



**DISEÑO DE UNA MICRORED DE VIGILANCIA PARA EL CONTAMINANTE
MATERIAL PARTICULADO (PM2.5 y PM10) EMITIDO EN LA LOCALIDAD DE
PUENTE ARANDA, BOGOTÁ.**

Juan Diego Gracia Rojas
Andrés Felipe Mosquera Medina

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 2019

**DISEÑO DE UNA MICRORED DE VIGILANCIA PARA EL
CONTAMINANTE MATERIAL PARTICULADO (PM_{2.5} y PM₁₀)
EMITIDO EN LA LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA, BOGOTÁ.**

Juan Diego Gracia Rojas
Andrés Felipe Mosquera Medina

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director:
Camilo José González Martínez

Línea de Investigación:
Salud y Ambiente

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
Año 2019



UNIVERSIDAD
EL BOSQUE

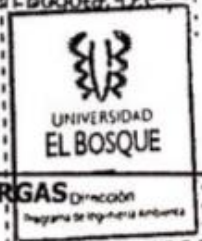
Vigilada Mineducación

SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA No: 1099

El día **29 OCT 2019**, en las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **DISEÑO DE UNA MICRO RED DE VIGILANCIA PARA EL CONTAMINANTE. MATERIAL PARTICULADO (PM10 Y PM2.5) EMITIDO EN LA LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA BOGOTÁ**, escrito por **JUAN DIEGO GRACIA ROJAS, C.C. 1075684459** y **ANDRÉS FELIPE MOSQUERA MEDINA, C.C. 1020830712**, bajo la dirección de **CAMILO JOSÉ GONZÁLEZ MARTÍNEZ, C.C. 80547909**, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por el jurado **GONZALO FORERO BUITRAGO, C.C. 1020721882**, quien deliberó y concluyó que cumple con los criterios de calidad, por lo que se determina que el trabajo es **Aprobado**.

En constancia, se firma en Bogotá, D.C.



KENNETH OCHOA VARGAS
Dirección
Programa de Ingeniería Ambiental



GERMÁN AGUDELO ASCENCIO
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Tabla de contenido

<i>Introducción</i>	9
<i>Planteamiento del Problema</i>	10
<i>Objetivos</i>	11
General:	11
Específicos:	11
<i>Justificación</i>	11
<i>Marco de referencia</i>	12
Marco de antecedentes	12
Marco teórico	14
Marco geográfico	15
Marco institucional.....	17
Marco legal y normativo	18
<i>Metodología</i>	20
Plan de trabajo.....	22
Cuadro metodológico	22
<i>Resultados y Análisis</i>	24
Diagnóstico	31
Geografía y clima.....	31
Estructura y tendencias del crecimiento demográfico.....	36
Otra información de importancia	40
Aspectos económicos y financieros de la autoridad ambiental	42
Inventario de emisiones.....	42
Estudio Micro meteorológico y/o Meteorológico Preliminar	47
Campaña de monitoreo preliminar	49
Definición de SVCA	50
Selección de técnicas de medición	51
Presupuesto total del proyecto.....	58
<i>Conclusiones</i>	59
<i>Recomendaciones</i>	59
<i>Referencias Bibliográficas</i>	60
<i>Anexos</i>	64

Listado de Figuras

Figura 1. Concentración de Material Particulado (PM10) anual (1998-2005) registrada por la Red de Calidad del Aire de Bogotá	13
Figura 2. Proyección de emisiones de fuentes móviles 2008-2020..	13
Figura 3. Proyección de emisiones de fuentes fijas 2008-2020.	14
Figura 4. Mapa de la delimitación de la localidad de Puente Aranda.....	16
Figura 5. Diagrama de flujo del plan de trabajo.	22
Figura 6. Concentración PM10 emitido en la estación de monitoreo de Puente Aranda para los años (2015-2019).....	24
Figura 7. Concentración PM2.5 emitido en la estación de monitoreo de Puente Aranda para los años (2016-2019).....	25
Figura 8. Concentración diaria de material particulado PM10 años (2015-2019), Estación Puente Aranda Bogotá	28
Figura 9. Promedio de precipitación en (mm) para los años (2015-2018), Estación Puente Aranda	28
Figura 10. Promedio de temperatura para los años (2015-2018), Estación Puente Aranda..	29
Figura 11. Dispersión del contaminante PM10 por la dirección y velocidad del viento..	30
Figura 12. Dispersión del contaminante PM2.5 por la dirección y velocidad del viento..	30
Figura 13. Dirección del viento (vectores) y velocidad del viento (superficie de colores y vectores con valores en m/s) en Bogotá para el año 2014.....	33
Figura 14. Radiación solar promedio de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá..	34
Figura 15. Humedad relativa de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá..	34
Figura 16. Temperatura registrada por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (2014 y 1998-2013) y la Estación El Dorado.....	35
Figura 17. Uso actual del suelo de la Localidad de Puente Aranda, Bogotá	36
Figura 18. Distribución geográfica de empleos en la localidad de Puente Aranda..	38
Figura 19. Promedio anual de velocidad para corredores viales de Bogotá.	39
Figura 20. Cartografía de la Localidad de Puente Aranda, Bogotá..	40
Figura 21. Cuadro de porcentajes de la población ocupada según el medio de transporte.....	41
Figura 22. Sectores económicos de la Localidad de Puente Aranda, Bogotá.....	42
Figura 23. Cantidad de vehículos particulares en Bogotá.....	43
Figura 24. Cantidad de vehículos del servicio público en Bogotá.....	44
Figura 25. Mapa de estado actual de vías localidad de Puente Aranda.	45
Figura 26. Distribución de kilómetros lineales y carril según el tipo de vía.....	46
Figura 27. Distribución de hornos y calderas para la ciudad de Bogotá.....	46
Figura 28. Tendencia de precipitación por mes para los últimos años de la Estación Puente Aranda, Bogotá.....	48
Figura 29. Distribución espacio temporal del contaminante PM10 en la estación Puente Aranda. ..	49
Figura 30. Distribución espacio temporal del contaminante PM2.5 en la estación Puente Aranda. .	50
Figura 31. Comparación de metodologías para la vigilancia de calidad del aire.....	52
Figura 32. Infraestructura estación automática..	52

Figura 33. Mapa con la ubicación del equipo de monitoreo.	58
--	----

Listado de Tablas

Tabla 1. Identificación de las partes interesadas con el desarrollo del proyecto.	17
Tabla 2. Descripción de las diferentes normas legales que sustentan de forma legal nuestro proyecto.....	18
Tabla 3. Norma técnica para el diseño, monitoreo y seguimiento de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire	20
Tabla 4. Cuadro metodológico.....	22
Tabla 5. Acumulado de precipitación para el año 2014 de la Estación de Puente Aranda, Bogotá. ..	32
Tabla 6. Principales actividades socioeconómicas de la Localidad de Puente Aranda	36
Tabla 7. Estimación del consumo de combustible para la ciudad de Bogotá.	42
Tabla 8. Tendencia multianual de los vientos para Puente Aranda	47
Tabla 9. Velocidad y dirección del viento para Puente Aranda 2018.....	47
Tabla 10. Comportamiento mensual de los vientos para el año 2018.....	47
Tabla 11. Tendencia de precipitación por mes para los últimos 5 años de la Estación Puente Aranda, Bogotá	48
Tabla 12. Criterios para ubicar toma de muestras.....	51
Tabla 13. Costos de equipo de monitoreo de calidad del aire.....	53
Tabla 14. Índice Bogotano de calidad del aire	53
Tabla 15. Recomendaciones para la protección de la salud de acuerdo a los atributos del IBOCA.	54
Tabla 16. Recomendaciones para contribuir con la mejora de la calidad del aire dependiendo el nivel IBOCA	55
Tabla 17. Contenidos de desarrollo para la App.	57
Tabla 18. Presupuesto total del proyecto	58

Resumen

En el transcurso de los años Puente Aranda ha sido una localidad con problemática de contaminación atmosférica, específicamente con el contaminante material particulado. Según estudios encontrados en el entorno donde se desarrolla la población se genera un deterioro en la salud humana evidenciados casos de enfermedades y/o complicaciones a nivel respiratorio o cardiovascular, es decir, la salud ambiental que se presenta no es óptima para la población. Este proyecto tiene como objetivo de diseñar una micro red de vigilancia para el contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) emitido en la localidad de Puente Aranda, para el monitoreo y alarma a nivel poblacional. Se desarrolló bajo la metodología del manual de diseño de sistemas de vigilancia de calidad del aire con el fin de desarrollarlo bajo criterios legales y técnicos de la legislación colombiana. A partir de estos criterios se consolida el diseño de la microrred con una ubicación estratégica siendo un mecanismo de alerta temprana propuesto para informar a la población cuando se presentan altos niveles de concentraciones con el fin de propender a minimizar los casos de afectación a la salud humana.

