto permite obtener la cantidad de datos necesarios para el estudio. Teniendo en cuenta que los datos suministrados son una serie temporal de concentraciones, se establece la unidad tiempo como un dato de concentración por cada hora y se determina que el inicio del día es a las 00:00 horas y el final a las 23:00 horas. Como el equipo de la estación de Aduanilla de Paiba registra los datos de forma minutal se estableció una conversión con los promedios de concentración reduciendo el tamaño de muestra de 265.260 a 4421 datos, lo que permite una mejor visualización grafica al momento de realizar el análisis exploratorio y reduce errores humanos en el tratamiento y validación de los datos.

5.2.1. Validación de datos

El proceso de validación se llevó a cabo estableciendo banderas que permitieron registrar un valor erróneo de tal forma que se discretizaron pruebas de análisis booleanas utilizando rangos de concentraciones que permitieran identificar fallas en los equipos, valores negativos, valores inusualmente altos o bajos. Estas prácticas permiten descartar registros que alteren los resultados y no expresen el comportamiento verdadero de la zona de estudio. En paralelo se instauró un análisis manual y de criterio personal como se sugiere en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de Calidad de Aire de Colombia lo que permitió identificar un comportamiento fuera de lo común en la estación de Bosa Porvenir que registraba un incremento en una secuencia temporal con comportamiento constante de PM_{10} en el periodo de tiempo comprendido desde el 19 de noviembre de 2022 hasta 19 de diciembre del 2022, por este motivo se sacaron del estudio estos datos.

Teniendo en cuenta lo establecido para el tratamiento de datos se debe identificar el número de horas con información utilizable en cada día y descartar para el siguiente nivel de validación los días que no cumplan con el mínimo de recuperación de datos útiles de 75% (MAVD, 2010, pág. 80), de tal forma que todos los días que no cumplirán con un registro mínimo de 18 datos de concentraciones horarias se eliminaron de la muestra, además de esto para realizar una comparación efectiva entre estaciones se debe tener en cuenta que el número de datos debe ser el mismo para las estaciones a analizar y estas deben tener el registro en las mismas fechas, con el fin de garantizar la paridad en los datos y que no exista una tendencia que favorezca a ninguna estación, los datos descartados para cada comparación se pueden observar más detallados en el anexo (1).

Una vez determinado el número de datos válidos para cada comparación se realizó el cálculo de la media móvil el cual es un promedio de un valor de la serie y los que le rodean. Las medias móviles se utilizan para suavizar las series cronológicas, es decir, para reducir las fluctuaciones en las series de datos (MAVD, 2010, pág. 99). Esto reduce los picos de las gráfica y errores asociados a cambian abruptos en el comportamientos o concentraciones con niveles elevados que se representarían como picos fuera de lo común.

5.3.Análisis de datos

El reconocer las similitudes o diferencia entre las estaciones es uno de los objetivos del estudio, para lo cual se establece las concentraciones promedio horaria de las dos estaciones de análisis en la misma secuencia temporal y se grafica con el fin de analizar su comportamiento.

5.3.1. Análisis de estadístico de concentración PM_{10}

5.3.1.1.Grupo A concentración PM_{10}

A partir de la segregación de información no valida se procede a establecer la relación de comportamiento de las estaciones de Kennedy y Ciudad Bolívar con la estación de Bosa Porvenir. En la tabla N° 11 se establece las medidas de tendencia central para determinar el promedio de concentración para cada una de las estaciones, estableciendo que la estación de Kennedy presenta niveles más elevados de concentración de material particulado PM_{10}, para un tamaño de muestra de 839 datos con los máximos registrados por las estaciones, se puede inferir que la estación Kennedy esta más expuesta a fuentes de emisión de material particulado PM_{10} que la estación Bosa Porvenir.

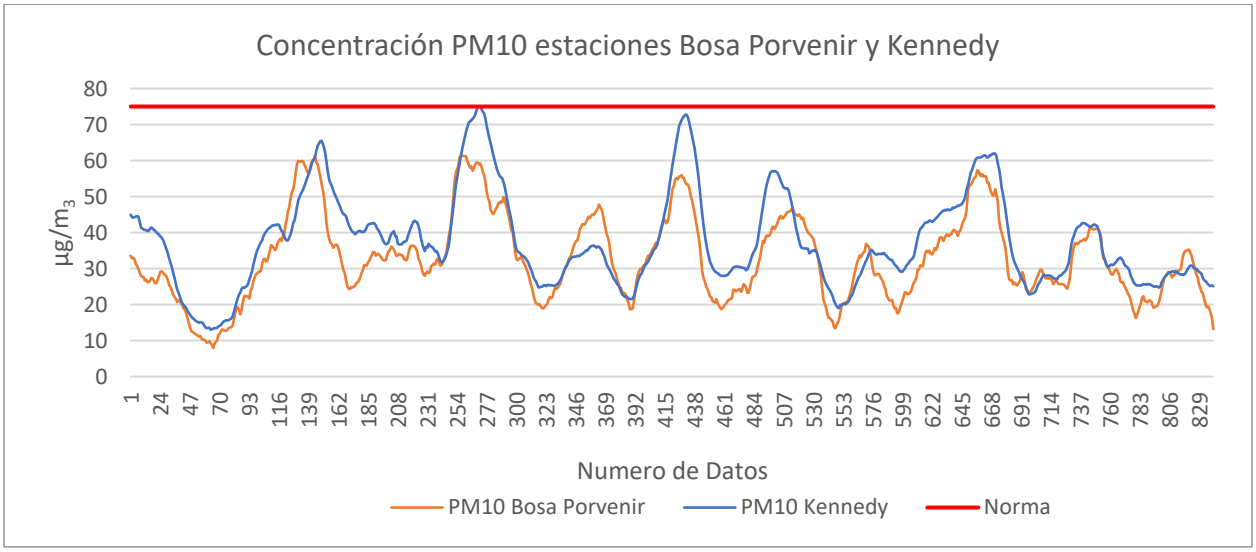
Tabla 11 *Estadística descriptiva de la concentración de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*

PM10 Bosa Porvenir		PM10 Kennedy	
Medidas de tendencia central		Medidas de tendencia central	
Media	32,81	Media	37,50
Mediana	31,04	Mediana	34,99
Mínimo	7,92	Mínimo	13,05
Máximo	61,29	Máximo	75,07
Numero de datos	839	Numero de datos	839
Medidas de dispersión		Medidas de dispersión	
Desviación estándar	11,81	Desviación estándar	13,18
Varianza de la muestra	139,54	Varianza de la muestra	173,73
Coeficiente de variación	36%	Coeficiente de variación	35%
Rango	53,375	Rango	62,02
Asimetría y Curtosis		Asimetría y Curtosis	
Curtosis	-0,25	Curtosis	0,21
Coeficiente de asimetría	0,50	Coeficiente de asimetría	0,75

En el gráfico N° 18 se evidencia que esta diferencia de concertación se mantiene a través del tiempo exceptuando en el pico central y final donde la estación de Bosa Porvenir sobre pasa la concentración de la estación Kennedy. Por medio de esta grafica se puede inferir que el comportamiento de las dos estaciones es similar ya que presenta el mismo patrón de subidas y

bajadas en las mediciones, lo que indica que tienen una relación favorable en el comportamiento de las concentraciones.

Figura 18 *Concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*



En la tabla N° 12 se establece las medidas de tendencia central para determinar el promedio de concentración donde se evidencia que la estación de Bosa Porvenir presenta niveles más elevados de concentración de material particulado PM_{10} para un tamaño de muestra de 2688 datos. Teniendo en cuenta los máximos registrados por las estaciones se puede inferir que la estación Bosa Porvenir esta más expuesta a fuentes de emisión de material particulado PM_{10} que la estación Ciudad Bolívar.

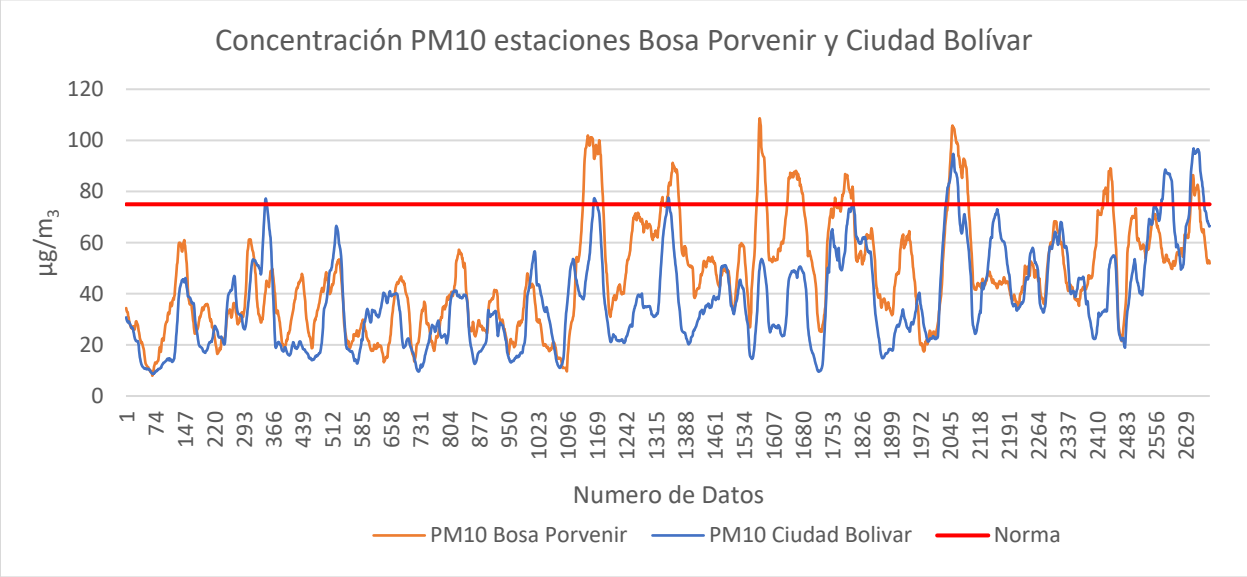
Tabla 12 *Estadística descriptiva de la concentración de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*

PM10 Bosa Porvenir		PM10 Ciudad Bolivar	
Medidas de tendencia central		Medidas de tendencia central	
Media	46,59	Media	38,03
Mediana	43,88	Mediana	34,74
Mínimo	7,92	Mínimo	8,65
Máximo	108,67	Máximo	96,86
Numero de datos	2688	Numero de datos	2688
Medidas de dispersión		Medidas de dispersión	
Desviación estándar	20,76	Desviación estándar	19,05
Varianza de la muestra	431,04	Varianza de la muestra	362,99
Coeficiente de variación	45%	Coeficiente de variación	55%
Rango	100,8	Rango	88,2
Asimetría y Curtosis		Asimetría y Curtosis	
Curtosis	-0,19	Curtosis	0,002
Coeficiente de asimetría	0,58	Coeficiente de asimetría	0,75

En el gráfico N° 19 se evidencia como la estación de Bosa Porvenir registra mediciones con mayor concentración (más del 60% de los datos) y se hace más evidente en las dos terceras partes del final del periodo de estudio, donde se puede ver mayor diferencia de concentraciones. En este caso el comportamiento es similar solo el en el inicio y final.

En la zona central se comparte similitudes en los altos y bajos de la concertación, pero las diferencia entre mediciones pueden llegar a ser mayor de 20 µg/m3 en esta zona, lo que puede indicar que la similitud es más baja entre la estación Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar.

Figura 19 *Concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*



5.3.1.2. Análisis de PM_{10} Grupo B

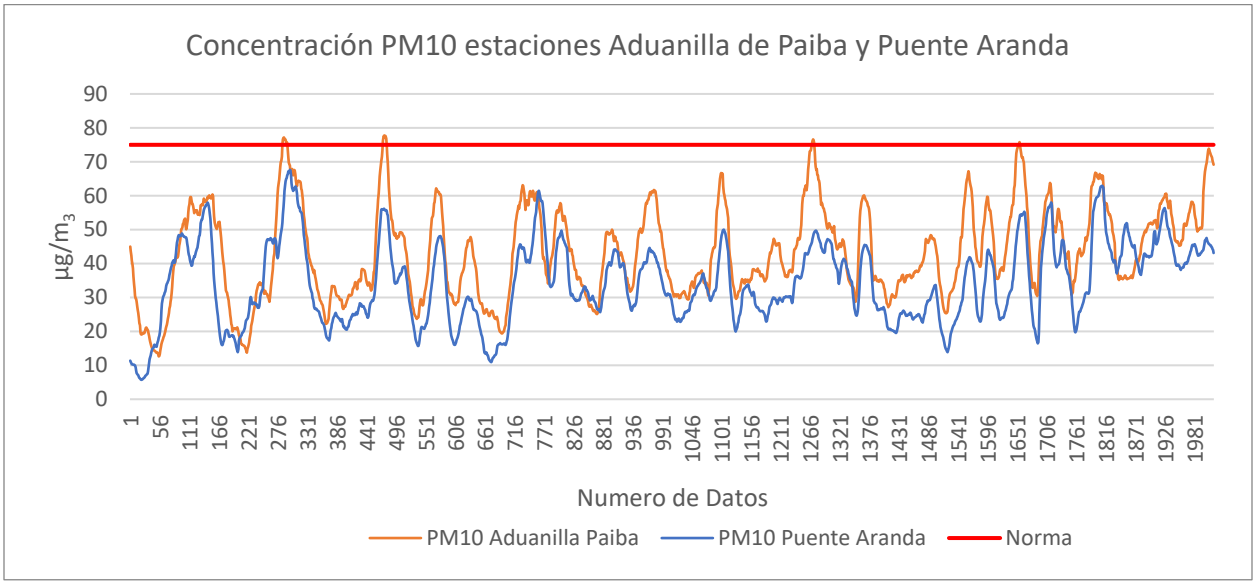
Concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda:
En la tabla N° 13 se evidencia como el promedio de concentración de la estación de Aduanilla de Paiba presenta niveles más elevados de concentración de material particulado PM_{10} para un tamaño de muestra de 2016 datos. Teniendo en cuenta los máximos registrados por las estaciones se puede inferir que la estación Aduanilla de Paiba está más expuesta a fuentes de emisión de material particulado PM_{10} que la estación Puente Aranda.

Tabla 13 *Estadística descriptiva de la concentración de PM_{10} en las estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda.*

PM10 Aduanilla Paiba		PM10 Puente Aranda	
Medidas de tendencia central		Medidas de tendencia central	
Media	43,29	Media	34,34
Mediana	41,98	Mediana	33,07
Mínimo	12,63	Mínimo	5,72
Máximo	77,70	Máximo	67,65
Numero de datos	2016	Numero de datos	2016
Medidas de dispersión		Medidas de dispersión	
Desviación estándar	13,62	Desviación estándar	12,00
Varianza de la muestra	185,53	Varianza de la muestra	143,95
Coeficiente de variación	31%	Coeficiente de variación	35%
Rango	65,07	Rango	61,93
Asimetría y Curtosis		Asimetría y Curtosis	
Curtosis	-0,53	Curtosis	-0,46
Coeficiente de asimetría	0,23	Coeficiente de asimetría	0,17

En el gráfico N° 20 se puede observar cómo la estación Aduanilla de Paiba registra una mayor concentración en más del 80% de los registros; por otra parte, su comportamiento es similar ya que presenta uniformidad en sus altas y bajas de concentración lo que sugiere que existe un patrón de comportamiento entre las estaciones, también se puede observar como en la mayoría de los picos se presenta una diferencia de concentración en un rango de 10 µg/m3.

Figura 20 *Concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*



En la tabla N° 14 se evidencia como el promedio de concentración de la estación de Aduanilla de Paiba presenta niveles más elevados de concentración de material particulado PM_{10} para un tamaño de muestra de 3603 datos. Teniendo en cuenta los máximos registrados por las estaciones se puede

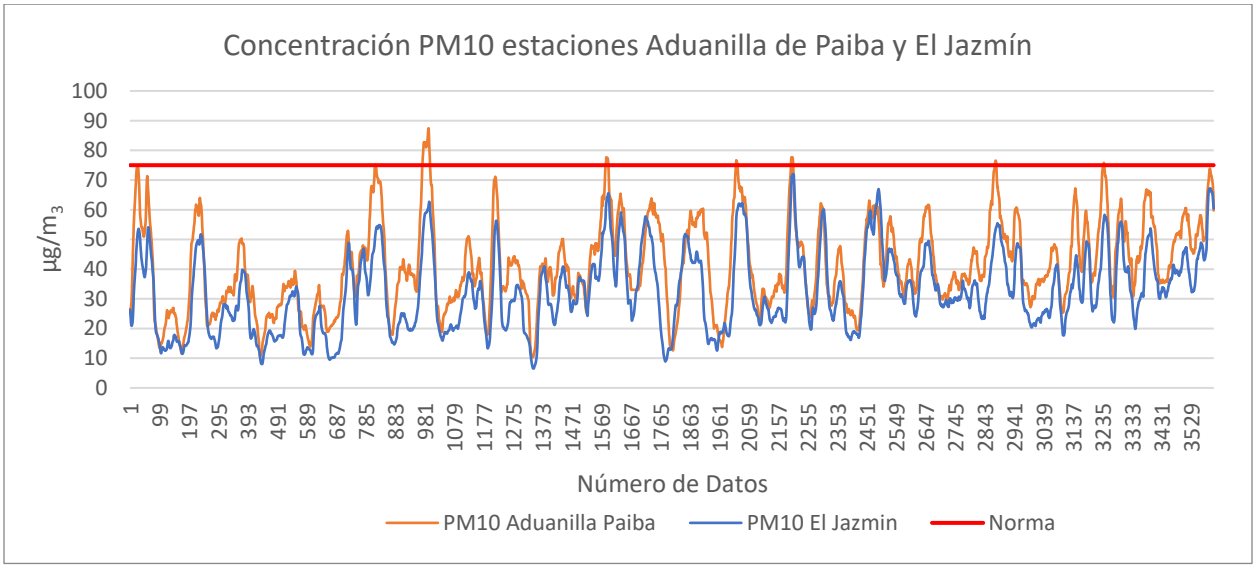
inferir que la estación Aduanilla de Paiba está más expuesta a fuentes de emisión de material particulado PM_{10} que la estación El Jazmín.

Tabla 14 *Estadística descriptiva de la concentración de PM_{10} en las estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín.*

PM10 Aduanilla Paiba		PM10 El Jazmin	
Medidas de tendencia central		Medidas de tendencia central	
Media	41,25	Media	32,52
Mediana	38,73	Mediana	30,93
Mínimo	10,31	Mínimo	6,52
Máximo	87,47	Máximo	72,07
Numero de datos	3603	Numero de datos	3603
Medidas de dispersión		Medidas de dispersión	
Desviación estándar	14,83	Desviación estándar	13,25
Varianza de la muestra	219,91	Varianza de la muestra	175,66
Coeficiente de variación	36%	Coeficiente de variación	41%
Rango	77,15	Rango	65,55
Asimetría y Curtosis		Asimetría y Curtosis	
Curtosis	-0,39	Curtosis	-0,48
Coeficiente de asimetría	0,37	Coeficiente de asimetría	0,43

En el gráfico N° 21 se representa el comportamiento de concentración de material particulado PM_{10}, donde se observa que la estación Aduanilla de Paiba presenta una mayor concentración en más del 80% de los datos, sin embargo, la diferencia que se observa entre las dos estaciones no es alta, presentado un comportamiento constante de uniformidad donde las altas y bajas de concentración presentan un patrón de comportamiento lo que puede indicar que la similitud es alta.

Figura 21 *Concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*



5.3.1.3.Análisis de $PM_{2.5}$ Grupo B

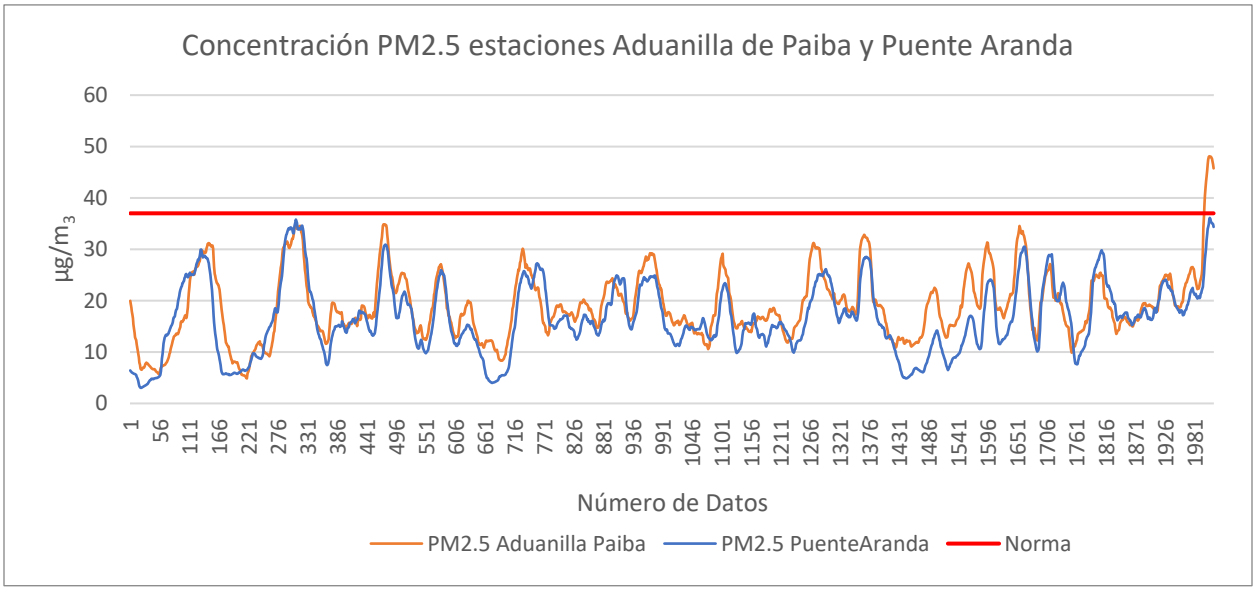
En la tabla N° 15 evidencia como el promedio de concentración de la estación de Aduanilla de Paiba presenta niveles más elevados de concentración de material particulado $PM_{2.5}$ para un tamaño de muestra de 2016 datos. Teniendo en cuenta los máximos registrados por las estaciones se puede inferir que la estación Aduanilla de Paiba está más expuesta a fuentes de emisión de material particulado $PM_{2.5}$ que la estación Puente Aranda.

Tabla 15 *Estadística descriptiva de la concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*

PM2.5 Aduanilla Paiba		PM2.5 Puente Aranda	
Medidas de tendencia central		Medidas de tendencia central	
Media	19,00	Media	16,67
Mediana	17,99	Mediana	15,91
Mínimo	4,86	Mínimo	3,03
Máximo	48,11	Máximo	36,11
Numero de datos	2016	Numero de datos	2016
Medidas de dispersión		Medidas de dispersión	
Desviación estándar	6,76	Desviación estándar	6,91
Varianza de la muestra	45,72	Varianza de la muestra	47,76
Coeficiente de variación	36%	Coeficiente de variación	41%
Rango	43,25	Rango	33,08
Asimetría y Curtosis		Asimetría y Curtosis	
Curtosis	1,31	Curtosis	-0,25
Coeficiente de asimetría	0,77	Coeficiente de asimetría	0,33

En el gráfico N° 22 se observa cómo la estación Aduanilla de Paiba registra una mayor concentración de material particulado $PM_{2.5}$ en más del 80% de los registros, por otra parte, su comportamiento es similar ya que presenta uniformidad en sus altas y bajas de concentración lo que sugiere que existe un patrón de comportamiento en entre las estaciones. Se evidencia que existe una diferencia marcada de concentración en los picos del final de los registros.

Figura 22 *Concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*



En la tabla N° 16 evidencia como el promedio de concentración de la estación de Aduanilla de Paiba presenta niveles más elevados de concentración de material particulado $PM_{2.5}$, no obstante, la diferencia no es marcada teniendo un comportamiento similar entra las estaciones todo esto para un tamaño de muestra de 3603 datos.

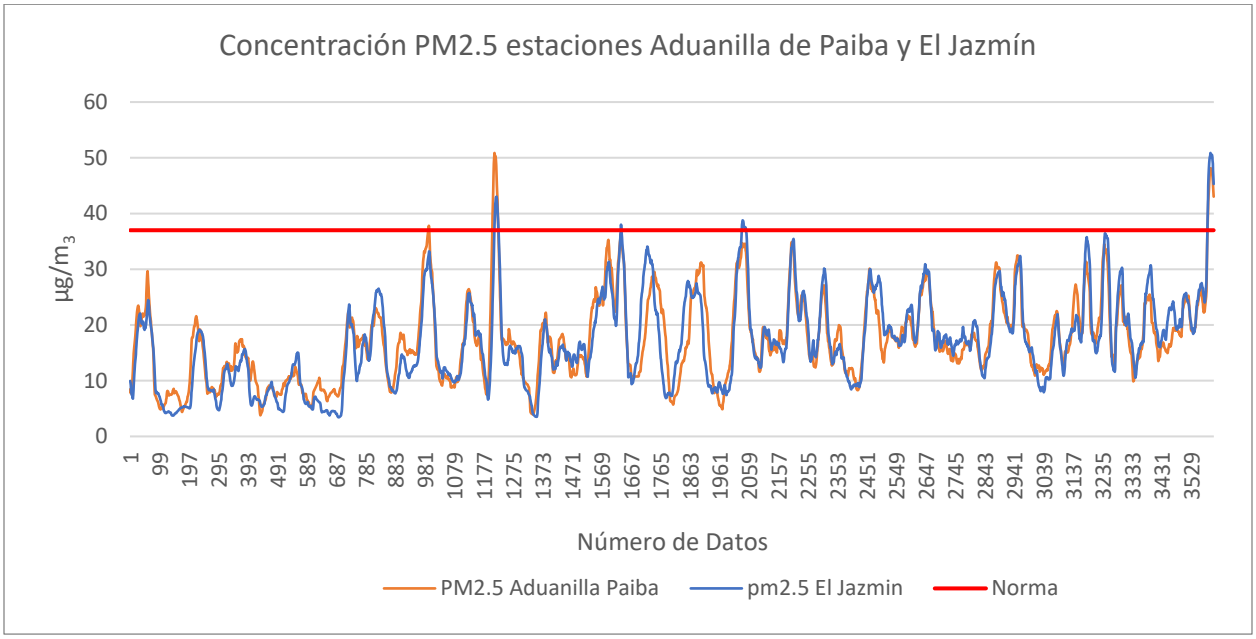
Tabla 16 *Estadística descriptiva de la concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*

PM2.5 Aduanilla Paiba		PM2.5 El Jazmin	
Medidas de tendencia central		Medidas de tendencia central	
Media	17,33	Media	16,97
Mediana	16,56	Mediana	16,23
Mínimo	3,79	Mínimo	3,43
Máximo	50,86	Máximo	50,86
Numero de datos	3603	Numero de datos	3603
Medidas de dispersión		Medidas de dispersión	
Desviación estándar	7,62	Desviación estándar	8,11
Varianza de la muestra	58,10	Varianza de la muestra	65,78
Coeficiente de variación	44%	Coeficiente de variación	48%
Rango	47,07	Rango	47,43
Asimetría y Curtosis		Asimetría y Curtosis	
Curtosis	1,24	Curtosis	0,65
Coeficiente de asimetría	0,87	Coeficiente de asimetría	0,70

En el gráfico N° 23 se observa que la estación El Jazmín presenta una mayor concentración la segunda mitad de la serie temporal, sin embargo, la diferencia que se observa entre las dos

estaciones no es alta, presentando un comportamiento constante de uniformidad donde las altas y bajas de concentración mostrando un patrón de comportamiento alto entre ellas.

Figura 23 *Concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*



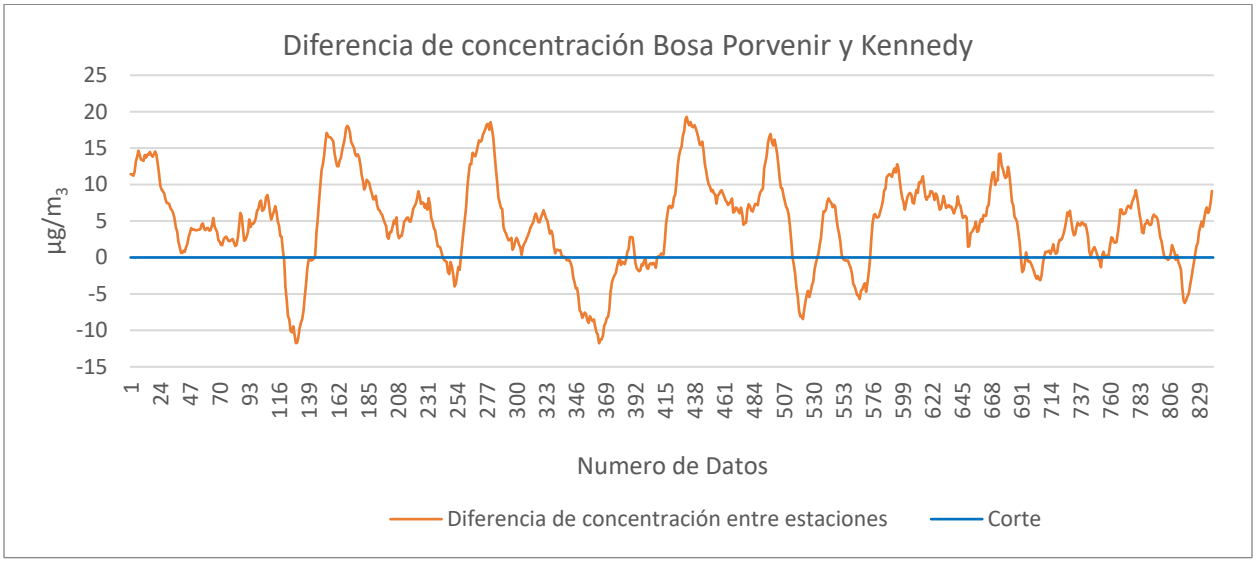
5.3.2. Análisis de diferencia de concentraciones

Se realizó un análisis con la diferencia de concentraciones entre las estaciones del SVCA de Bogotá y las estaciones de Bosa Porvenir y Aduanilla de Paiba del SVCA de la Universidad Francisco José de Caldas para determinar si existe una variación significativa en los datos de concentraciones, para lo cual se establece como control las estaciones de la RMCAB realizando una confrontación de datos para los grupos de comparación.

5.3.2.1. Diferencia de concentración PM_{10} grupo A

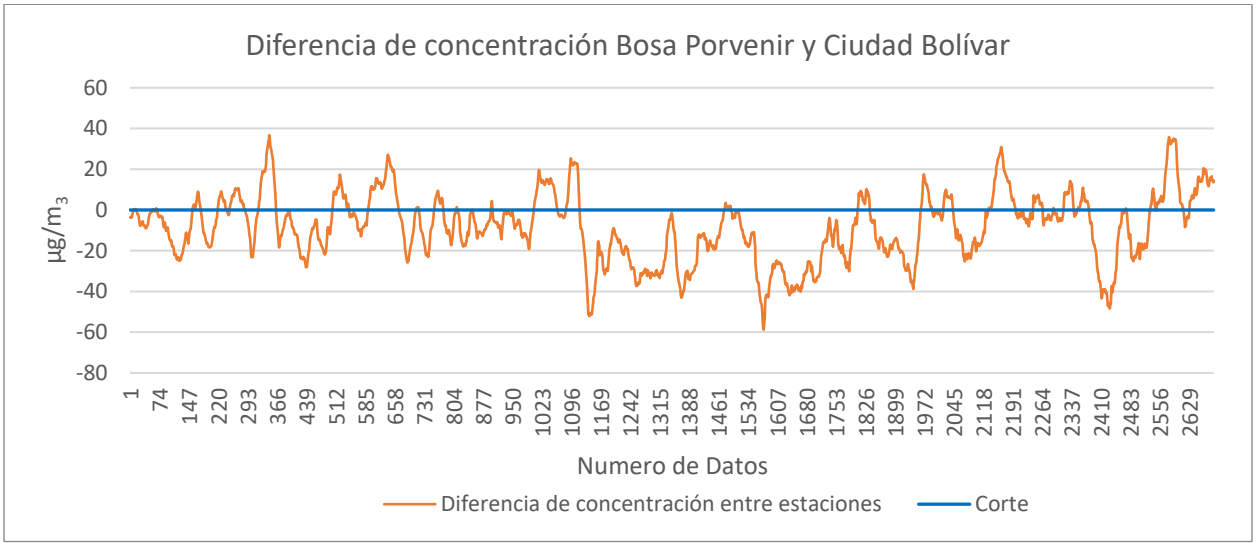
En el gráfico N° 24 se representa la diferencia de concentraciones de PM_{10} para la primera comparación del grupo A, en la cual se evidencia que los niveles de concertación son más altos en la estación de referencia de Kennedy, partiendo del hecho que el 78% de los datos se encuentra por encima de las mediciones de concentración promedio horaria de la estación Bosa Porvenir en el tamaño de muestra de 839 datos, en los cuales se resaltan 5 intervalos que presenta un aumento de concentración en cortos periodos de tiempo en la estación, lo cual sugiere que se presentaron sucesos que altearon las concentraciones en la zona de medición.