Palabras clave: Alerta poblacional, Contaminación atmosférica, Salud ambiental.

Abstract

Over the years, Puente Aranda has been a locality with air pollution problems, specifically with the particulate material contaminant. According to studies found, the environment where the population develops generates a deterioration in human health evidenced in cases of diseases and complications at respiratory or cardiovascular level, that is, the environmental health that is presented is not very optimal for the population. This project aims to design a micro surveillance network for the particulate contaminant (PM_{2.5} and PM₁₀) issued in the town of Puente Aranda, for monitoring and alarm at the population level. It was carried out using the methodology proposed by the manual for the design of air quality surveillance systems in order to develop it under the legal and technical criteria of Colombian legislation. These criteria result in the design of the micro-network with a strategic location, in addition to an early warning mechanism proposed to notify the population when there are high levels of concentrations and the precautions that must be taken in the face of said alert to reduce cases of human health affectation.

Keywords: Air pollution, Environmental health, Population alert

Introducción

La organización Mundial de la Salud (2018), afirma que el material particulado de 10 y 2.5 micras es causante de alrededor de 4,2 millones de muertes en el mundo. En España el Observatorio de la Sostenibilidad (2007), asegura que el aumento de la concentración $PM_{2.5}$ aumenta la probabilidad de muerte de cualquier caso en un 4%, las enfermedades cardiovasculares en un 6% y cáncer de pulmón en un 8%.

En Colombia la contaminación del aire anualmente genera 6.000 muertes prematuras, 7.400 casos de bronquitis crónica, 13.000 hospitalizaciones y 255.000 visitas a salas de urgencias. Asimismo, este impacto representa costos debido que genera absentismo laboral (Larsen, 2004). Según Hernández et al. (2013) afirma que los infantes menores de cinco años expuestos a PM_{10} tienen 1,7 veces más riesgo de presentar enfermedades respiratorias. Está población es vulnerable debido a que sus órganos están en desarrollo y sus defensas no han alcanzado la madurez suficiente (Mosquera y García, 2007).

En Puente Aranda se realizó un estudio donde se obtuvo como resultado que los hogares ubicados cerca de las vías de alto flujo vehicular y zonas industriales presentan altos niveles de material particulado. La concentración del interior de los hogares se ve directamente relacionada por las concentraciones que se encuentran en el exterior. Asimismo, las viviendas presentan gran número de ventanas tienen una circulación de las masas del contaminante (Amarillo y Pastrana, 2005).

Vargas (2017), determinó la calidad del aire del conjunto residencial Bosque de los Comuneros localizado en la localidad de Puente Aranda, obtuvo como resultado que las concentraciones de PM_{10} no excedían los límites estipulados en la Resolución 610 de 2010, pero si se excedían con el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud ($50 \frac{\mu g}{m^3}$).

La contaminación del aire ocasiona impactos a nivel social, económico y ambiental, es importante abordar esta problemática para mejorar la calidad del aire, sin embargo, esto sucede es necesario tomar medidas de protección, prevención a la exposición por tal razón este proyecto tiene como objetivo de diseñar una micro red de vigilancia para el contaminante material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) emitido en la localidad de Puente Aranda, para el monitoreo y alarma a nivel poblacional. Ayudando a la protección de la ciudadanía y a la disminución de casos por enfermedades y/o complicaciones relacionados por material particulado.

Planteamiento del Problema

La generación de grandes volúmenes de contaminantes en el aire es el resultado del consumo excesivo de combustibles fósiles en actividades industriales, agropecuarias y en el aumento de unidades automotoras (Romero, Olite y Álvarez, 2006), esto tiene diversos impactos en la salud humana. Según Rojas (2007) la contaminación del aire es una problemática que debe abordarse desde una escala de impacto global y local, donde la escala global hace referencia a los gases efecto invernadero y la escala local hace referencia a los contaminantes criterio dentro de los cuales se encuentra el material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$). A partir del estudio de Gaitán, Cancino y Behrentz (2007) se puede afirmar que, en Bogotá, el consumo excesivo de combustibles fósiles se ve influenciado por el crecimiento económico de esta ciudad y es por esto que se presentan altos niveles de concentración de contaminantes criterio en especial de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), registrado en la Localidad de Puente Aranda.

Es por esto que Puente Aranda se encuentra en una zona crítica de contaminación del aire atribuida por altas concentraciones de material particulado, como resultado de la actividad industrial que se lleva a cabo en esta localidad, además de las emisiones de vehículos y transporte público (Gaitán, Cancino y Behrentz, 2007). De igual manera se puede evidenciar mediante los datos suministrados por la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá, que la Localidad de Puente Aranda para los años 2009 y 2010, presentó niveles de más 50 microgramos por metro cúbico (Alcaldía Local de Puente Aranda, 2012), excediendo el límite permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud para los promedios anuales (Organización Mundial de la Salud, 2005).

Según la Alcaldía Local de Puente Aranda (2012), los niveles de concentración de material particulado menores a $50\mu g/m^3$ no se consideran perjudiciales para la salud, sin embargo, se pueden presentar síntomas en el sistema respiratorio como irritación de mucosas. Por otro lado, las concentraciones de material particulado de 51 a $100\mu g/m^3$ pueden incrementar la probabilidad de síntomas respiratorios como irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general y tos.

Según la Organización Mundial de la Salud (2005), la inhalación de material particulado puede ocasionar inflamaciones en el sistema respiratorio, generando asma o bronquitis crónica. En el caso de que esta inflamación llegue a ocurrir se corre el riesgo de padecer hipercoagulabilidad transitoria. A través de los registros de la Secretaría Distrital de Salud para Bogotá (2010), se afirma que la principal causa de mortalidad infantil es la enfermedad respiratoria, la cual a partir de investigaciones científicas presenta una relación directa con el material particulado. La Organización Mundial de la Salud (2005) describe al material particulado de 2.5 micras como el más peligroso, debido a que puede llegar a las partes más pequeñas de los pulmones, obstruyendo el proceso natural de limpieza de los órganos, llevando a cabo una intervención quirúrgica.

Objetivos

General:

Diseñar una micro red de vigilancia para el contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) emitido en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, para el monitoreo y alarma a nivel poblacional.

Específicos:

1. Evaluar la influencia de los aspectos meteorológicos sobre la dispersión del contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) a partir de las bases de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente para el periodo (2015-2019).
2. Establecer el área de mayor influencia del contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) y los criterios técnicos y legales para el diseño de la microred de vigilancia.
3. Consolidar el diseño de la microred de vigilancia para el contaminante material particulado con el fin de informar a la población los niveles de contaminación a los que son expuestos

Justificación

La contaminación del aire tiene diversos impactos en la salud humana que han sido estudiados por diversos autores como la Organización Mundial de la Salud (2018), establece la generación de material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) como la causa de cerca de 4,2 millones de muertes prematuras en el mundo. Otro estudio a destacar es el del Observatorio de la Sostenibilidad de España (2007), quien afirma que el aumento de la concentración de PM_{2.5} incrementa las muertes en un 4% por cualquier caso, en un 6% por enfermedades del aparato circulatorio y en un 8% por cáncer de pulmón.

Según el reporte de Larsen (2004), se han estimado los impactos a la salud ocasionados por la contaminación del aire, esto revela que en Colombia la contaminación del aire es causa anualmente de cerca de 6000 muertes prematuras, 7400 nuevos casos de bronquitis crónica, 13 mil hospitalizaciones y 255 mil visitas a salas de urgencias. Así mismo este impacto a la salud representa costos significativos que se producen por el absentismo laboral y por la atención y prevención de enfermedades.

De igual manera un estudio de Hernández et al. (2013) logró establecer que los niños menores de cinco años expuestos a PM₁₀ tienen 1,70 veces más riesgo de presentar absentismo escolar debido a enfermedades respiratorias. Cabe destacar que esta población es la más vulnerable ya que los órganos en desarrollo son vulnerables y los mecanismos de defensa no han madurado lo suficiente (Mosquera y García, 2007).