Figura 24 *Diferencia de concentración de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*



En el gráfico N° 25 se representa la diferencia de concentraciones de PM_{10} para la segunda comparación del grupo A, en la cual se evidencia que los niveles de concertación son más altos en la estación Bosa Porvenir, presentado un 71% de datos por encima de las mediciones de concentración promedio horaria de la estación de referencia Ciudad Bolívar en el tamaño de muestra de 3688 datos, lo cual se hace más evidente en la segunda mitad de la gráfica y seguiré que se presentaron sucesos que altearon las concentraciones en la zona de medición de la estación de Bosa Porvenir, la cual fue expuesta a un aumento de la concentración el 19 agosto del 2022.

Figura 25 *Diferencia de concentración de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*



En la figura N° 26 se establece que el día 19 de agosto se presentó un aumento de contaminante PM_{10} en los límites entre Funza y Bogotá el cual se representa con una tonalidad amarilla y abarca el sector donde se encuentran la estación de medición de Bosa Porvenir. Esto nos permite comprobar la diferencia de concentraciones existentes entre la estación de referencia de Ciudad Bolívar y la estación de Bosa Porvenir, no obstante, esta diferencia no implica que se presente un error en las mediciones de las estaciones, solo resalta el hecho de que las ubicaciones tienen incidencia de fuentes micro localizadas particulares de cada lugar. Además de esto se puede observar que los vientos presentados este día tienen una tendencia de dirección occidental lo cual permite que el material particulado PM_{10} presentados en el sector de Ciudad Bolívar se trasladen en dirección a las localidades Bosa y Kennedy, sumado a esto las bajas velocidades crean un ambiente propicio para la precipitación y asentamiento de los contaminantes.

Figura 26 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 18 y 19 agosto de 2022*

18/agosto/2022	19/agosto/2022
	

Fuentes: Ilustración tomada (ventusky, 2023).

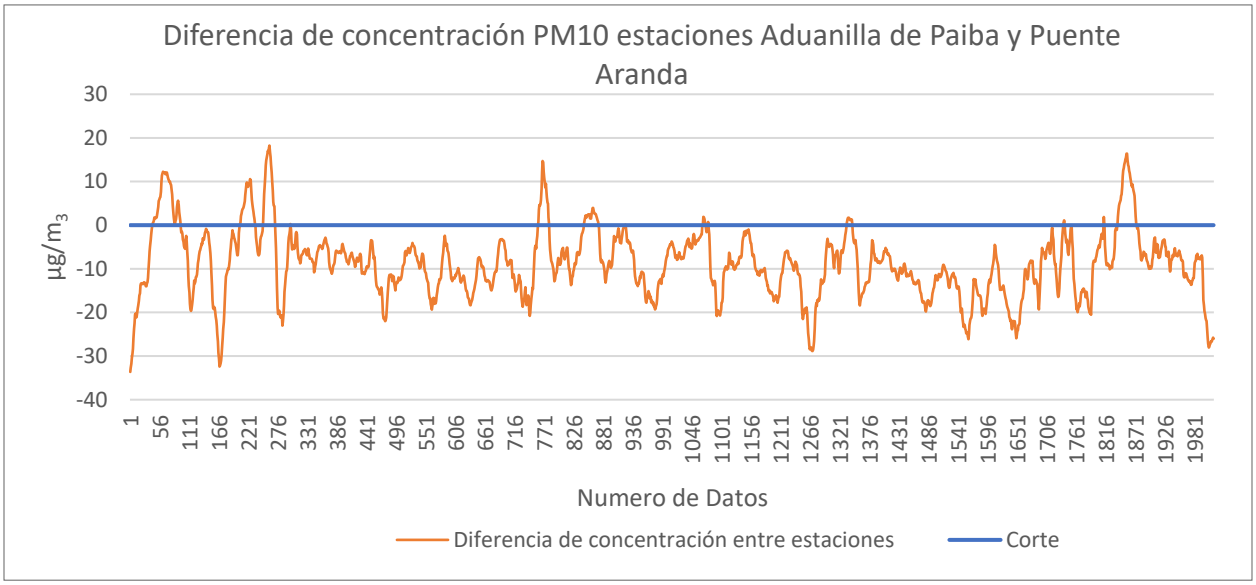
En la cual se compara las diferencias meteorológicas que se presentaron en los días que se identificaron como atípicos con el día anterior a este, para conocer las posibles causas del cambio en los datos registrados[1] .

5.3.2.1.Diferencia de concentración PM_{10} grupo B

En el gráfico N° 27 se representa la diferencia de concentraciones de PM_{10} para la primera comparación del grupo B, en la cual se evidencia que los niveles de concertación son más altos en la estación Aduanilla de Paiba, presentado un 89% de datos por encima de las mediciones de concentración promedio horaria de la estación de referencia Puente Aranda en el tamaño de muestra de 2016 datos, en los cuales se resaltan 4 intervalos que presentan un aumento de concentración en cortos periodos de tiempo en la estación de Puente Aranda los días 04 y 12 octubre, 04 noviembre y 19 diciembre del 2022 que altearon las concentraciones en la zona de medición.

[1] Las líneas blancas representan la dirección y velocidad de los vientos

Figura 27 *Diferencia de concentración PM10 estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*



Como se muestra en la figura N° 28 el día 04 de octubre se presenta una fuerte exposición de PM_{10} en la parte occidental y suroccidental de la ciudad de Bogotá, lo que nos permite establecer que las mediciones realizadas por la estación de Puente Aranda presentaron este aumento de concentración debido a la dirección y velocidad del viento, pues se presentan bajas velocidades que hacen más fácil la precipitación de las partículas en suspensión en el aire de la zona y al observar la dirección se puede identificar que los viento se dirigen hacia la zona noroccidental de la ciudad, Esto indica que el material particulado PM_{10} de la zona sur tendrá con transición las ubicación de las estaciones de Puente Aranda y El Jazmín.

Figura 28 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 03 y 04 octubre de 2022*

03 / Octubre / 2022	04 / Octubre / 2022
	

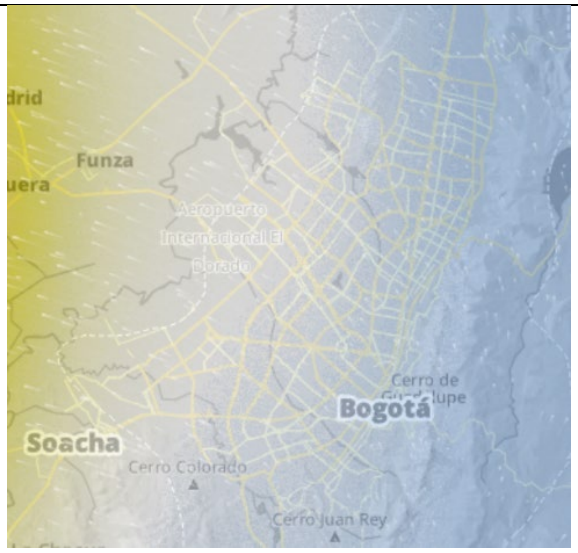
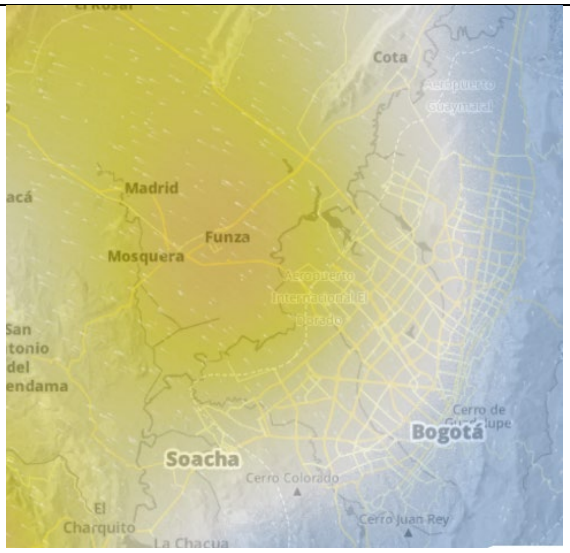
Fuentes: Ilustración tomada (ventusky, 2023).

En la cual se compara las diferencias meteorológicas que se presentaron en los días que se

identificaron como atípicos con el día anterior a este, para conocer las posibles causas del cambio en los datos registrados.[1]

En la figura N° 29 del día 12 de octubre se evidencia como en los limites occidentales de la ciudad de Bogotá se presenta una alta concentración de PM_{10} la cual afecta a la zona debido a los bajos vientos que no permiten una correcta dispersión de las partículas. Esto genera un aumento en los niveles de medición de las estaciones cercanas a esta zona, si se compara con las velocidades del día 11 se puede ver que estas son superiores haciendo que el material particulado PM_{10} se traslade hacia la periferia y se estabilice los niveles normales en el sector de medición.

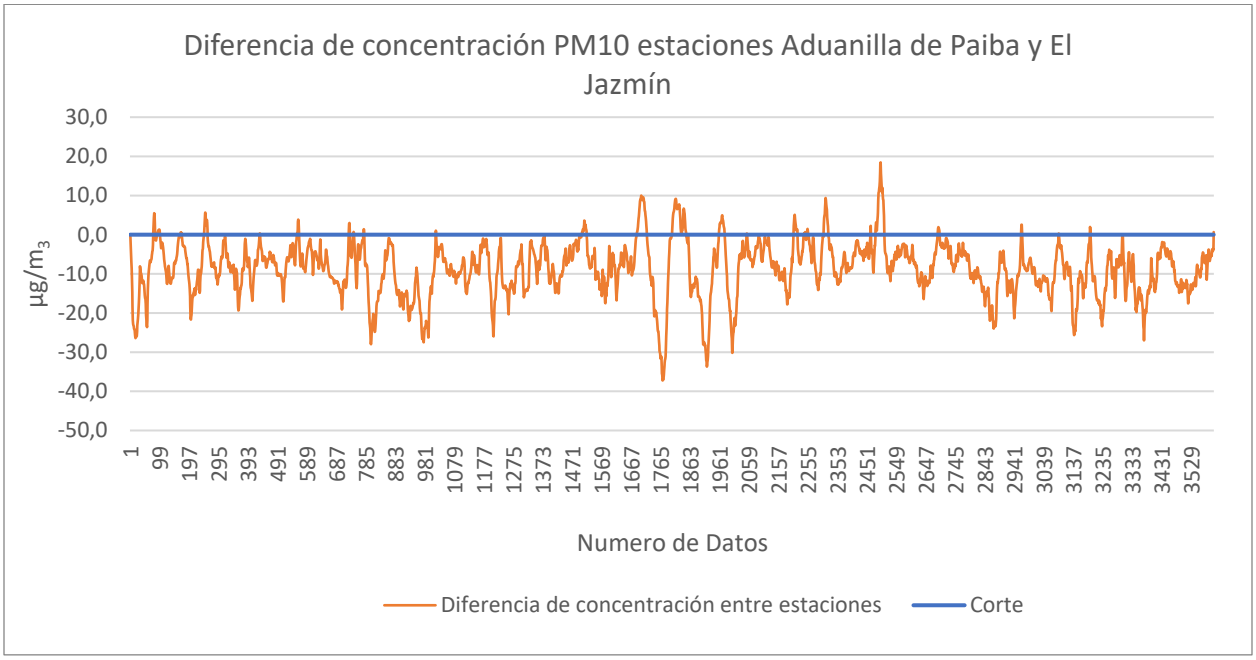
Figura 29 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 11 y 12 octubre de 2022*

11 / Octubre / 2022	12 / Octubre / 2022
	

Fuentes: Ilustración tomada (ventusky, 2023).
En la cual se compara las diferencias meteorológicas que se presentaron en los días que se identificaron como atípicos con el día anterior a este, para conocer las posibles causas del cambio en los datos registrados.[1]

En el gráfico N° 30 se representa la diferencia de concentraciones de PM_{10} para la segunda comparación del grupo B, en la cual se evidencia que los niveles de concertación son más altos en la estación Aduanilla de Paiba, presentado un 93 % de datos por encima de las mediciones de concentración promedio horaria de la estación de referencia El Jazmín en el tamaño de muestra de 3603 datos, en los cuales se resaltan 3 intervalos que presentan un aumento de concentración en cortos periodos de tiempo en la estación de El Jazmín los días 28 septiembre, 04 octubre, 04 de noviembre del 2022 que altearon las concentraciones en la zona de medición.

Figura 30 *Diferencia de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*



En la figura N° 31 se puede ver un leve aumento en la concentración PM_{10} el día 28 de septiembre en la parte occidental de Bogotá con respecto al día anterior. No obstante, se puede observar que la dirección y la velocidad son similares en estos días, lo cual nos permite identifica que el aumento de concentración de PM_{10} sufrido por la estación El Jazmín se debe a un suceso propio de la zona de medición ya que este aumento se manifiesto por un corto periodo de tiempo y en las estaciones cercanas no manifestaron dicho aumento.

Figura 31 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 27 y 28 septiembre de 2022*

27 / Septiembre / 2022	28 / Septiembre / 2022
	

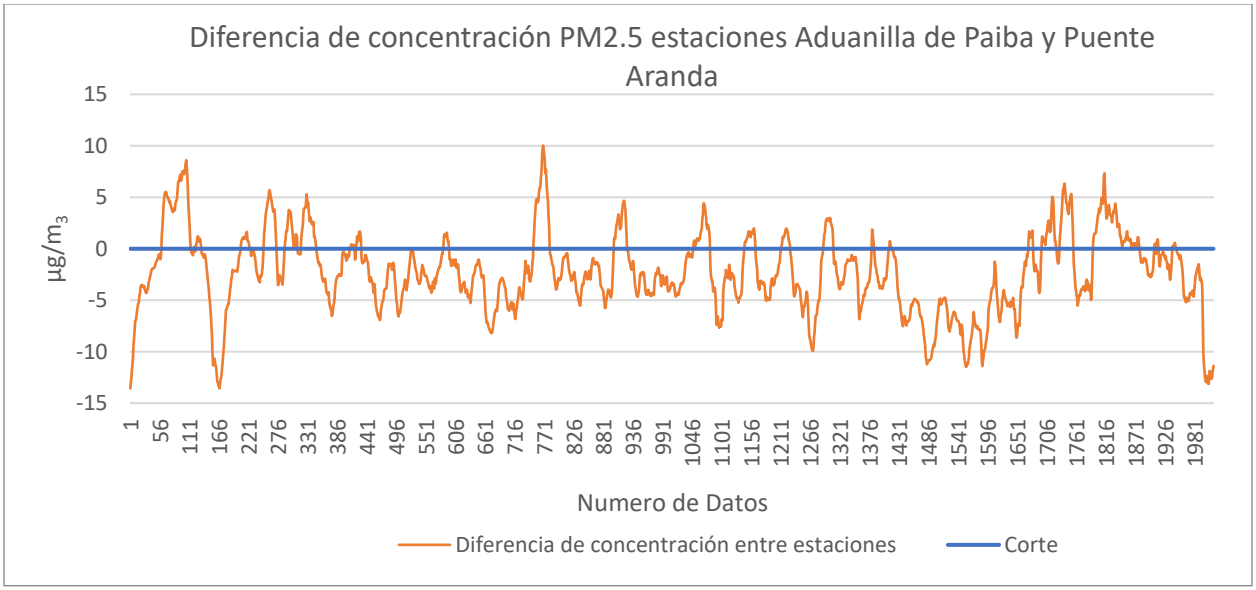
Fuentes: Ilustración tomada (ventusky, 2023).

En la cual se compara las diferencias meteorológicas que se presentaron en los días que se identificaron como atípicos con el día anterior a este, para conocer las posibles causas del cambio en los datos registrados.[1]

5.3.2.1.Diferencia de concentración $PM_{2.5}$ grupo B

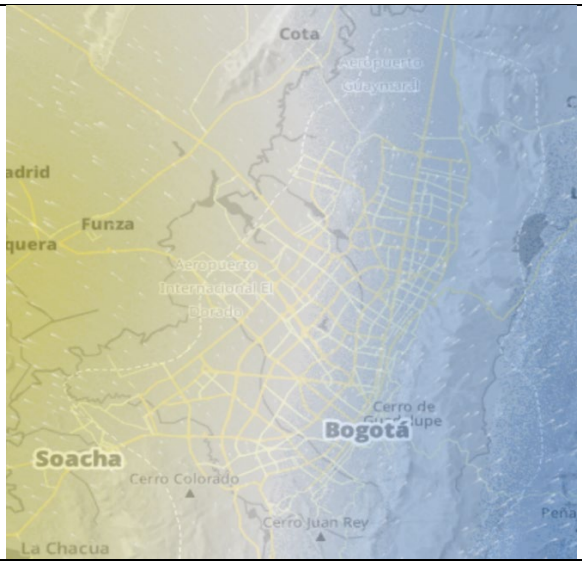
En el gráfico N° 32 se representa la diferencia de concentraciones de $PM_{2.5}$ para la primera comparación del grupo B, en la cual se evidencia que los niveles de concertación son más altos en la estación Aduanilla de Paiba, presentado un 75 % de datos por encima de las mediciones de concentración promedio horaria de la estación de referencia Puente Aranda en el tamaño de muestra de 2016 datos, en los cuales se resaltan 5 intervalos que presentan un aumento de concentración en cortos periodos de tiempo en la estación de El Jazmín los días 04 y 12 octubre, 04 noviembre, 17 y 19 de diciembre del 2022 que altearon las concentraciones en la zona de medición.

Figura 32 *Diferencia de concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*



En la figura N° 33 se puede identificar que se presenta una concentración de $PM_{2.5}$ fuera de lo común en el día 17 de octubre en la cual las zonas más afectadas por dicho aumento es la zona occidental y suroccidental de la ciudad de Bogotá. Debido a los bajos vientos presentados este día los contamines no se dispersaron correctamente y se registró un mayor nivel de material particulado de $PM_{2.5}$ en la estación de Puente Aranda, si se observa la dirección de los vientos se identifica una bifurcación en la zona cercana a la estación. Este fenómeno meteorológico se puede considerar otro factor por el cual los contaminantes se precipitaron en esta zona y aumentaron la concentración en los registros.

Figura 33 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 16 y 17 octubre de 2022*

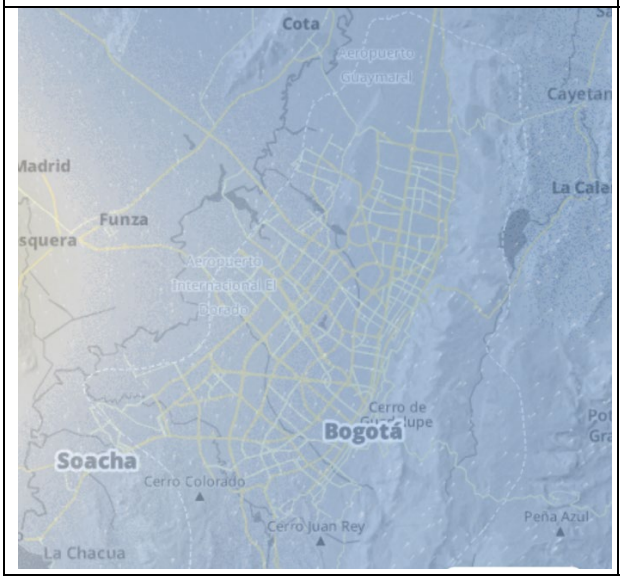
16 / Octubre / 2022	17 / Octubre / 2022
	

Fuentes: Ilustración tomada (ventusky, 2023).

En la cual se compara las diferencias meteorológicas que se presentaron en los días que se identificaron como atípicos con el día anterior a este, para conocer las posibles causas del cambio en los datos registrados.[1]

En la figura N° 34 se puede observar que existe un leve aumento en la concentración de $PM_{2.5}$ debido a las bajas velocidades, no obstante, este incremento no se mantiene por un largo periodo de tiempo lo cual siguiere que se presentó un evento aislado que elevo la concentración de $PM_{2.5}$ cerca de la estación de Puente Aranda.

Figura 34 *Comparación de condiciones meteorológicas de los días 18 y 19 octubre de 2022*

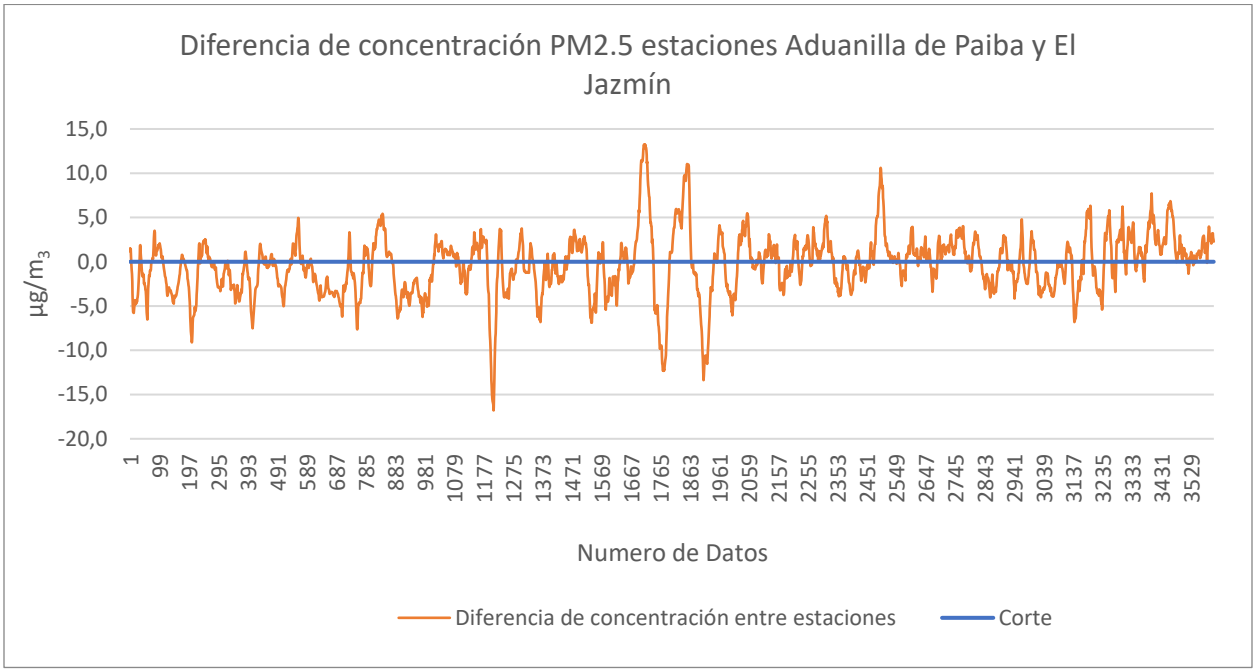
18 / Octubre / 2022	19 / Octubre / 2022
	

Fuentes: Ilustración tomada (ventusky, 2023).

En la cual se compara las diferencias meteorológicas que se presentaron en los días que se identificaron como atípicos con el día anterior a este, para conocer las posibles causas del cambio en los datos registrados.[1]

En el gráfico N° 35 se representa la diferencia de concentraciones de $PM_{2.5}$ para la segunda comparación del grupo B, en la cual se evidencia que los niveles de concertación son más altos en la estación Aduanilla de Paiba, presentado un 52 % de datos por encima de las mediciones de concentración promedio horaria de la estación de referencia El Jazmín en el tamaño de muestra de 3603 datos, no obstante el comportamiento indica que las dos estaciones presentan mediciones muy parecidas y pueden presentar un alto grado de asociación en las mediciones de concentración de $PM_{2.5}$.

Figura 35 *Diferencia de concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*



5.3.3. Análisis de dispersión

5.3.3.1. Grupo A concentración PM_{10}

El comportamiento mostrado en la comparación de la estación de Bosa Porvenir con las estaciones Kennedy y Ciudad Bolívar expresa la distribución de los datos de concentración los cuales tienden a agrupase sobre la línea de tendencia no obstante como se menciona anteriormente la cantidad de datos válidos para la comparación de Bosa Porvenir y Kennedy es notoriamente inferior a los datos validos en la comparación entre Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar en esta última se puede notar como los datos presentan un mayor rango de separación de la tendencia por tal motivo se puede esperar que la correlación de esta comparación sea inferior si se tienen en cuenta los factores meteorológicos que se presentan en la ubicaciones de estas dos estaciones se puede declarar que la que la diferencia de concentración se debe a

dirección y velocidad del viento (ya que son principales factores meteorológicos que influyen en la dispersión de contaminantes). (IDEAM)

Figura 36 *Gráfico de dispersión de concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*

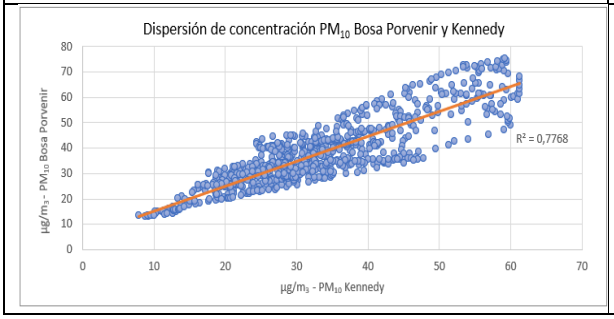
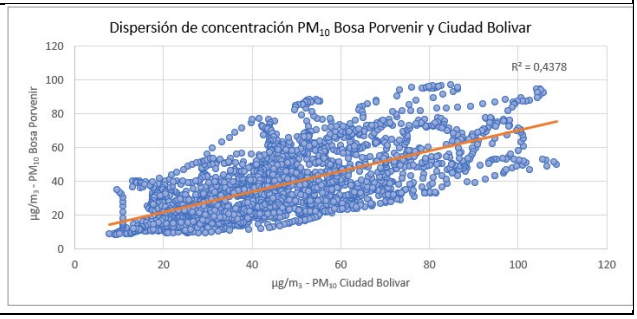


Figura 37 *Gráfico de dispersión de concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*



En el gráfico N° 36 se representa la relación que existe entre las mediciones de PM_{10} realizadas por la estación Bosa Porvenir y la estación Kennedy, en la cual se observa que existe una relación lineal positiva fuerte que se aproxima a 1, lo que nos indica que la asociación de las variables se dispone en el mismo sentido, por lo cual, cuando una aumenta la otra también.

En el gráfico N ° 37 se representa la relación que existe entre las mediciones de PM_{10} realizadas por la estación Bosa Porvenir y la estación Ciudad Bolívar, en la cual se observa que existe una relación lineal positiva débil donde los puntos se encuentran más dispersos y la relación existente esta más distante a 1, no obstante, se puede observar que la asociación de las variables se dispone en el mismo sentido, por lo cual, cuando una aumenta la otra también.

5.3.3.2.Grupo B concentración PM_{10}

El comportamiento mostrado en la comparación de concentración de PM_{10} de la estación de Aduanilla de Paiba con las estaciones Puente Aranda y El Jazmín muestra cómo se tiene un alto nivel de agrupamiento en las líneas de la tendencia central siendo más notable en la comparación de la estación Aduanilla de Piaba y El Jazmín lo cual refleja una alta similitud entre las mediciones tomadas por estas dos estaciones sugiriendo que comparten condiciones de medición parecidas, no obstante se ven datos fuera de lo normal que se alejan de la línea de tendencia los cuales pueden ser indicativo de un evento que altero las mediciones en una de las estaciones esto fenómeno es más notable en la comparación de las de Aduanilla de Paiba y Puente Aranda.

Figura 38 *Gráfico de dispersión de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*

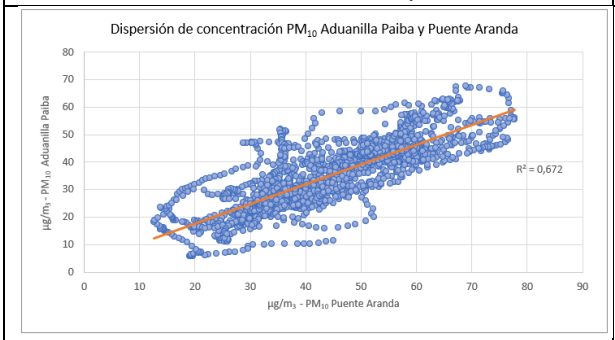
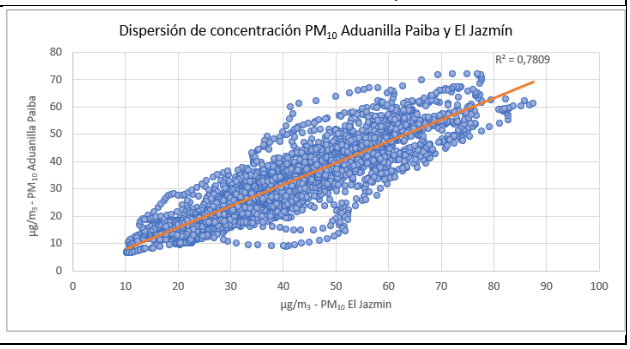


Figura 39 *Gráfico de dispersión de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*



En el gráfico N° 38 se representa la relación que existe entre las mediciones de PM_{10} realizadas por la estación Aduanilla de Paiba y la estación Puente Aranda, en la cual se observa que existe una relación lineal positiva débil donde los puntos se encuentran más dispersos y la relación existente esta más distante a 1, no obstante, se puede observar que la asociación de las variables se dispone en el mismo sentido.

En el gráfico N° 39 se representa la relación que existe entre las mediciones de PM_{10} realizadas por la estación Aduanilla de Paiba y la estación El Jazmín, en la cual se observa que existe una relación lineal positiva fuerte que se aproxima a 1, lo que nos indica que la asociación de las variables se dispone en el mismo sentido por lo cual, cuando una aumenta la otra acompañara dicho aumento.

5.3.3.3.Grupo B concentración $PM_{2.5}$

El comportamiento mostrado en la comparación de concentración de $PM_{2.5}$ de la estación de Aduanilla de Paiba con las estaciones Puente Aranda muestra un alto nivel de similitud entre las comparaciones donde se observa que se agrupa de una forma uniforme cerca de la línea de tendencia un indicativo que se tendrá un alto nivel de correlación en las dos comparaciones, como se observa en la figura 35 esta tendrá menor grado se semejanza en las mediciones.