También es cierto que la contaminación del aire tiene repercusiones en el medio ambiente, y esto ha sido objeto de estudio de varios autores como Chen, Ying y Kleeman (2009), quienes afirman que la presencia de material particulado en la atmósfera produce una disminución visual por la absorción y dispersión de la luz.

Como se indicó anteriormente la contaminación del aire ocasiona diversos impactos sociales, económicos y ambientales, es por esto que es relevante abordar esta problemática con el fin de contribuir en la mejora de la calidad de vida de los seres vivos. Este proyecto busca a partir del diseño de una microred abarcar el área de contaminación crítica que la estación de monitoreo de Puente

Aranda no logra captar y de esta manera aportar en la toma de decisiones y en la identificación y estudio de las fuentes de contaminación.

Marco de referencia

Marco de antecedentes

Aristizábal et al. (1997), realizaron un estudio de cohorte en la población infantil (126 niños) de Puente Aranda sobre enfermedades respiratorias generadas por la contaminación del aire. Como resultado se obtuvo un 94,6% de episodios o aumento de tos, un 100% en secreciones nasales, un 62,5% en episodios de ruidos bronquiales audibles a distancia, un 94,6% en diagnóstico de IRA alta y un 39,3% diagnóstico de SBO.

Amarillo y Pastrana (2005), realizaron un estudio sobre las concentraciones de contaminantes del aire al interior de los hogares de diferentes sectores de la localidad de Puente Aranda y se obtuvo como resultado que los hogares ubicados cerca a las vías de alto flujo vehicular y zonas industriales presentaron los niveles más altos de concentración de material particulado. Es decir que la concentración del interior de las viviendas se ve influenciada por la concentración del ambiente exterior, además las características de la vivienda como número de ventanas tienen influencia en la circulación de las masas del contaminante.

Gaitán, Cancino y Behrentz (2007), revisaron los registros de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y mediante el análisis de esta información determinaron que el material particulado es el contaminante registrado con los valores más altos sobrepasando el límite anual establecido por la normativa. A diferencia del material particulado los demás contaminantes que se revisaron no presentaron altos niveles de concentración y por lo tanto no representan un problema para la salud de los habitantes de la ciudad de Bogotá. A continuación en la Figura 1 se presentan los niveles de concentración de material particulado para las estaciones de monitoreo en el periodo comprendido del año 1998 hasta el año 2005, de esta manera se puede evidenciar que la estación de monitoreo de Puente Aranda registra los valores más altos de concentración de material particulado con una tendencia creciente a través de los años.

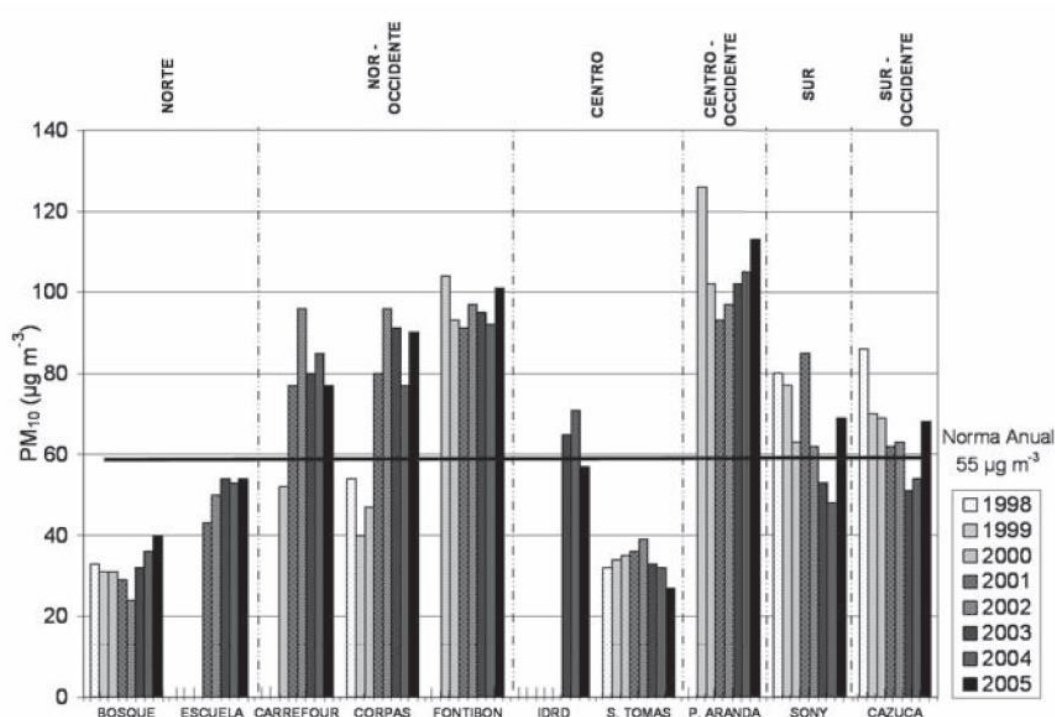


Figura 1. Concentración de Material Particulado (PM10) anual (1998-2005) registrada por la Red de Calidad del Aire de Bogotá. Gaitán, Cancino y Behrentz (2007)

Según la Secretaría distrital de ambiente (2010), con base al inventario de emisiones del año 2008 las industrias aportaron más del 40% de emisiones de PM, NO_x, THC, CO y CO₂, el restante de emisiones fue generadas por fuentes móviles. Asimismo, se obtuvo las proyecciones de emisiones para el año 2020 afirmando que el sector industrial aumentará 1.6 veces las emisiones del año base y el sector de transporte presentará un crecimiento del 80% de material particulado respecto a las emisiones del año base, esta proyección se presenta a continuación en la Figura 2 donde se describe el aumento de emisiones para fuentes móviles y en la Figura 3 donde se describe el aumento de las emisiones para fuentes fijas.

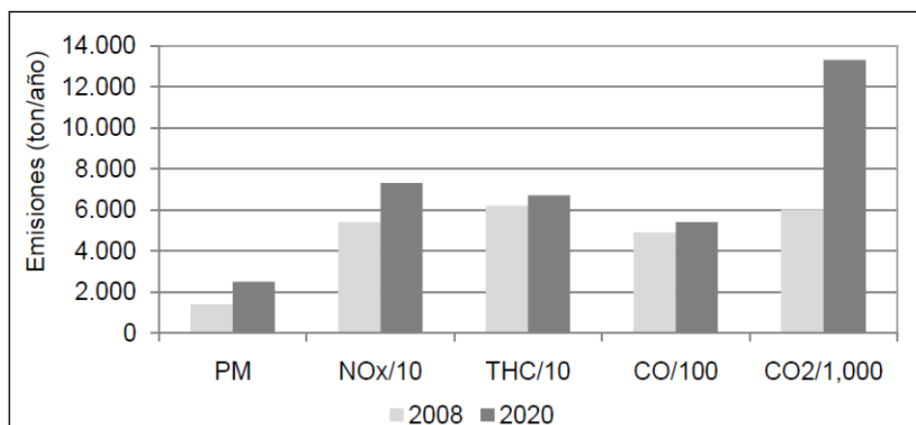


Figura 2. Proyección de emisiones de fuentes móviles 2008-2020. Secretaría Distrital de Ambiente (2010).

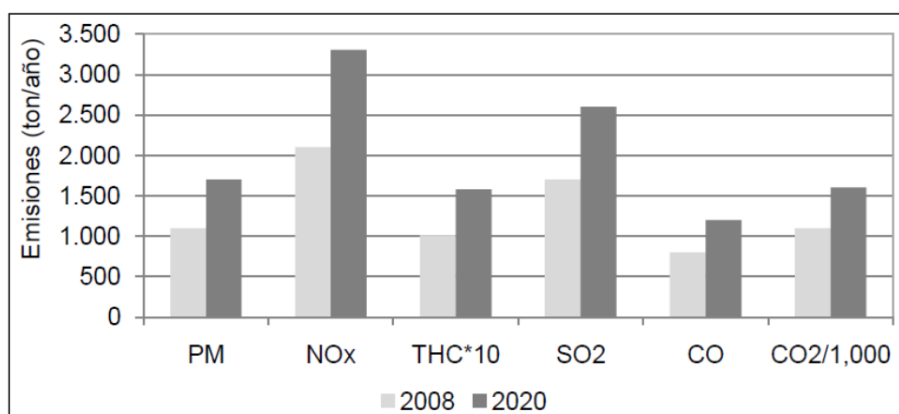


Figura 3. Proyección de emisiones de fuentes fijas 2008-2020. Secretaría Distrital de Ambiente (2010).

Un estudio realizado por Soto et al. (2014) afirma que la localidad de Puente Aranda registra valores de concentración de PM_{10} que sobrepasan los límites establecidos por la normativa. Las mediciones realizadas en este estudio establecen al PM_{10} como el contaminante con mayores excedencias con un 43,7 % y un 58,3% que superó los valores permisibles para 24 horas, además se estableció que la franja horaria de las 6 a.m. hasta las 7p.m. registró los valores más altos de concentración.

Vargas (2017), determinó la calidad del aire del conjunto residencial Bosque de los Comuneros ubicado en la localidad de Puente Aranda y obtuvo como resultado que los niveles de concentración de PM_{10} no sobrepasaron los límites permisibles según la Resolución 610 de 2010, sin embargo, sobrepasaron el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud de $50 \frac{\mu g}{m^3}$. Además, la población consideró una mala percepción de la calidad del aire ocasionada por la ubicación geográfica, el sector industrial y el Canal Los Comuneros.

Marco teórico

Yassi, Kjellström, Kok, y Guidotti (2002), definen la **contaminación del aire** como “la emisión al aire de sustancias peligrosas a una tasa que excede la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos y depositarlos o diluirlos por medio del viento y movimiento del aire (p.239). Las principales **fuentes de contaminación** pueden ser naturales (polvo), agrícolas (aplicación de productos químicos) y tecnológicas (procesos industriales y consumo de combustibles fósiles), siendo sometidos los contaminantes a diferentes tipos de comportamiento como el desplazamiento en el sentido de la dirección del viento con difusión progresiva, transformación física y química influenciada por la luz ultravioleta, y la eliminación por procesos naturales (Placeres, Olite, y Toste, 2006).

Los contaminantes del aire pueden considerarse primarios cuando se presentan tal cual fueron emitidos y secundarios cuando se forman a partir de los primarios mediante una reacción química. De acuerdo al estado físico de los contaminantes pueden ser gases como los óxidos de azufre (SO_x), el nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos y el ozono (O_3) o aerosoles conformados por partículas sólidas y líquidas (Oyazrún, 2010). El **material particulado** (MP) es una mezcla de partículas sólidas y líquidas como metales, sales, materiales carbonosos, compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas (Billet et al., 2007). Se suelen estudiar de acuerdo a su tamaño, es decir partículas de menor tamaño a 2,5 micrómetros y partículas de menor tamaño a 10 micrómetros, las cuales tienen comportamiento y concentración variado (Suárez, Álvarez, BendeZú, y Pomalaya, 2017). Los **sistemas de vigilancia de la calidad del aire** son un conjunto de instrumentos, herramientas y procesos que tienen como

objetivo cuantificar los niveles de concentración de los contaminantes del aire que se emiten en un área determinada para la toma de decisiones orientada a la prevención de enfermedades (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Según Winslow (1920) citado por Figueroa (2005, p.1), la **salud pública** se define como:

“La ciencia y el arte de prevenir las enfermedades, prolongar la vida, fomentar la salud y la eficiencia física y mental, mediante el esfuerzo organizado de la comunidad para el saneamiento del medio, el control de enfermedades transmisibles, la educación de los individuos en los principios de la higiene personal, la organización de los servicios médicos y de enfermería para el diagnóstico precoz y el tratamiento preventivo de las enfermedades, y el desarrollo de mecanismos sociales que aseguren a todas las personas un nivel de vida adecuado para la conservación de la salud”

El Departamento Nacional de Planeación (2008), define **salud ambiental** como “ el área de las ciencias que trata la interacción y los efectos que, para la salud humana, representa el medio en el que habitan las personas” (p. 2).

Marco geográfico

El presente proyecto comprende un área de estudio en la localidad de Puente Aranda, la cual limita al norte con la localidad de Teusaquillo (con la Avenida de las Américas y la Avenida Ferrocarril), al oriente limita con la localidad Los Mártires (con la Avenida Ciudad de Quito), al sur limita con las localidades Tunjuelito y Antonio Nariño (con la Avenida Sur), y al occidente con la localidad Kennedy (con la Avenida del Congreso Eucarístico). La localidad de Puente Aranda es la número 16 del Distrito Capital de Bogotá y se ubica en el sector central de Bogotá, (Castillo, 2013). En la Figura 4 se presenta la delimitación de la localidad de Puente Aranda y las UPZ que la conforman, además se establece la presencia de cuerpos de agua, parques, suelo protegido y equipamiento.

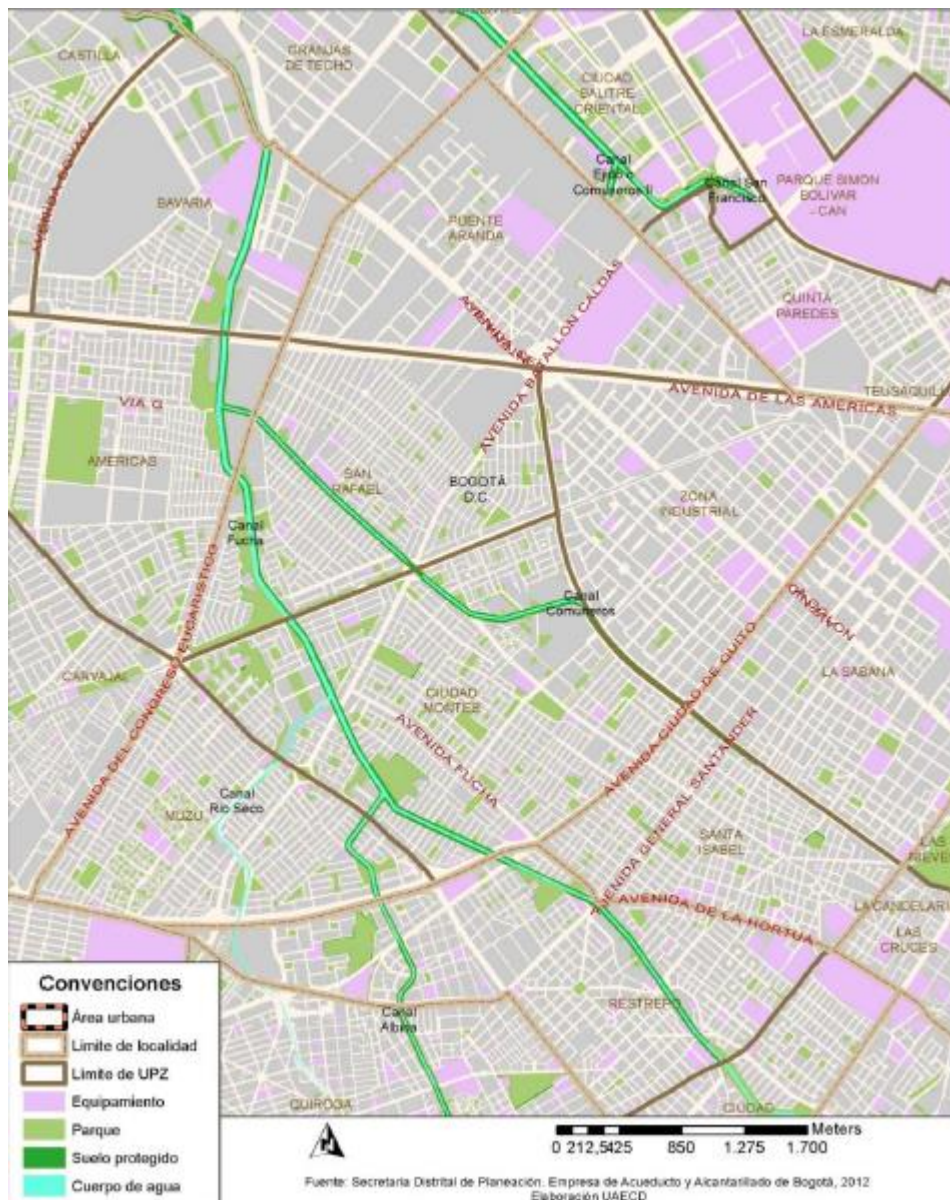


Figura 4. Mapa de la delimitación de la localidad de Puente Aranda. Adaptado de Castillo (2013).