Figura 40 *Gráfico de dispersión de concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*

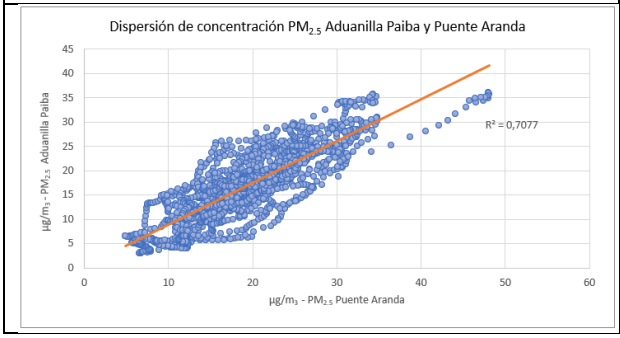
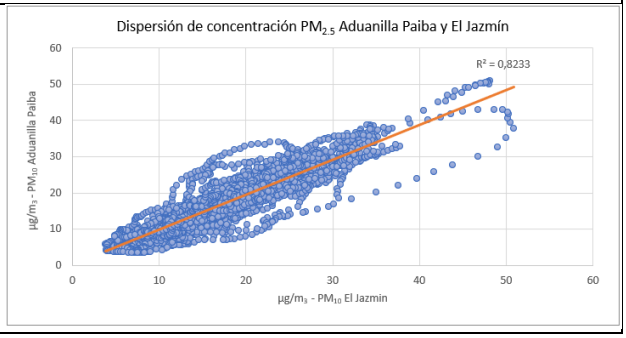


Figura 41 *Gráfico de dispersión de concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*



En el gráfico N° 40 se representa la relación que existe entre las mediciones de $PM_{2.5}$ realizadas por la estación Aduanilla de Paiba y la estación Puente Aranda en la cual se observa que existe una relación lineal positiva moderada donde los puntos se encuentran dispersos y la relación existente esta próxima a 1, no obstante, se puede observar que la asociación de las variables se dispone en el mismo sentido.

En el gráfico N ° 41 se representa la relación que existe entre las mediciones de $PM_{2.5}$ realizadas por la estación Bosa Porvenir y la estación Kennedy, en la cual se observa que existe una relación lineal positiva fuerte que se aproxima a 1, lo que nos indica que la asociación de las variables se dispone en el mismo sentido.

5.3.4. Pruebas de normalidad

Se realiza una prueba de normalidad con el fin de establecer si se utilizará una estadística paramétrica o una estadística no paramétrica para determinar la correlación entre estaciones, por lo tanto, se utilizará la prueba de Kolmogorov – Smirnov donde se plantea las siguientes hipótesis para un nivel de confianza de 95% y de 5% de significancia:

Hipótesis nula: los datos tienen una distribución normal.
Hipótesis alternativa: los datos no tienen una distribución normal.
El criterio de decisión se basa en:
sí $p < 0.05$ aceptamos la hipótesis alternativa
sí $p >= 0.05$ aceptamos la hipótesis nula.

5.3.4.1.Grupo A concentración PM_{10}

En la tabla N° 17 se establece la prueba de normalidad para la concentración de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Kennedy, donde se evidencia que $p = 0 < 0.05$. Se determina que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por tanto los datos no tienen una distribución normal y se aplicará estadística no paramétrica para la determinación de la correlación entre estaciones.

Tabla 17 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*

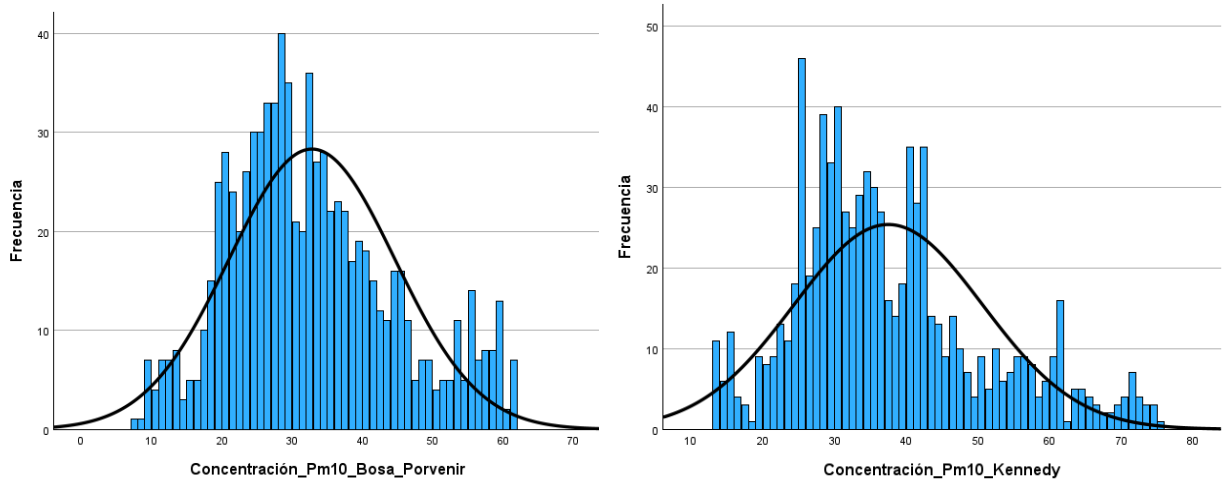
Prueba de normaliad de Kolmogorov -Smirnov	Estadistico	gl	p
Concentración Pm10 Bosa Porvenir	0,07	839	0,00
Concentración Pm10 Kennedy	0,085	839	0,00

Se realiza lo histograma de frecuencia para determinar si los datos cuentan con una distribución normal de esta forma se garantiza el resultado las pruebas de Kolmogórov-Smirnov.

Para el primera la primera comparación del grupo A, se puede observar que la estación Bosa Porvenir presenta una tendencia platicúrtica ya que su coeficiente de curtosis es negativo y la estación de Kennedy presenta una tendencia leptocúrtica ya que su coeficiente de curtosis es positivo, además de esto, la estación de Bosa Porvenir y Kennedy cuentan con una distribución

asimétrica positiva lo que indica que indica que los datos no cuentan con distribución normal y se ratifica la prueba de hipótesis.

Figura 42 *Histograma PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*



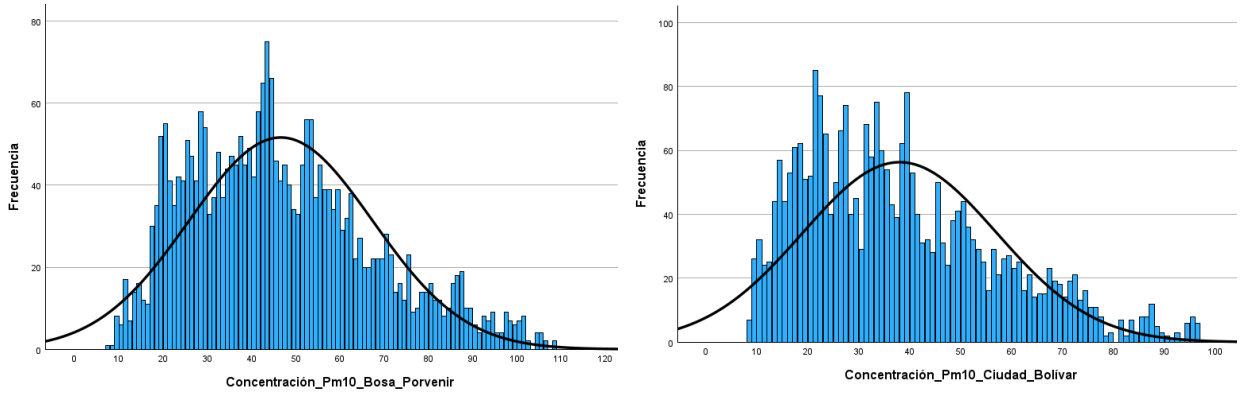
En la tabla N° 18 se establece la prueba de normalidad para la concentración de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar donde se evidencia que p= 0 < 0.05. Se determina que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por tanto los datos no tienen una distribución normal y se aplicará estadística no paramétrica para la determinación de la correlación entre estaciones.

Tabla 18 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*

Prueba de normaliad de Kolmogorov -Smirnov	Estadistico	gl	p
Concentración Pm10 Bosa Porvenir	0,06	2688	0,00
Concentración Pm10 Ciudad Bolivar	0,08	2688	0,00

En la segunda comparación del grupo A se puede observar que la estación Bosa Porvenir presenta una tendencia platicúrtica ya que se su coeficiente de curtosis es negativo, por otra parte, la estación de Ciudad Bolívar presenta una tendencia leptocúrtica ya que su coeficiente de curtosis es positivo, pero muy cercano a ser cero, además la estación de Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar cuenta con una distribución asimétrica positiva lo que indica que los datos no cuentan con distribución normal y se ratifica la prueba de hipótesis.

Figura 43 *Histograma PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*



5.3.4.2.Grupo B concentración PM_{10}

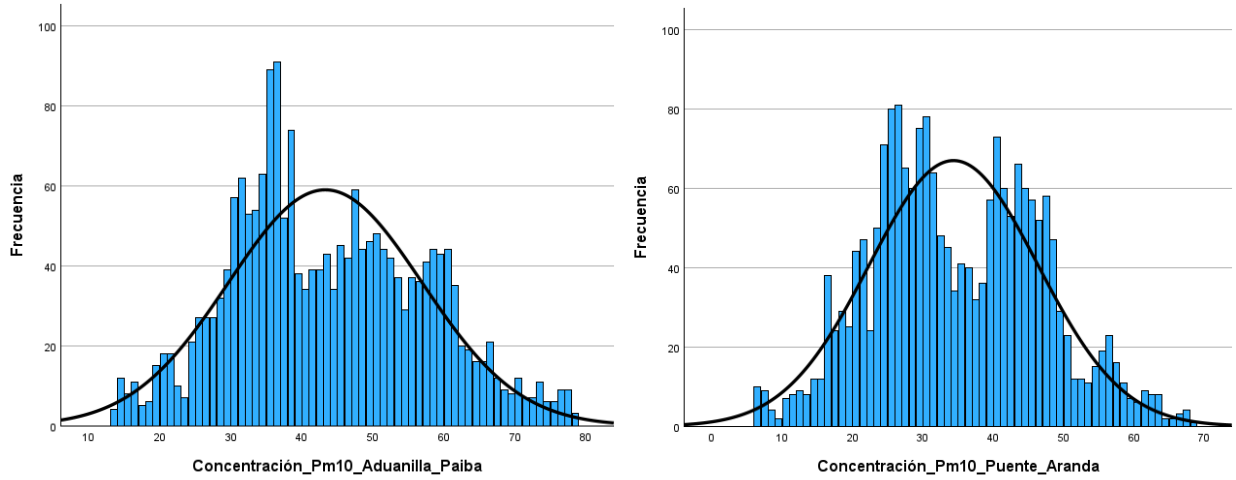
En la tabla N° 19 se establece la prueba de normalidad para la concentración de PM_{10} en las estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda donde se evidencia que p= 0 < 0.05. Se determina que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por tanto, los datos no tienen una distribución normal y se aplicará estadística no paramétrica para la determinación de la correlación entre estaciones.

Tabla 19 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*

Prueba de normaliad de Kolmogorov -Smirnov	Estadistico	gl	p
Concentración Pm10 Aduanilla de Paiba	0,088	2016	0
Concentración Pm10 Puente Aranda	0,074	2016	0

Para el primera la primera comparación del grupo B de las concentraciones de PM_{10} se puede observar que la estación Aduanilla de Paiba y Puente Aranda presentan una tendencia platicúrtica, ya que se sus coeficientes de curtosis son negativos, además de esto se puede observar que estas estaciones cuentan con una distribución asimétrica positiva lo que indica que los datos no cuentan con distribución normal y se ratifica la prueba de hipótesis.

Figura 44 *Histograma PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*



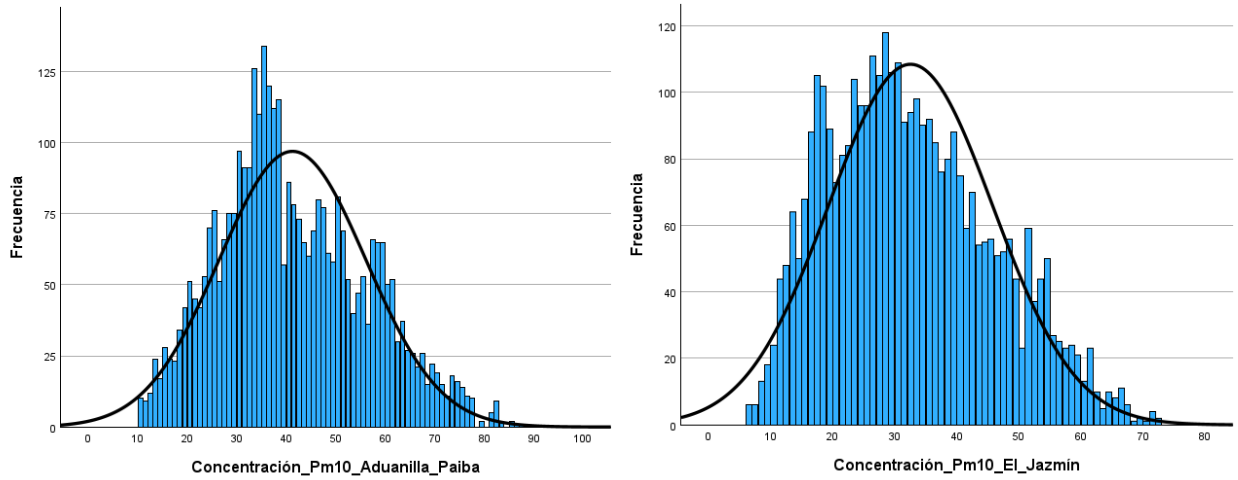
En la tabla N° 20 se establece la prueba de normalidad para la concentración de PM_{10} en las estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín donde se evidencia que p= 0 < 0.05. Se determina que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por tanto, los datos no tienen una distribución normal y se aplicará estadística no paramétrica para la determinación de la correlación entre estaciones.

Tabla 20 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*

Prueba de normaliad de Kolmogorov -Smirnov	Estadistico	gl	p
Concentración Pm10 Aduanilla de Paiba	0,071	3603	0
Concentración Pm10 El Jazmin	0,05	3603	0

En la segunda comparación para las concentraciones de PM_{10} del grupo B se puede observar que la estación Aduanilla de Paiba y El Jazmín presentan una tendencia platicúrtica, ya que se sus coeficientes de curtosis son negativos, además de esto se puede observar que estas estaciones cuentan con una distribución asimétrica positiva lo que indica que los datos no cuentan con distribución normal y se ratifica la prueba de hipótesis.

Figura 45 *Histograma PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*



5.3.4.3.Grupo B concentración $PM_{2.5}$

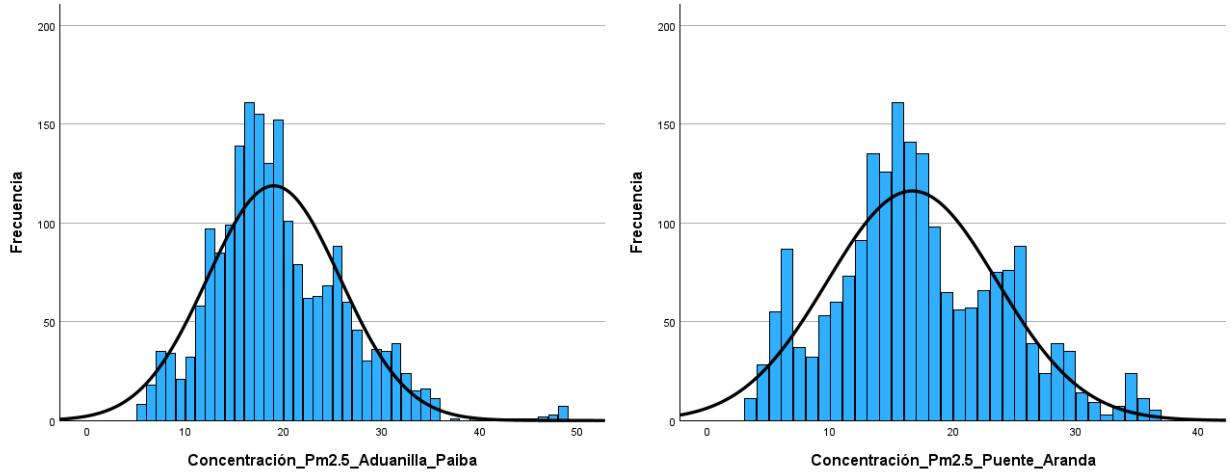
En la tabla N° 21 se establece la prueba de normalidad para la concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda donde se evidencia que p= 0 < 0.05. Se determina que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por tanto los datos no tienen una distribución normal y se aplicará estadística no paramétrica para la determinación de la correlación entre estaciones.