La población de Puente Aranda tiene una proyección para el año 2019 de 215.191 habitantes, con una densidad de 126 habitantes por hectárea. Posee una totalidad de 1731 hectáreas de suelo urbano, dentro de las cuales 38 hectáreas son suelos de protección y no posee suelo rural ni de expansión urbana. El estrato que más predomina en la localidad es el 3 con un 89,7% seguido del estrato 4 con 9,3% y los estratos con poca incidencia son el 1 y 2 con 0,9% y 0,1% respectivamente. Además, la localidad de Puente Aranda tiene una cobertura de acueducto del 99,98%, de alcantarillado del 100% y de alcantarillado pluvial del 100% (Secretaría Distrital Planeación Bogotá, 2014).

La Localidad de Puente Aranda a diciembre de 2017 presenta un total de 36.461 empresas con matrículas activas que representan el 5,1% del total de Bogotá, así mismo entre el 2016 y 2017 presentó un aumento del 2,2% de empresas con matrícula activa. De acuerdo a las UPZ de la Localidad de Puente Aranda, las empresas con matrícula activa se distribuyen de la siguiente manera: UPZ 40 - Ciudad Montes (28,6%), UPZ 43 - San Rafael (24,9%), UPZ 108 - Zona Industrial (19,2%), UPZ 41 - MUZU (17,5%) y UPZ 111 - Puente Aranda (9,7%). De acuerdo con los sectores productivos que se desarrollan en la Localidad de Puente Aranda, predomina el sector comercio (36,7%) seguido por el sector industrial (21%) (Secretaría Distrital de Planeación, 2017).

Marco institucional

En este apartado se presenta la identificación de las partes interesadas que tienen influencia directa o indirecta con el desarrollo del presente proyecto, así mismo se presentan sus expectativas, necesidades y deseos para la culminación del presente proyecto, esta información se presenta a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Identificación de las partes interesadas con el desarrollo del proyecto.

I D	Nombre	Clase	Descripción	Necesidades, expectativas y deseos
1	Director	Interno	Encargado de dirigir y guiar a los estudiantes con el desarrollo del presente proyecto.	Revisión, ajustes y seguimiento del presente proyecto basado en los lineamientos y el cronograma de Comité de Trabajos de Grado. Generación oportuna de avales para los entregables requeridos por el Comité de Trabajos de Grado
2	Estudiantes	Interno	Encargados de los procesos de iniciación, planeación, ejecución, seguimiento y cierre del proyecto de grado.	Trabajar incansablemente para desarrollar el proyecto de grado según los lineamientos, metodología, formatos y cronograma del Comité de Trabajos de Grado del programa.
3	Comité de Trabajos de Grado	Externo	Grupo de personas que establecen los lineamientos para el desarrollo de los proyectos investigativos.	Revisión, seguimiento y ajustes de los lineamientos desarrollados en el presente proyecto.
4	Jurados de proyecto	Externo	Personas que tienen como objetivo principal evaluar los resultados del proyecto de grado	Revisión de los proyectos de grado bajo los lineamientos proporcionados por Comité de Trabajos de Grado, generando una valoración objetiva.
5	Secretaría Distrital de Ambiental	Externo	Entidad encargada de proporcionar información relevante para el desarrollo de los objetivos del presente proyecto.	Generar informes actualizados y confiables referentes a su jurisdicción.
6	Cámara de Comercio de Bogotá	Externo	Entidad encargada en llevar inventario sobre las industrias establecidas en el área de estudio.	Generar un inventario de las empresas que tienen actividad en el área de estudio.
7	Secretaría Distrital de Salud	Externo	Entidad encargada de publicar informes sobre las enfermedades	Generar informes actualizados y confiables referentes a su jurisdicción.

			influenciadas por la mala calidad el aire.	
8	Población afectada	Externo	Grupo de personas que se movilizan en el área de estudio.	Conocer el estado de calidad del aire al que están expuestos mediante la generación de una alerta temprana con el fin de tomar medidas preventivas.

Fuente: Autores.

Marco legal y normativo

En este apartado se presenta la legislación referente a la calidad del aire que regula, sustenta y argumenta el desarrollo del presente proyecto a partir del componente jurídico implementado en el país, este resumen se presenta a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de las diferentes normas legales que sustentan de forma legal nuestro proyecto.

Normal legal	Propósito	Sección
Decreto-Ley 2811 de 1974	Preservación y manejo de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente	Art. 75, hace referencia a la prevención de la contaminación atmosférica
Ley 9 de 1979	Protección del medio ambiente	Art. 41, establece las normas sobre calidad del aire Art. 44, prohíbe descargar en el aire contaminantes en concentraciones superiores establecidos en la normas.
Ley 99 de 1993	Principios generales ambientales	Art. 31. Las CAR's ejercerán las funciones (12) <i>Evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del suelo, agua y aire.</i> Art. 65 Los municipios, distritos y distrito capital ejercerán las funciones (7) <i>con ayuda de las CAR's llevar a cabo el control y vigilancia ambiental de actividades contaminantes que afecten al aire.</i> (9) <i>ejecutar proyectos de descontaminación para el control de emisiones de contaminantes del aire.</i>
Decreto 948 de 1995	Reglamento de protección y control de la calidad del aire	Definir el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire, y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales

		renovables y la salud humana ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire.
Resolución 0910 de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	A partir de esta Resolución se modifica parcialmente la Resolución 910 de 2008 y se adoptan otras disposiciones. Además de esto otorga las facultades constitucionales y legales que debe contener el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire	Art1. Define los componentes del Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire Capítulo 2. Se argumentan y desarrollan las categorías que poseen las fuentes fijas y móviles dependiendo el límite máximo permisible
Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	A partir de esta Resolución se modifica la Resolución 601 de 2006 y se dictan otras disposiciones. Esta Resolución establece la norma de Calidad del aire o los niveles de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia local o regional.	Art. 2. Se establece la cantidad permitida de inmisión que debe tener cada uno de los contaminantes dependiendo el nivel máximo permisible y el tiempo de exposición.
Resolución 650 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire	Art. 1, por el cual se adopta a nivel nacional el Protocolo Art. 2, por el cual se establece las metodologías, directrices y procedimientos necesarios para llevar a cabo las actividades de monitoreo y seguimiento
Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	A partir de esta Resolución se adoptan las normas que regirán para medir la calidad de aire según la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera en cada uno de los procesos que se realicen además de dictar otras disposiciones.	Capítulo 2. Niveles de prevención, alerta y emergencia sobre la calidad del aire Capítulo 3. Determina las áreas de contaminación que pueden ser vulnerables al momento de una emisión Capítulo 4. Establece los índices de calidad del aire Capítulo 5. Socialización y divulgación de los resultados que una red de monitoreo debe tener

Fuente: Autores

A continuación, en la Tabla 3 se enuncia la norma técnica que define los lineamientos para el diseño, monitoreo y seguimiento para los sistemas de vigilancia de la calidad del aire.

Tabla 3. Norma técnica para el diseño, monitoreo y seguimiento de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire

Normal legal	Propósito	Sección
Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el año de 2010	Este documento es una guía que proporciona las directrices, metodologías y procedimientos necesarios para el desarrollo de las actividades de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire en el territorio nacional	-Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire -Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire

Fuente: Autores

Metodología

Objetivo 1: Evaluar la influencia de los aspectos meteorológicos sobre la dispersión del contaminante material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) a partir de las bases de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente para el periodo (2015-2019).

El primer objetivo tiene un enfoque cuantitativo debido a que busca estimar el comportamiento del contaminante material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) a partir de la influencia de los aspectos meteorológicos, los datos se recolectarán mediante la base de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente para los años (2015-2019). Una vez recolectados los datos se analizarán mediante métodos estadísticos que son ejecutados por el programa RStudio, la investigación será objetiva debido a que los datos no serán afectados por los investigadores (Sampieri, 2014).

En cuanto al alcance del primer objetivo es correlacional, porque se busca relacionar el comportamiento del material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) y los aspectos meteorológicos como velocidad y dirección del viento, precipitación y temperatura, con el fin de establecer el área de mayor influencia del contaminante.