Tabla 21 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*

Prueba de normaliad de Kolmogorov -Smirnov	Estadistico	gl	p
Concentración Pm 2,5 Aduanilla de Paiba	0,107	2016	0
Concentración Pm 2,5 Puente Aranda	0,089	2016	0

Para la primera comparación del grupo B de las concentraciones de $PM_{2.5}$, se puede observar que la estación Aduanilla de Paiba presenta una tendencia leptocúrtica ya que se su coeficiente de curtosis es positivo, a diferencia de estación Puente Aranda que presenta una tendencia platicúrtica, ya que su coeficiente de curtosis es negativo, además de esto la estación de Aduanilla de Paiba y Puente Aranda cuenta con una distribución asimétrica positiva lo que indica que los datos no cuentan con distribución normal y se ratifica la prueba de hipótesis.

Figura 46 *Histograma $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*



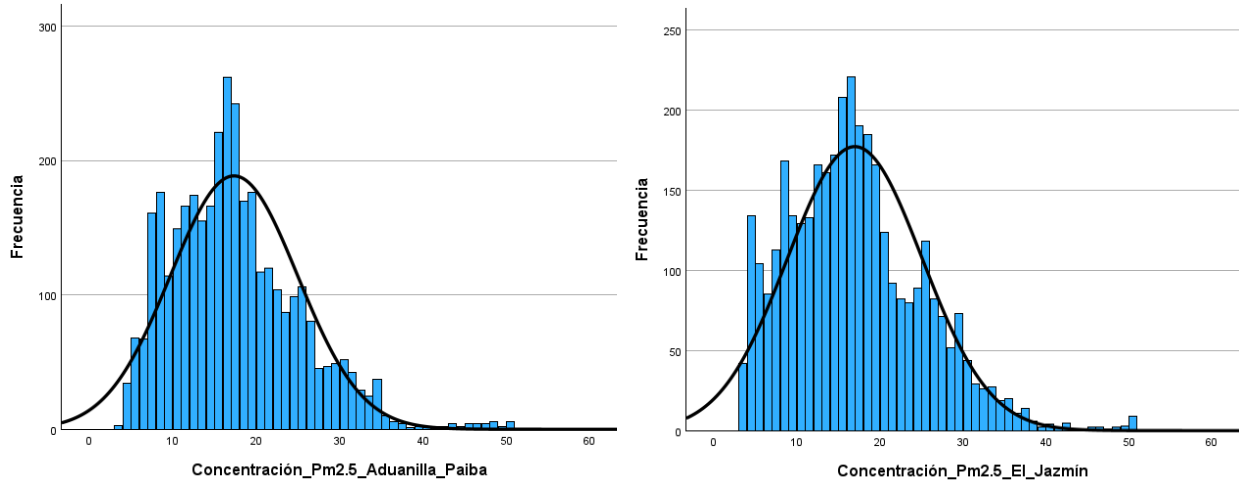
En la tabla N° 22 se establece la prueba de normalidad para la concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda donde se evidencia que p= 0 < 0.05. Se determina que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por tanto los datos no tienen una distribución normal y se aplicará estadística no paramétrica para la determinación de la correlación entre estaciones.

Tabla 22 *Prueba de Kolmogórov-Smirnov concentración $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*

Prueba de normaliad de Kolmogorov -Smirnov	Estadistico	gl	p
Concentración Pm 2,5 Aduanilla de Paiba	0,069	3603	0
Concentración Pm 2,5 El Jazmin	0,054	3603	0

En la segunda comparación para las concentraciones de $PM_{2.5}$ del grupo B se puede observar que la estación Aduanilla de Paiba y El Jazmín presentan una tendencia leptocúrtica, ya que sus coeficientes de curtosis son positivos, también se puede observar que estas estaciones cuentan con una distribución asimétrica positiva lo que indica que los datos no cuentan con distribución normal y se ratifica la prueba de hipótesis.

Figura 47 *Histograma $PM_{2.5}$ estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*



5.3.5. Correlación

Para determinar la correlación se calculará el coeficiente de correlación de rangos de Sperman donde se plantean las siguientes hipótesis:
Hipótesis nula: no existe correlación.
Hipótesis alternativa:
si existe correlación.
El criterio de decisión se basa en:
si $\rho \neq 0$ aceptamos la hipótesis alternativa.
si $\rho = 0$ aceptamos la hipótesis nula.

5.3.5.1.Grupo A concentración PM_{10}

En la tabla N° 23 se establece la correlación existente entre las concentraciones de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Kennedy donde se evidencia $\rho \neq 0$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa estableciendo que existe una correlación muy alta.

Tabla 23 *Correlación de concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Kennedy*

Correlación de Spearman de Concentración Pm10 Estación Bosa Porvenir y Kennedy			
	ρ	p	N
Concentración Pm10 Bosa Porvenir - Concentración Pm10 Kennedy	0,864	0	839

En la tabla N° 21 se establece la correlación existente entre las concentraciones de PM_{10} en las estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar donde se evidencia $\rho \neq 0$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa estableciendo que existe una correlación moderada.

Tabla 24 *Correlación de concentración PM_{10} estaciones Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar*

Correlación de Spearman de Concentración Pm10 Estación Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar			
	ρ	p	N
Concentración Pm10 Bosa Porvenir - Concentración Pm10 Ciudad Boliva	0,675	0	2688

5.3.5.2.Grupo B concentración PM_{10}

En la tabla N° 25 se establece la correlación existente entre las concentraciones de PM_{10} en las estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda donde se evidencia $\rho \neq 0$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa estableciendo que existe una correlación muy alta.

Tabla 25 *Correlación de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*

Correlación de Spearman de Concentración Pm10 Estación Aduanilla de Paiba y Puente			
	ρ	p	N
Concentración Pm10 Aduanilla de Paiba Concentración Pm10 Puente Aranda	0,824	0	2016

Tabla N° Correlación de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda

En la tabla N° 26 se establece la correlación existente entre las concentraciones de PM_{10} en las estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín donde se evidencia $\rho \neq 0$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa estableciendo que existe una correlación muy alta.

Tabla 26 *Correlación de concentración PM10 estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*

Correlación de Spearman de Concentración Pm10 Estación Aduanilla de Paiba y El Jazmín			
	ρ	p	N
Concentración Pm10 Aduanilla de Paiba Concentración Pm10 El Jazmin	0,885	0	3603

5.3.5.3.Grupo B concentración $PM_{2.5}$

En la tabla N° 27 se establece la correlación existente entre las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda donde se evidencia $\rho \neq 0$ por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa estableciendo que existe una correlación muy alta.

Tabla 27 *Correlación de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y Puente Aranda*

Correlación de Spearman de Concentración Pm 2,5 Estación Aduanilla de Paiba y Puente			
	ρ	p	N
Concentración Pm 2,5 Aduanilla de Paiba Concentración Pm 2,5 Puente Aranda	0,82	0	2016

En la tabla N° 28 se establece la correlación existente entre las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín donde se evidencia $\rho \neq 0$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa estableciendo que existe una correlación muy alta.

Tabla 28 *Correlación de concentración PM_{10} estaciones Aduanilla de Paiba y El Jazmín*

Correlación de Spearman de Concentración Pm 2,5 Aduanilla de Paiba y El Jazmín			
	ρ	p	N
Concentración Pm 2,5 Aduanilla de Paiba Concentración Pm 2,5 El Jazmin	0,898	0	3603

En la tabla N ° 29 se identifica que para el grupo A de comparación la estación Bosa Porvenir tiene un mayor porcentaje de correlación con la estación de Kennedy lo cual se relaciona a la distancia que existe entre estas ya que la zona de ubicación comparte similitudes en las fuentes de emisión, condiciones de entorno y en condiciones meteorológicas. Si se tiene en cuenta que la tendencia de los vientos está dada en dirección occidente de la ciudad, se puede inferir que la baja correlación entre la estación de Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar está ligada a este fenómeno ya que las partículas de PM10 presentes en las cercanías de la estación Ciudad Bolívar son trasladadas por las corrientes de viento en dirección a las localidades de Bosa Y Kennedy, de tal manera se espera que las concentraciones de las estaciones ubicadas en estas dos localidades sean superiores a las registradas por la estación de Ciudad Bolívar.

Para el grupo B el porcentaje de correlación es alto para las dos estaciones que se comparan con la estación de Aduanilla de Paiba, esto se debe a la cercanía que existe entre las tres estaciones de estudio además de las condiciones de entorno compartidas ya que presentan similitudes en las características de las fuentes de emisión y en las dinámicas económica y sociales. No obstante, se puede identificar que la estación con mayor correlación es la estación de El jazmín la cual se recomienda utilizar como control en estudios futuros, de la misma forma se puede determinar que las concentraciones tanto de PM10 como PM2.5 son mayores en la estación Aduanilla de Paiba ya que la estación está expuesta al material particulado generado por la circulación de vehículos de dos principales vías de la ciudad de Bogotá.

Tabla 29 *Resumen de correlación para las estaciones de estudio.*

Correlación grupo A PM_{10}	
Estación Bosa Porvenir y Estación Kennedy	86%
Estación Bosa Porvenir y Estación Ciudad Bolívar	67%
Correlación grupo B PM_{10}	
Estación Aduanilla de Paiba y Estación Puente Aranda	82%
Estación Aduanilla de Paiba y Estación El Jazmín	88%
Correlación grupo B $PM_{2.5}$	
Estación Aduanilla de Paiba y Estación Puente Aranda	82%
Estación Aduanilla de Paiba y Estación El Jazmín	89%

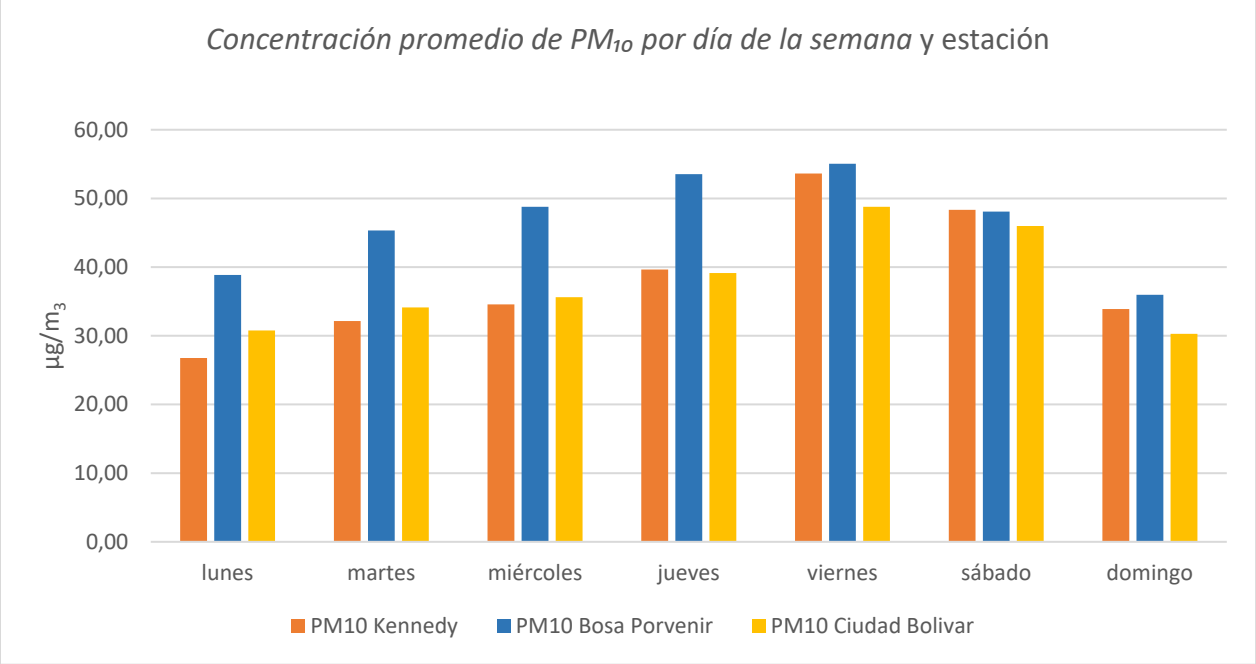
5.3.6. Análisis de concentración días de la semana

5.3.6.1. Análisis de PM_{10} Grupo A

Se realiza una comparación de las concentraciones promedio que se presentan en cada una de las estaciones del grupo A, evidenciando que los viernes y sábados se presenta una mayor carga de material particulado PM_{10} en la zona de estudio, determinando así un patrón de comportamiento entre estaciones.

Además de esto puede identificar que la estación Bosa Porvenir presenta picos más altos con respecto a los registrados por las otras dos estaciones.

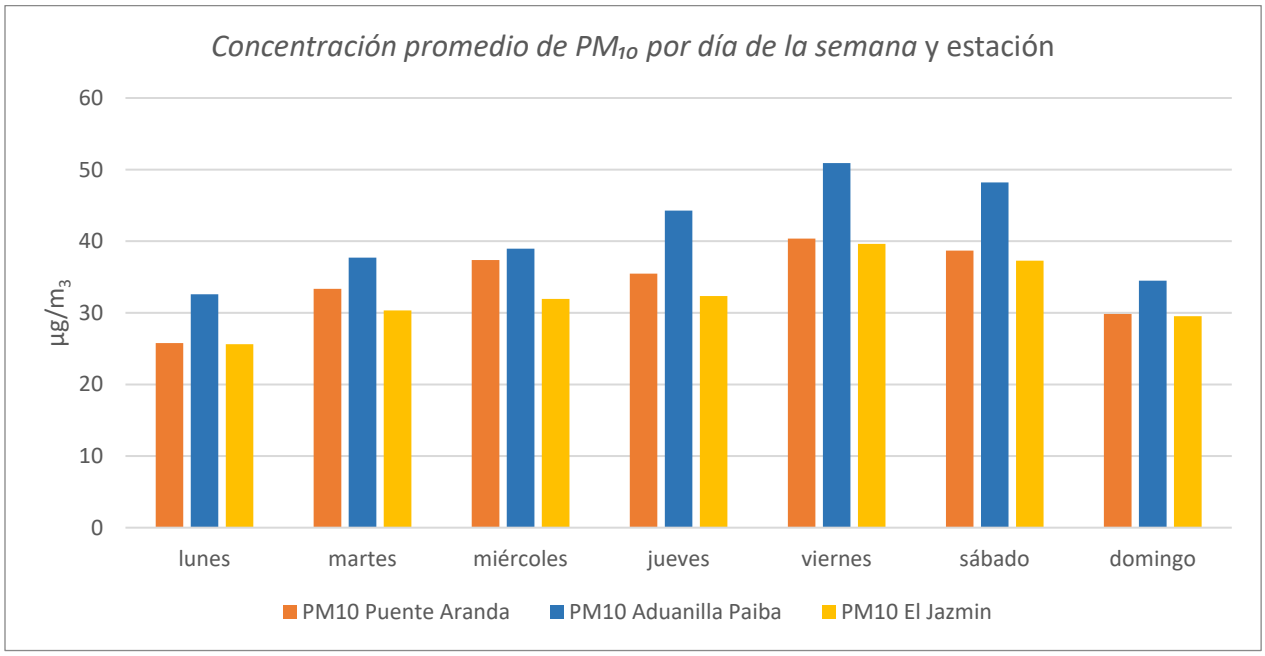
Figura 48 *Concentración promedio de PM_{10} por día de la semana para estaciones del grupo A*



5.3.6.2.Análisis de PM_{10} Grupo B

Se puede observar como para el grupo B también se presenta el mismo patrón donde los viernes y sábado hay mayor carga de material particulado PM_{10}, no obstante, la diferencia no es tan pronunciada con respecto a el miércoles y jueves, además de esto puede identificar que la estación Aduanilla de Paiba presenta picos más altos con respecto a los registrados por las otras dos estaciones, para lo cual se debe tener presente que la estación está ubicada cerca de dos vías principales de alto tráfico como la Avenida Carrera 30 y Avenida Calle 13 y en una zona industrial de la ciudad de Bogotá.