El método utilizado para el desarrollo del primer objetivo consistió en consultar los registros de material particulado y datos meteorológicos en la base de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente para la Red de Calidad del Aire de Bogotá, de la cual se filtró la información para la estación de monitoreo de Puente Aranda y para el periodo comprendido entre los años 2015-2019. Una vez consultados los datos se organizaron en el programa Excel y luego se convirtieron en un archivo CSV para poder subirlos al programa RStudio. A partir del programa RStudio se graficó mediante la herramienta PolarPlot el comportamiento del contaminante material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) con respecto a la velocidad y dirección del viento. Para las variables de temperatura y precipitación se graficaron en Excel para evidenciar la influencia sobre el comportamiento del material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}).

Los instrumentos están comprendidos por los registros de la base de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente para la estación de monitoreo de Puente Aranda, los programas Excel y RStudio. La técnica será el análisis de los datos recolectados a partir de las gráficas obtenidas de los programas Excel y RStudio y posteriormente su comparación y análisis con la literatura.

Objetivo 2: Establecer el área de mayor influencia del contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) y los criterios técnicos y legales para el diseño de la microred de vigilancia.

El segundo objetivo tiene un enfoque cuantitativo porque se busca georreferenciar las gráficas PolarPlot y de esta manera medir la magnitud de la contaminación por material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en un área específica, luego esta información será la base para establecer los criterios técnicos y legales para el diseño de la microred de vigilancia.

El alcance del segundo objetivo es descriptivo y correlacional porque se busca establecer las características del comportamiento del contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) a partir de la georeferenciación de las gráficas PolarPlot obtenidas en el primer objetivo, con el fin de establecer el área de mayor influencia del contaminante material particulado e identificar la población afectada. Además, se establecerán los criterios técnicos y legales que se deben tener en cuenta para el diseño de la microred de vigilancia teniendo como referencia el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire.

El método utilizado consistió en tomar las gráficas de PolarPlot del programa RStudio que fueron obtenidas en los resultados del primer objetivo y ubicarlas geográficamente en la localidad de Puente Aranda mediante el programa Google Earth Pro, con el fin de establecer el área de mayor influencia del contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀). Adicionalmente se establecieron los criterios técnicos y legales para el diseño de la microred de vigilancia teniendo en cuenta el área de influencia del contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) establecida y como referencia los lineamientos del Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire.

Los instrumentos están comprendidos por las gráficas de PolarPlot del programa RStudio obtenidas en el primer objetivo, el programa Google Earth Pro y el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire. La técnica será la georeferenciación y análisis de las gráficas de PolarPlot y el desarrollo de los lineamientos establecidos por el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire.

Objetivo 3. Consolidar el diseño de la microred de vigilancia para el contaminante material particulado con el fin de informar a la población los niveles de contaminación a los que son expuestos.

El tercer objetivo tiene un enfoque cuantitativo porque se busca establecer geográficamente la ubicación de los dispositivos de medición teniendo en cuenta la magnitud de la contaminación del material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), con el fin de enfatizar las mediciones en el área de mayor influencia. Adicionalmente se busca consolidar el diseño de la micro red mediante la información recolectada en los anteriores objetivos, documentos e informes y normas técnicas.

El alcance es descriptivo y correlacional debido a que se consolidará el diseño de la micro red a partir de la ubicación geográfica de los monitores en las gráficas PolarPlot obtenidas en el segundo objetivo, y de la descripción de las características y propiedades de la micro red para el correcto funcionamiento, divulgación de la información y de las medidas preventivas.

El método utilizado consistió en ubicar geográficamente los puntos de los monitores para medir el material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) mediante el programa Google Earth Pro y teniendo en cuenta la georeferenciación realizada en el segundo objetivo. Por último, se especifica la tecnología de los

monitores, los mecanismos de comunicación y las medidas preventivas para la protección de la salud de la población afectada frente a la mala calidad del aire.

Los instrumentos están comprendidos por la ubicación geográfica de la gráfica PolarPlot, el programa Google Earth Pro para la ubicación de los monitores de medición de material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), y los documentos e informes que serán útiles para establecer la tecnología de los monitores de medición, los mecanismos de comunicación y medidas de prevención. La técnica será el análisis e interpretación de la georreferenciación de la gráfica Polar Plot para establecer la ubicación de los monitores de medición. Adicionalmente se realizará una revisión documental para definir la tecnología a utilizar para los monitores, los mecanismos de comunicación y las medidas de prevención.

Plan de trabajo

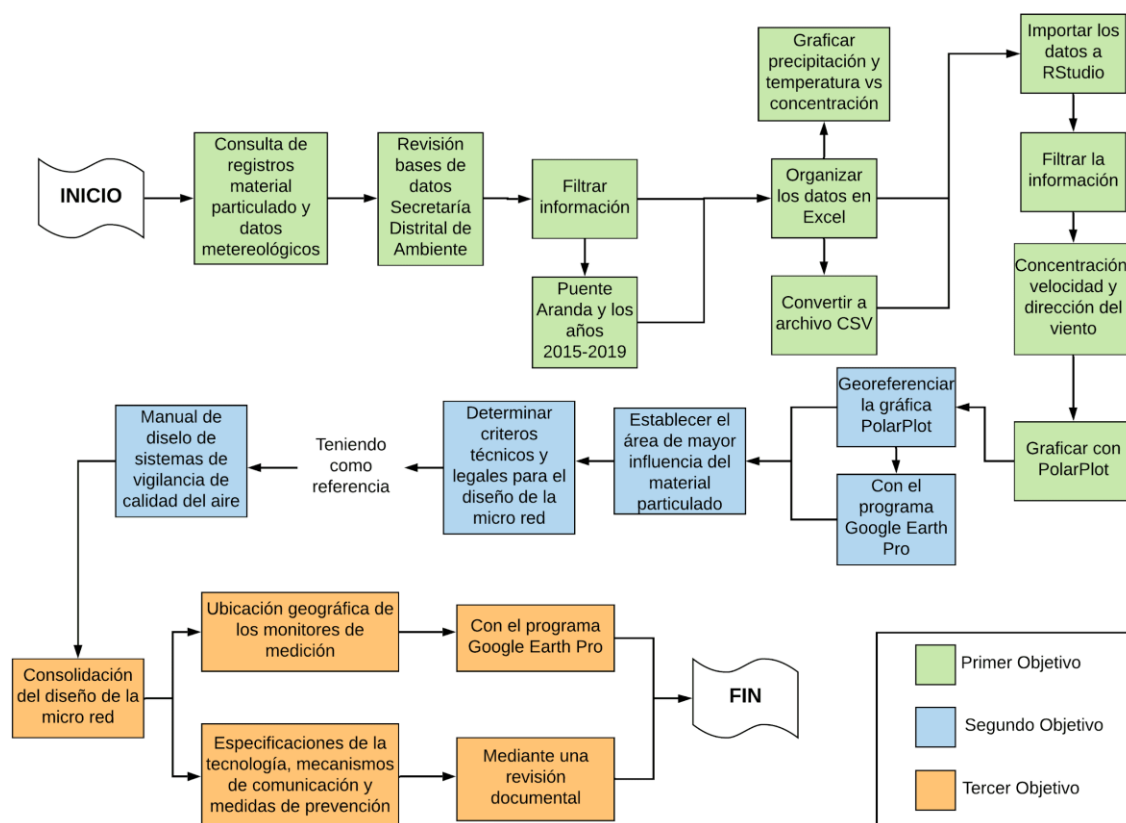


Figura 5. Diagrama de flujo del plan de trabajo. Autores.