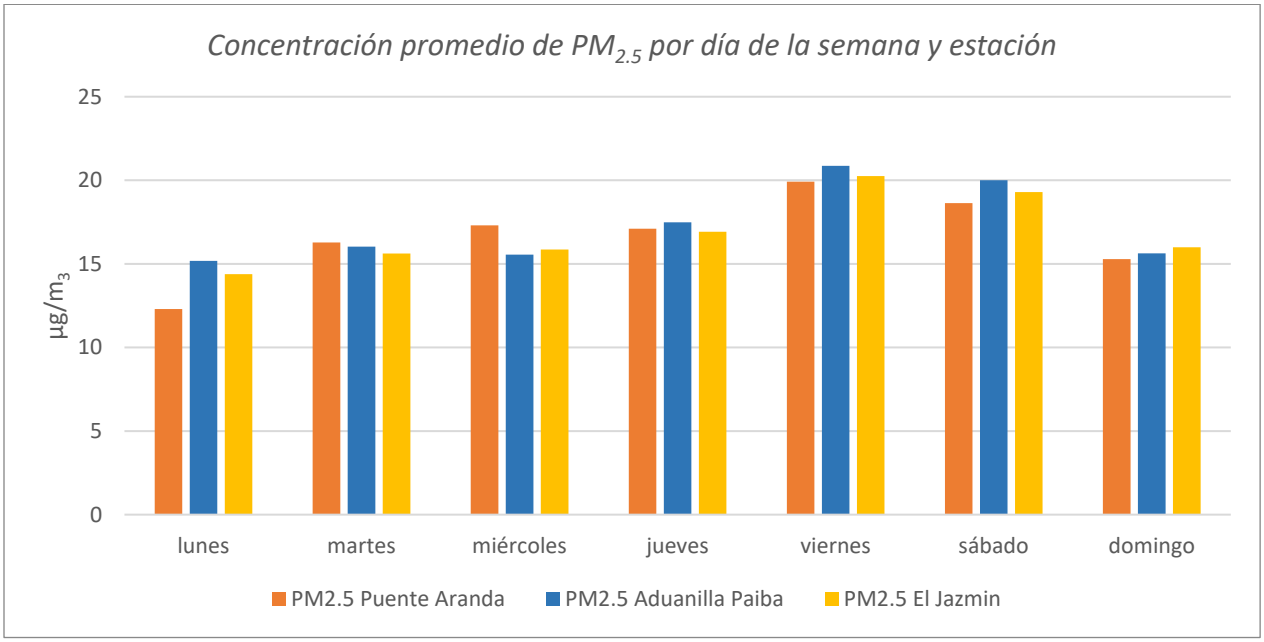
Figura 49 *Concentración promedio de PM_{10} por día de la semana para estaciones del grupo B*



5.3.6.3.Análisis de $PM_{2.5}$ Grupo B

Para las mediciones de $PM_{2.5}$ del grupo B se puede evidenciar un comportamiento similar entre las tres estaciones y sin diferencia significativas; los días con mayor carga contaminante de material particulado $PM_{2.5}$ son los viernes y sábados.

Figura 50 *Concentración promedio de $PM_{2.5}$ por día de la semana para estaciones del grupo B*

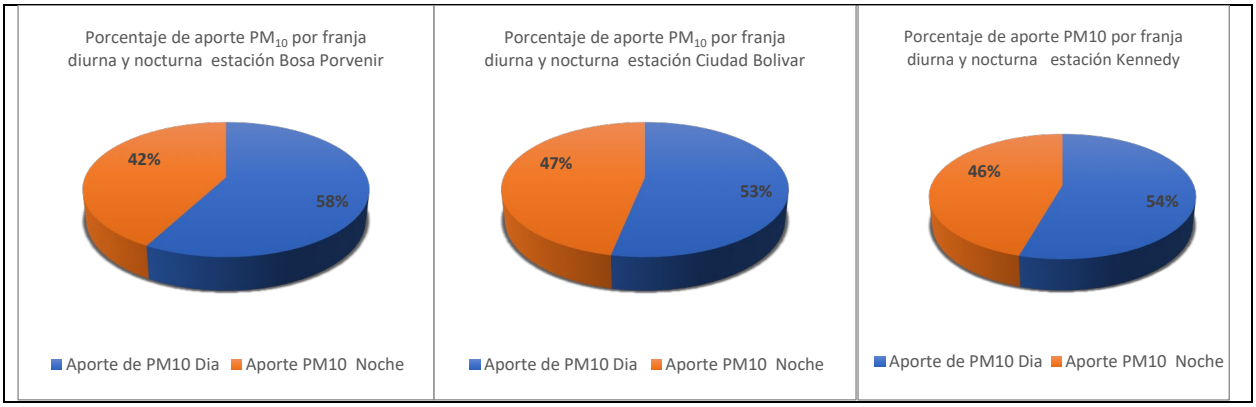


5.3.7. Análisis de concentración franja diurna y nocturna

5.3.7.1. Análisis de PM_{10} Grupo A

Se determina el aporte realizado por las distintas estaciones de medición del grupo A en la franja diurna y nocturna, donde se observa que la estación de Bosa Porvenir presenta un 58 % de su carga de PM_{10} en el día que comprende de las 06 hasta las 18 h, siendo la estación con mayor aporte en esta franja, seguida de la estación de Kennedy, donde la franja diurna aporta el 54 % de material particulado PM_{10} del día y en la estación Ciudad Bolívar alcanza 53%, por lo tanto se puede determinar que las dinámicas antrópicas que se desarrollan en la franja diurna representan una mayor fuente de contaminación.

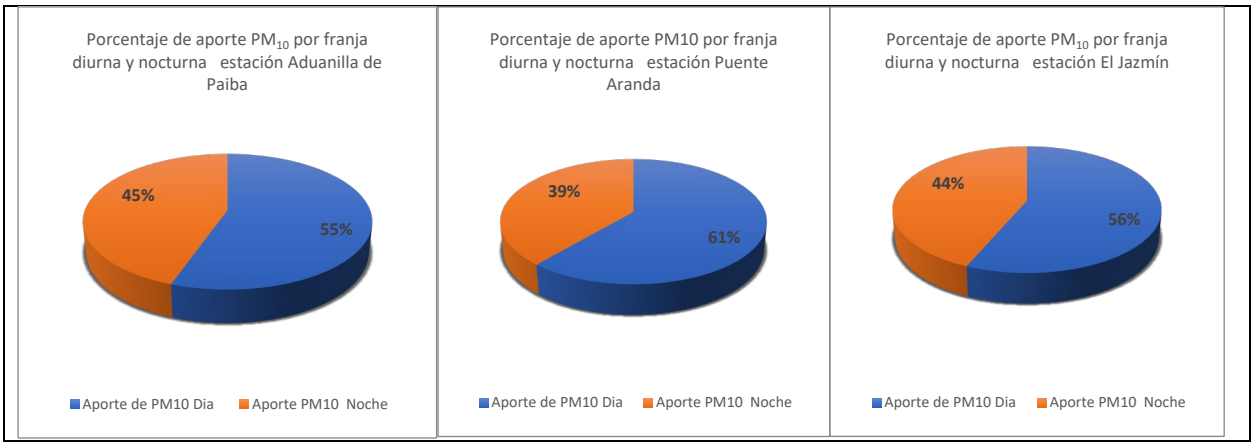
Figura 51 *Porcentaje de aporte de PM_{10} por franja diurna y nocturna estación Bosa Porvenir, Kennedy y Ciudad Bolívar*



5.3.7.2.Análisis de PM_{10} Grupo B

El porcentaje de aporte para el grupo B está distribuido con la estación de Puente Aranda, teniendo una mayor concentración de PM_{10} en la franja diurna con 61% de aporte de material particulado seguido de la estación El Jazmín con un aporte de 56 % y 5% en la estación Aduanilla de Paiba

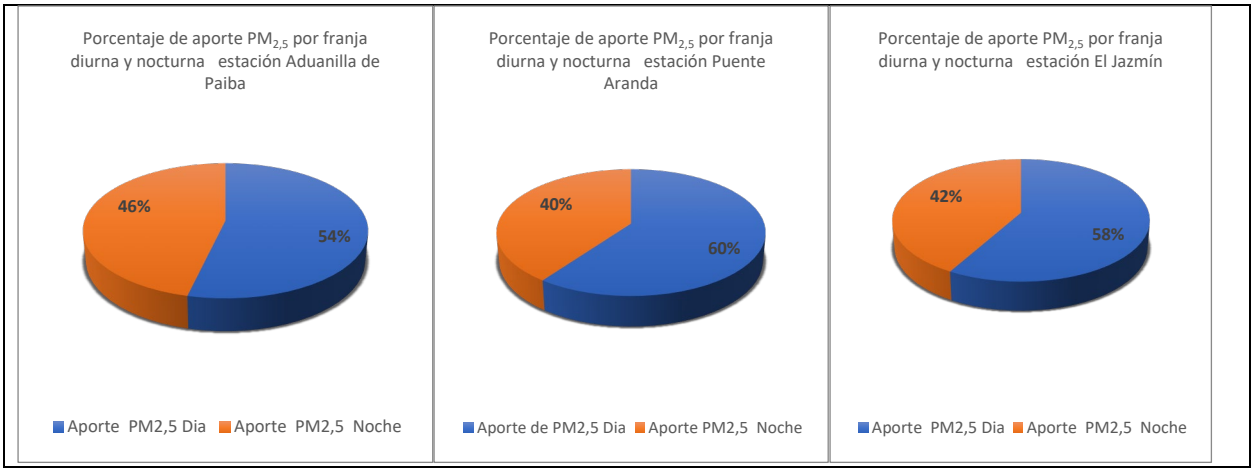
Figura 52 *Porcentaje de aporte de PM_{10} por franja diurna y nocturna estación Aduanilla de Paiba, Puente Aranda y El Jazmín.*



5.3.7.3.Análisis de $PM_{2.5}$ Grupo B

Para el porcentaje de aporte de $PM_{2.5}$ para el grupo B se observa que se mantiene el mismo patrón de PM_{10} estableciendo a la estación de Puente Aranda como la que presenta mayor cantidad de material particulado inferior a 2.5 μm en la franja diurna, con un porcentaje de aporte de 60%, seguida de la estación El jazmín con 58% y un porcentaje de aporte de 54 % para la estación de Aduanilla de Paiba.

Figura 53 *Porcentaje de aporte de $PM_{2.5}$ por franja diurna y nocturna estación Aduanilla de Paiba, Puente Aranda y El Jazmín.*



5.3.8. Análisis de concentración por franja horaria

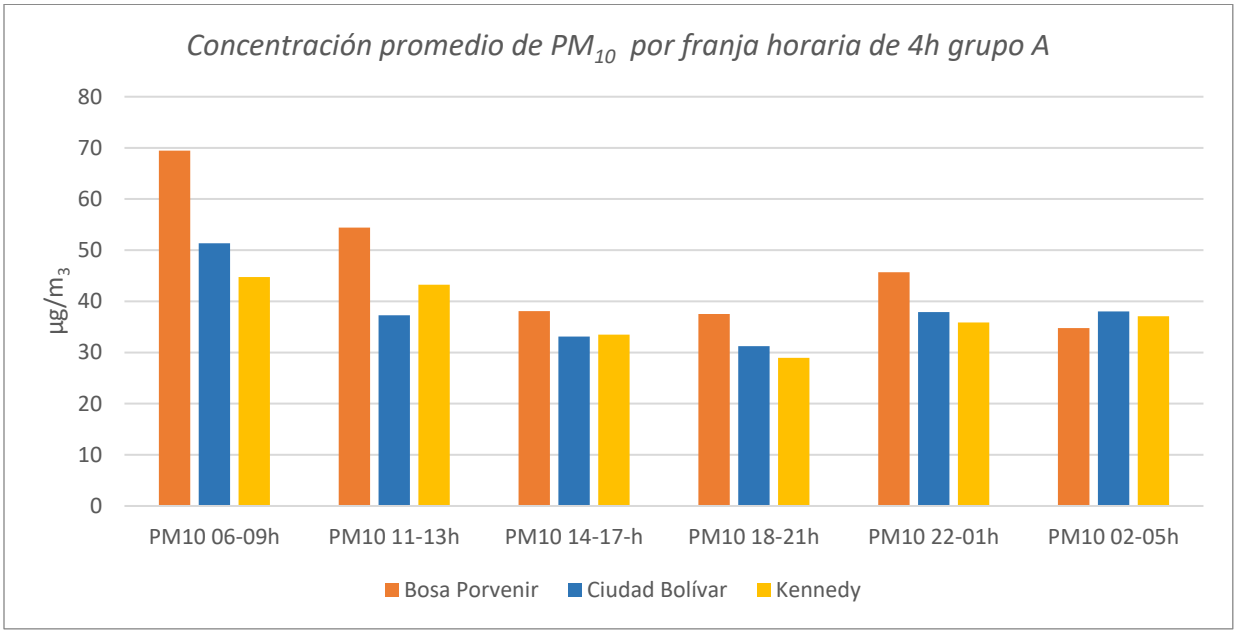
Para determinar mejor el comportamiento de las zonas de estudio se realiza un análisis por franja horaria de 4 horas con el fin de establecer en qué momento del día se presenta una mayor concentración de PM_{10} Y $PM_{2.5}$.

5.3.8.1. Análisis de PM_{10} Grupo A

En la figura N° 54 se puede observar como la franja comprendida entre las 06 y las 09 h presenta una mayor concentración de PM_{10}, la cual aporta el 22% de las emisiones totales del día. Dicho aumento se puede relacionar con los factores humanos que se presentan en la ciudad debido a que esta franja corresponde a la de mayor tránsito vehicular, se hace también visible como la concertación promedio es más alta en la estación de Bosa Porvenir, ya que supera a las otras estaciones por más de 15 μm de material particulado; esta elevación de contaminantes se mantiene hasta la franja comprendida de 11 a 13h.

Se establece que las mayores concentraciones se presentan en tres momentos del día: de las 06 a 09 h; seguido de las 11 a 13 h representando el 18% de aporte del día; y por último de las 22- a 01 h representado el 16 % de las contribuciones totales del día.

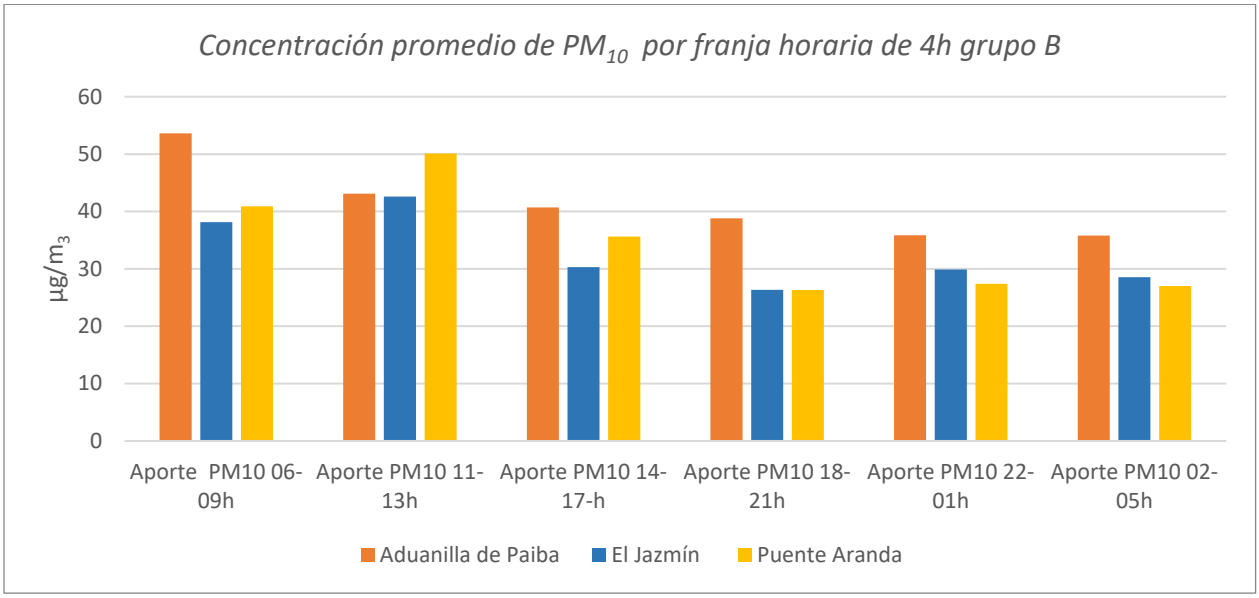
Figura 54 *Concentración promedio de PM_{10} por franja de 4h Grupo A*



5.3.8.2.Análisis de PM_{10} Grupo B

En la figura N° 55 se puede observar como la franja comprendida entre las 11 y las 13 h presenta una mayor concentración de PM_{10}, no obstante, se evidencia que en la franja de 06 a 11 h mantiene un comportamiento similar a la anteriormente mencionada exceptuando la estación Aduanilla de Paiba, la cual manifiesta un aumento de más de 10 μm de material particulado con relación a las otras dos estaciones, si tenemos en cuenta la localización de esta estación se puede relacionar este aumento a la cercanía con las Avenida Carrera 30 y la Avenida Calle 13, las cuales son vías de alto tráfico y este aumento se presenta en el horario con mayor flujo vehicular en la ciudad de Bogotá. Se evidencia que las mayores concentraciones cambian de patrón con respecto al grupo A indicando que las dinámicas son diferentes en esta zona, de tal manera para el grupo B las mayores concentraciones se presentan en tres momentos del día: de las 11 a 13 h representado el 21% de la concentración total de material particulado PM_{10} del día; seguido de las 06 a 09 h representando el 20% de aporte; y por último de las 14 a 17 h representando el 16 % de las contribuciones totales del día.

Figura 55 *Concentración promedio de PM_{10} por franja de 4h Grupo B*

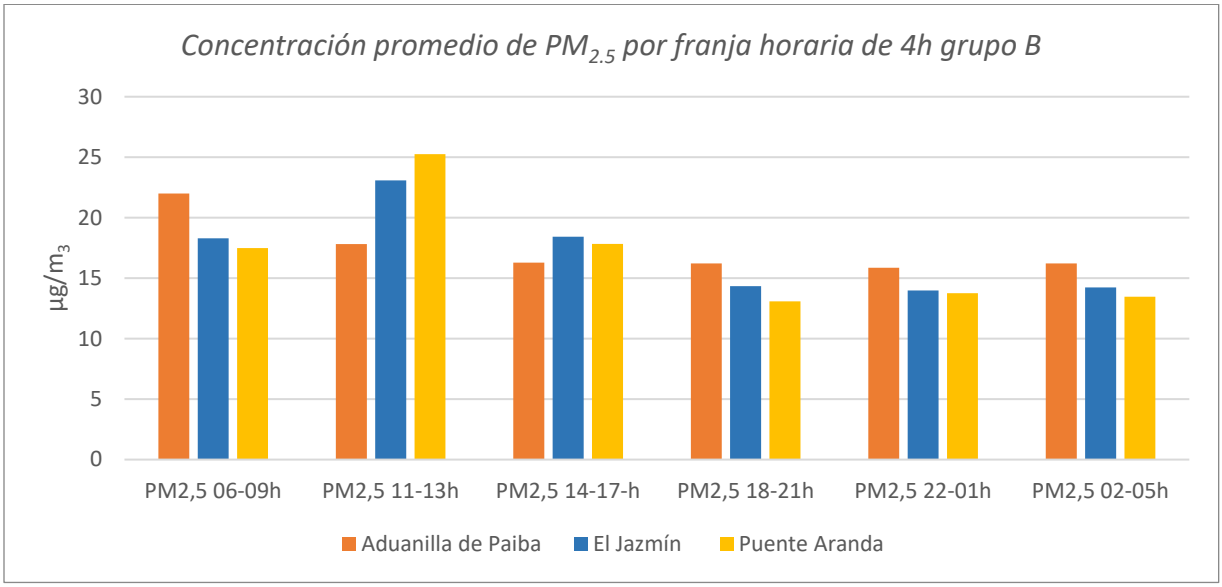


5.3.8.3.Análisis de $PM_{2.5}$ Grupo B

En la figura N° 56 se puede observar como la franja comprendida entre las 11 y las 13 h presenta una mayor concentración de $PM_{2.5}$ en las dos estaciones pertenecientes al SVCA de Bogotá, este aumento nos indica que el sector donde se ubican estas dos estaciones presenta condiciones particulares que elevan las mediciones de material particulado $PM_{2.5}$ en dichas horas, esto puede generarse por la presencia de la industria y del sector comercial; según el Inventario de Emisiones de la Ciudad de Bogotá el transporte de carga representa el mayor generador de PM_{10} y $PM_{2.5}$, con una participación del 42%. A esta categoría le siguen los camperos y camionetas con una participación del 21% y los automóviles con 15% (Ambiente, 2020) .

Por otra parte, se evidencia que las mayores concentraciones siguen el mismo patrón con respecto al comportamiento presentado por las mediciones de PM_{10} del grupo B distribuidos en tres momentos del día: de las 11 a 13 h representado el 21% de la concentración total de material particulado $PM_{2.5}$ del día; seguido de las 06 a 09 h representando el 19% de aporte; y por último de las 14 a 17 h representando el 17% de las contribuciones totales del día.

Figura 56 *Concentración promedio de $PM_{2.5}$ por franja de 4h Grupo B*



6. CONCLUSIONES

Se determina que la estación con mayor correlación para realizar controles futuros a las mediciones de PM_{10} registradas por la estación de Bosa Porvenir es la estación Kennedy, ya que presenta un 86% de similitud con los datos medidos, evidenciando condiciones meteorológicas y fuentes de emisión similares en comportamiento.

También se observa la existencia de correlación entre las mediciones de PM_{10} de la estación Bosa Porvenir y Ciudad Bolívar, alcanzando un 67% considerada como una similitud moderada, esto debido a la distancia existente entre las estaciones pues cambian las condiciones de medición, manifestando diferencias meteorológicas que impiden la precipitación de los contaminantes en estación de Ciudad Bolívar y favorece la dispersión la zona occidental de la ciudad donde se sitúan las estaciones de Bosa Porvenir y Kennedy Sin embargo, se establece que existe un patrón de comportamiento similar pues presentan aumentos y descensos de concentración semejantes, en las tres estaciones de estudio probando que las mediciones del SVCA de la Universidad Francisco José de Caldas cumplen los estándares de calidad y sus mediciones son acertadas.

Por otra parte se establece que solo el 11% de las mediciones realizadas por la estación Bosa Porvenir están por encima del límite permitido por la norma nacional (un 4 % para la estación Ciudad Bolívar y 2% para la estación Kennedy) lo que determina una calidad de aire aceptable en los estándares vigentes, además de esto los días viernes y sábado son los que presentan una mayor concentración de material particulado PM_{10}; la franja de las 06 a 09 horas es la que presenta un mayor aporte en el día para estas zonas de medición.

Se evidencia que la estación con mayor correlación para realizar controles futuros a las mediciones realizadas por la estación de Aduanilla de Paiba es la estación El Jazmín, presentando un 88% de

correlación en los datos de concentración de PM_{10} y un 89% con los datos de $PM_{2.5}$, el cual muestra un alto grado de paralelismo entre los datos recogidos, también se determina que la estación Puente Aranda sirve para realizar controles, ya que los datos cuentan con un alto grado de relación mostrando un 82 % para material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, donde la tendencia para las dos estaciones del SVCA de Bogotá es presenta una menor concentración que las registradas por la estación Aduanilla de Paiba.

Por otra parte, se establece el cumplimento de la norma vigente para Colombia en las mediciones realizadas por estas tres estaciones, ya que el porcentaje de datos que superan el límite permitido oscila entorno a un 5%. No obstante, se debe tener en cuenta que los objetivos planteados para 2030 en temas de calidad de aire para Bogotá pretende reducir las emisiones, por tal motivo, es necesario reevaluar el cumplimento de estas estaciones con los futuros estándares. Además de esto, se determinó el mismo patrón que el grupo A donde los días viernes y sábado presentaron una mayor concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, donde la franja de las 11 a 13 horas representó un mayor aporte en el día estableciendo características propias del sector.

7. RECOMENDACIONES

Se establece que el número de datos recolectados para la comparación de la estación Bosa Porvenir y Kennedy fueron significativamente inferiores a las demás comparaciones debido a que se presentaron fallos en los equipos de los dos SVCA en el periodo de estudio. De tal manera se recomienda realizar un nuevo estudio de correlación donde se cuente con un volumen de datos que garantice la máxima calidad posible y así establecer una correlación más confiable entre estas dos estaciones. Adicionalmente se recomienda realizar este mismo estudio comparando la estación Bosa Provenir y Bosa ya que al momento de realizar este trabajo esta última no se encontraba habilitada.

8. GLOSARIO CONCEPTOS ESTADÍSTICOS

8.1.1. Análisis de correlación.

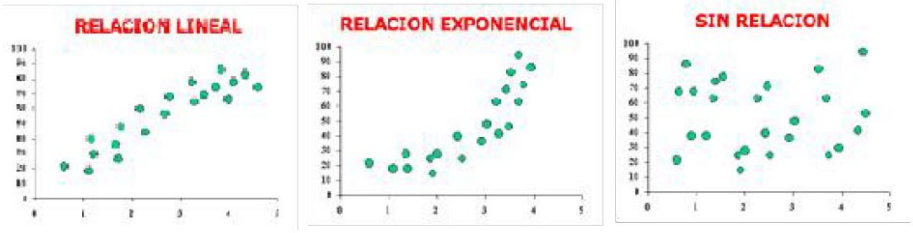
Es el estudio que se realiza para medir la intensidad o grado de la asociación que existe entre variables numéricas ((INEI), 2006)

8.1.2. Asimetría

Es la falta de simetría entre los datos de una distribución. El concepto de asimetría se refiere a si la curva que forman los valores de la serie presenta la misma forma a la izquierda y derecha de un valor central (media aritmética). ((INEI), 2006)

8.1.3. Coeficiente de correlación.

Este coeficiente se aplica cuando la relación que puede existir entre las variables es lineal (es decir, si representáramos en un gráfico los pares de valores de las dos variables, la nube de puntos se aproximaría a una recta).



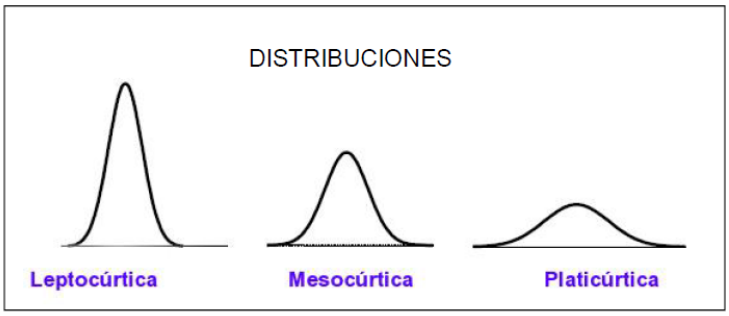
Los valores que puede tomar el coeficiente de correlación "r" son: $-1 < r < 1$
Si "r" > 0 La correlación lineal es positiva (si sube el valor de una variable sube el de la otra). La correlación es tanto más fuerte cuanto más se aproxime a 1.
Si "r" < 0 La correlación lineal es negativa (si sube el valor de una variable disminuye el de la otra). La correlación negativa es tanto más fuerte cuanto más se aproxime a -1.
Si "r" = 0 No existe correlación lineal entre las variables, aunque podría
existir otro tipo de correlación (parabólica, exponencial, etc.)
((INEI), 2006).

8.1.4. Curtosis.

Es una medida de forma. También se conoce como medida de apuntamiento mide si los valores de la distribución están más o menos concentrados alrededor de los valores medios de la muestra. Se definen 3 tipos de distribuciones según su grado de curtosis: Distribución mesocúrtica, distribución leptocúrtica y distribución platicúrtica.

Los resultados pueden ser los siguientes:

$\gamma_2 > 0$ (distribución leptocúrtica).
$\gamma_2 = 0$ (distribución mesocúrtica).
$\gamma_2 < 0$ (distribución platicúrtica).



((INEI), 2006).

8.1.5. Coeficiente de determinación

Es un valor que se obtiene elevando al cuadrado el coeficiente de correlación. Se representa simbólicamente por r^2 y puede tomar valores entre 0 y 1.
El coeficiente de determinación mide a proximidad del ajuste de la ecuación de regresión de la muestra a los valores observados de la variable dependiente.

8.1.6. Dato cuantitativo.

Es aquel dato numérico que representa aspectos de una muestra o una población que es medible o que se puede contar.

9. BIBLIOGRAFÍA

(INEI), I. e. (2006). *Glosario básico de términos estadísticos.* Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
(MADS), M., & (IDAM), I. e. (2021). Informe del estado de calidad de aire en Colombia 2021. *Informe del estado de calidad de aire en Colombia*, 122.
(MADS)Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Resolución 2254 de 2017. 11.
(MADST), M. D. (2010). Resolución 610 de 2010.
(SDA) Secretaria distrital de ambiente . (2021). Plan estratégico para la gestión Integral de la calidad del aire de Bogotá 2030. *Plan estratégico para la gestión Integral de la calidad del aire*, 169.
(SDA) Secretaría Distrital de Ambiente. (2020). Informe anual de calidad del aire de 2020. *INFORME ANUAL 2020*, 163.
ACC, U. A. (2018). *TÉRMINOS DE REFERENCIA EN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL AEROPUERTO INTERNACIONAL ELDORADO DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.*
Ambiente, (. S. (2020). *Inventario de emisiones de Bogotá, contaminantes atmosféricos 2020.* Bogota.
DKV, S. (2010). *contaminación atmosférica y salud.*
EPA, A. (2023). *Conceptos básicos sobre el material particulado.*
Fetiva, W. J., & Bustos Fetiva, W. J. (2005). Representatividad espacial y análisis de correlación de las. *Representatividad espacial y análisis de correlación de las estaciones pertenecientes a la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá ubicadas en los sectores nor-occidental y centrooccidental de la ciudad de Bogotá*, 143.
IDEAM , I. M. (2016). *CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.*
IDEAM, I. d. (2021). CALIDAD DEL AIRE. *BOLETIN CALIDAD DEL AIRE*, 1.
IDEAM, I. M. (2010). *Informe de estado calidad e aire 2007 - 2010.*
MADS, M. (2019). *Estrategia Nacional de Calidad del Aire.*
MAVD, I. D. (2010). MANUAL DE OPERACION DE SISTEMAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE. *PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE*, 142.
MAVDT, M. D. (2010). MANUAL DE DISEÑO DE SISTEMAS DE. *PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE*, 135.
Minsalud, M. (2021). Minsalud comprometido con la calidad del aire. *Boletín de Prensa No 872 de 2021*.
OMS, O. (2021). *Type of pollutants.*
OMS, O. (2021). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. *Geneva: World Health Organization*, 300.
OMS, O. M. (2022). Ambient (outdoor) air pollution.
OMS, O. m. (22 de Septiembre de 2022). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. Obtenido de Organización mundial de la salud: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health
Perna Vanegas, L. M., & Rodríguez Betancourt, D. K. (2021). VARIACIÓN Y CORRELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PM_{10} EN UN ESTUDIO DE CALIDAD DEL AIRE CON DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN. 66.

ROA MARTINEZ, M. A., & ROA MARTINEZ, M. R. (2019). VERIFICACIÓN DE LA ALTURA PARA LA MEDICIÓN DE PM10 Y PM2.5 EN CALIDAD DEL AIRE COMO PARTE DEL CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE -SVCA. 93.

SDA, S. (2020). *Inventario de emisiones de Bogotá, contaminantes atmosféricos 2020.*

SDA, S. (2023). Conozca el Índice Bogotano de calidad del Aire, IBOCA. *Indice Bogotano de calidad del Aire*, 5.

SDA, S. d. (2021). Informe anual de calidad del aire de Bogotá 2021. *Informe anual de calidad del aire de Bogotá*, 174.

Social, M. d. (2021). Minsalud comprometido con la calidad del aire. *Boletín de Prensa No 872 de 2021*, 1.

ventusky. (09 de 14 de 2023). *ventusky*. Obtenido de https://www.ventusky.com/about