Cuadro metodológico

Tabla 4. Cuadro metodológico

Objetivos		Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados esperados
General	Específicos				
	Evaluar la influencia de los	Consultar bases de datos	Análisis de	Base de datos de la Secretaría	Establecer la influencia de la

Diseñar una micro red de vigilancia para el contaminante material particulado (PM _{2.5} y PM ₁₀) emitido en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, para el monitoreo y alarma a nivel poblacional.	aspectos meteorológicos sobre la dispersión del contaminante material particulado (PM _{2.5} y PM ₁₀) a partir de las bases de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente para el periodo (2015-2019).		registros	Distrital de Ambiente	precipitación, temperatura y dirección y velocidad del viento sobre la dispersión del contaminante
		Graficar el comportamiento del material particulado	Análisis de datos	Excel y RStudio	
		Graficar la concentración del material particulado vs precipitación y temperatura	Análisis de datos	Excel	
	Establecer el área de mayor influencia del contaminante material particulado (PM _{2.5} y PM ₁₀) y los criterios técnicos y legales para el diseño de la microrred de vigilancia.	Georreferenciar gráficas de PolarPlot	Análisis de datos	Google Earth Pro y Rstudio	Identificar el área de mayor influencia a partir de la georreferenciación de las gráficas Polar Plot y definir los criterios técnicos y legales para el diseño de la micro red
		Establecer los criterios técnicos y legales para el diseño de la microrred	Revisión documental	Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire	
	Consolidar el diseño de la microrred de vigilancia para el contaminante material particulado con el fin de informar a la población los niveles de contaminación a los que son expuestos	Ubicar geográficamente los equipos de medición	Análisis de datos	Google Earth Pro	Consolidar el diseño de la micro red que contenga la ubicación geográfica de los monitores de medición y el tipo de tecnología, mecanismos de comunicación y estrategias de prevención
		Definir el tipo de tecnología, mecanismos de comunicación y estrategias de prevención	Revisión documental	Documentos e informes técnicos	

Fuente: Autores

Resultados y Análisis

Objetivo 1: Evaluar la influencia de los aspectos meteorológicos sobre la dispersión del contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) a partir de las bases de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente para el periodo (2015-2019).

Para dar cumplimiento con el primer objetivo se realizó en primer lugar una contextualización sobre los niveles de contaminación para el contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) emitido en la Localidad de Puente Aranda y registrados por la base de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente. Para PM₁₀ se tomaron en cuenta los datos correspondientes al periodo (2015-2019) y se importaron a RStudio para graficar mediante la herramienta estadística BoxPlot, como resultado se obtuvo la Figura 6.

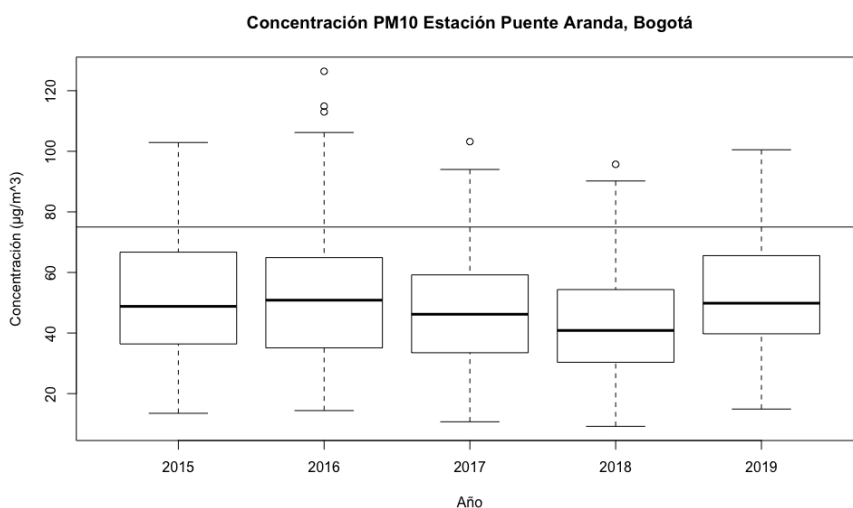


Figura 6. Concentración PM₁₀ emitido en la estación de monitoreo de Puente Aranda para los años (2015-2019). Autores Nota: La línea trazada en $y=75$, hace referencia al límite máximo permisible ($75 \frac{\mu g}{m^3}$) establecido por la Resolución 2254 de 2017.

Para PM_{2.5} se tomaron en cuenta los datos correspondientes al periodo (2016-2019) debido a que a partir del 2016 se dió inicio al registro de los datos de concentración para PM_{2.5} por cuenta de la Secretaría Distrital de Ambiente, como resultado se obtuvo la Figura 7.

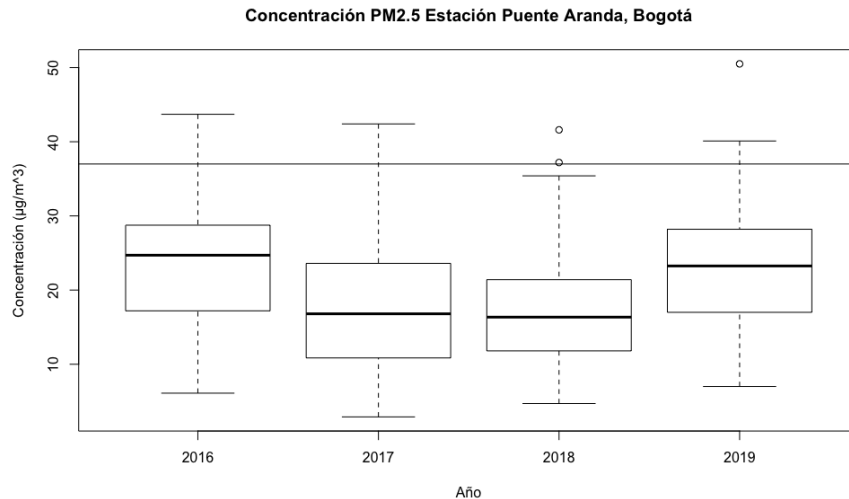


Figura 7. Concentración PM2.5 emitido en la estación de monitoreo de Puente Aranda para los años (2016-2019). Autores. Nota: La línea trazada en $y=37$, hace referencia al límite máximo permisible ($37\frac{\mu g}{m^3}$) establecido por la Resolución 2254 de 2017.

En la Figura 6 se evidencia que para el año 2015 el 50% de datos registrados de niveles de concentración de PM₁₀ están comprendidos dentro de la caja de la gráfica en un intervalo aproximado de $38\frac{\mu g}{m^3}$ - $65\frac{\mu g}{m^3}$. El 50% de los datos restantes están distribuidos por fuera de la caja, es decir en el bigote inferior por debajo de $38\frac{\mu g}{m^3}$ y en un mayor porcentaje en el bigote superior por encima de $65\frac{\mu g}{m^3}$, debido a que la figura para este año es asimétrica con mayor cantidad de datos en el bigote superior. El valor mínimo se ubica en $12\frac{\mu g}{m^3}$ y el valor máximo en $105\frac{\mu g}{m^3}$ aproximadamente, con un valor promedio anual aproximado de $48\frac{\mu g}{m^3}$, representado por la línea dentro de la caja.

Para el año 2016 el 50% de los datos registrados están comprendidos dentro de la caja en un intervalo aproximado de $36\frac{\mu g}{m^3}$ - $64\frac{\mu g}{m^3}$, el 50% restante están distribuidos por fuera de la caja es decir en el bigote inferior por debajo de $36\frac{\mu g}{m^3}$ y en un mayor porcentaje en el bigote superior por encima de $64\frac{\mu g}{m^3}$, debido a que para este año la figura es asimétrica presentando mayor cantidad de datos en el bigote superior. El valor mínimo se ubica en $14\frac{\mu g}{m^3}$ y el máximo en $110\frac{\mu g}{m^3}$ aproximadamente, con un valor promedio anual aproximado de $50\frac{\mu g}{m^3}$. Se presentan 3 datos atípicos, es decir que están muy alejados de los demás valores dentro de los cuales el máximo sobrepasa los $120\frac{\mu g}{m^3}$.

Para el año 2017 el 50% de los datos registrados están comprendidos dentro de la caja en un intervalo aproximado de $32\frac{\mu g}{m^3}$ - $58\frac{\mu g}{m^3}$, el 50% restante están distribuidos por fuera de la caja es decir en el bigote inferior por debajo de $32\frac{\mu g}{m^3}$ y en un mayor porcentaje en el bigote superior por encima de $58\frac{\mu g}{m^3}$, debido a que para este año la figura es asimétrica presentando mayor cantidad de datos en el bigote superior. El valor mínimo se ubica en $8\frac{\mu g}{m^3}$ y el máximo en $92\frac{\mu g}{m^3}$ aproximadamente, con un valor promedio anual aproximado de $42\frac{\mu g}{m^3}$. Se presenta un dato atípico aproximado de $100\frac{\mu g}{m^3}$, es decir que está muy alejado de los demás valores.

Para el año 2018 el 50% de los datos registrados están comprendidos dentro de la caja en un intervalo aproximado de $30\frac{\mu g}{m^3}$ - $52\frac{\mu g}{m^3}$, el 50% restante están distribuidos por fuera de la caja es decir en el bigote

inferior por debajo de $30 \frac{\mu g}{m^3}$ y en un mayor porcentaje en el bigote superior por encima de $52 \frac{\mu g}{m^3}$, debido a que para este año la figura es asimétrica presentando mayor cantidad de datos en el bigote superior. El valor mínimo se ubica en $6 \frac{\mu g}{m^3}$ y el máximo en $90 \frac{\mu g}{m^3}$ aproximadamente, con un valor promedio anual aproximado de $40 \frac{\mu g}{m^3}$. Se presenta un dato atípico aproximado de $94 \frac{\mu g}{m^3}$, es decir que está muy alejado de los demás valores.

Para el año 2019 el 50% de los datos registrados están comprendidos dentro de la caja en un intervalo aproximado de $38-64 \frac{\mu g}{m^3}$, el 50% restante están distribuidos por fuera de la caja es decir en el bigote inferior por debajo de $38 \frac{\mu g}{m^3}$ y en un mayor porcentaje en el bigote superior por encima de $64 \frac{\mu g}{m^3}$, debido a que para este año la figura es asimétrica presentando mayor cantidad de datos en el bigote superior. El valor mínimo se ubica en $12 \frac{\mu g}{m^3}$ y el máximo en $98 \frac{\mu g}{m^3}$ aproximadamente, con un valor promedio anual aproximado de $49 \frac{\mu g}{m^3}$. Cabe señalar que los datos para el año 2019 corresponden a los meses de enero, febrero y marzo, debido a que a partir de este momento se dió inicio al desarrollo del presente proyecto.

De esta manera, en la Figura 6 se evidencia que para los años del 2015 al 2019 se presenta la mayor cantidad de datos dentro de la caja con un 50%, así mismo los rangos de dichas cajas están por debajo del límite permisible por la legislación colombiana, quien establece un límite de $75 \frac{\mu g}{m^3}$ según la Resolución 2254 de 2017 (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Los datos que están en los bigotes superiores representan más del 25% de la totalidad de los datos, dentro de los cuales hay datos que logran superar el límite permisible por la legislación colombiana. Además, se presentaron 5 datos atípicos a lo largo de los 5 años con niveles de concentración muy alejados del límite permisible. Por otro lado, al comparar los datos de los 5 años con el límite máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (2005) el cual es $50 \frac{\mu g}{m^3}$, este límite es sobrepasado por las cajas y bigotes superiores de todos los años. Sin embargo, aún no se ha identificado el nivel de concentración de material particulado a partir del cual se generan enfermedades en la población, pero si se procura que se tengan los niveles más bajos posibles de exposición (Organización Mundial de la Salud, 2005).

A partir de la Figura 7 se logra evidenciar que para el año 2016 el 50% de los datos registrados de niveles de concentración de PM_{2.5} están comprendidos dentro de la caja de la gráfica en un intervalo aproximado de $17-28 \frac{\mu g}{m^3}$. El 50% de los datos restantes están distribuidos por fuera de la caja, es decir en el bigote inferior por debajo de $17 \frac{\mu g}{m^3}$ y en un mayor porcentaje en el bigote superior por encima de $28 \frac{\mu g}{m^3}$, debido a que la figura para este año es asimétrica con mayor cantidad de datos en el bigote superior. El valor mínimo se ubica en $6 \frac{\mu g}{m^3}$ y el valor máximo en $44 \frac{\mu g}{m^3}$ aproximadamente, con un valor promedio anual aproximado de $25 \frac{\mu g}{m^3}$, representado por la línea dentro de la caja.

Para el año 2017 el 50% de los datos registrados de niveles de concentración están comprendidos dentro de la caja de la gráfica en un intervalo aproximado de $11-23 \frac{\mu g}{m^3}$. El 50% de los datos restantes están distribuidos por fuera de la caja, es decir en el bigote inferior por debajo de $11 \frac{\mu g}{m^3}$ y en un mayor porcentaje en el bigote superior por encima de $23 \frac{\mu g}{m^3}$, debido a que la figura para este año es asimétrica con mayor cantidad de datos en el bigote superior. El valor mínimo se ubica en $3 \frac{\mu g}{m^3}$ y el valor máximo

en $42 \frac{\mu g}{m^3}$ aproximadamente, con un valor promedio anual aproximado de $17 \frac{\mu g}{m^3}$ representado por la línea dentro de la caja.

Para el año 2018 el 50% de los datos registrados de niveles de concentración están comprendidos dentro de la caja de la gráfica en un intervalo aproximado de $12-22 \frac{\mu g}{m^3}$. El 50% de los datos restantes están distribuidos por fuera de la caja, es decir en el bigote inferior por debajo de $12 \frac{\mu g}{m^3}$ y en un mayor porcentaje en el bigote superior por encima de $22 \frac{\mu g}{m^3}$, debido a que la figura para este año es asimétrica con mayor cantidad de datos en el bigote superior. El valor mínimo se ubica en $4 \frac{\mu g}{m^3}$ y el valor máximo en $35 \frac{\mu g}{m^3}$ aproximadamente, con un valor promedio anual aproximado de $17 \frac{\mu g}{m^3}$, representado por la línea dentro de la caja. Se presentan dos valores atípicos, es decir que se encuentran muy alejados de los demás, de los cuales el máximo presenta una concentración de $41 \frac{\mu g}{m^3}$.

Para el año 2019 el 50% de los datos registrados de niveles de concentración están comprendidos dentro de la caja de la gráfica en un intervalo aproximado de $17-28 \frac{\mu g}{m^3}$. El 50% de los datos restantes están distribuidos por fuera de la caja, es decir en el bigote inferior por debajo de $17 \frac{\mu g}{m^3}$ y en un mayor porcentaje en el bigote superior por encima de $28 \frac{\mu g}{m^3}$, debido a que la figura para este año es asimétrica con mayor cantidad de datos en el bigote superior. El valor mínimo se ubica en $7 \frac{\mu g}{m^3}$ y el valor máximo en $40 \frac{\mu g}{m^3}$ aproximadamente, con un valor promedio anual aproximado de $22 \frac{\mu g}{m^3}$ representado por la línea dentro de la caja. Se presenta un dato atípico muy alejado de los demás valores y este a su vez representa la mayor concentración para los 4 años analizados con una concentración de $51 \frac{\mu g}{m^3}$ aproximadamente.

Una vez analizados los datos de concentración de PM_{2.5} en la Figura 7, se evidencia que el 50% de los datos representados por las cajas de cada año del 2015 al 2019 no sobrepasan el límite máximo permisible de la legislación colombiana, quien establece un límite de $37 \frac{\mu g}{m^3}$ según la Resolución 2254 de 2017 (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Los datos que están en los bigotes superiores representan más del 25% de la totalidad de los datos, de los cuales hay datos en los años 2016, 2017 y 2019 que lograron sobrepasar el límite máximo permisible a excepción del año 2018. Además, se presentaron 3 datos atípicos a lo largo de los 4 años, de los cuales uno está sobre el límite máximo permisible y lo demás lo sobrepasan. Por otro lado, al comparar los datos de los 4 años con el límite máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (2005) el cual es $25 \frac{\mu g}{m^3}$, este límite es sobrepasado por los bigotes superiores de todos los años y por las cajas de los años 2016 y 2019.

De esta manera, a partir del análisis de la Figura 6 y 7 se determinó que los datos registrados por la Estación de Puente Aranda en los años seleccionados presentaron altos niveles de concentración de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) al ser comparados con la Resolución 2254 de 2017 (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) y los niveles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (2005), por lo que es relevante tomar medidas de protección a la salud para la población afectada.

Una vez se realizó la contextualización de los niveles de contaminación de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) para la Estación de Puente Aranda, se procedió a analizar la influencia de los aspectos meteorológicos sobre la dispersión del contaminante. En primer lugar se graficaron los datos de la

concentración del material particulado PM₁₀ por día para el periodo (2015-2018) y se organizaron a partir de una grilla por mes (Figura 8), con el fin de compararlos con la tendencia de precipitación y temperatura mensual, como se presenta en la Figura 9 y 10. Cabe destacar que los datos de concentración, temperatura y precipitación fueron tomados de la base de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente según los registros de la Estación de Puente Aranda.

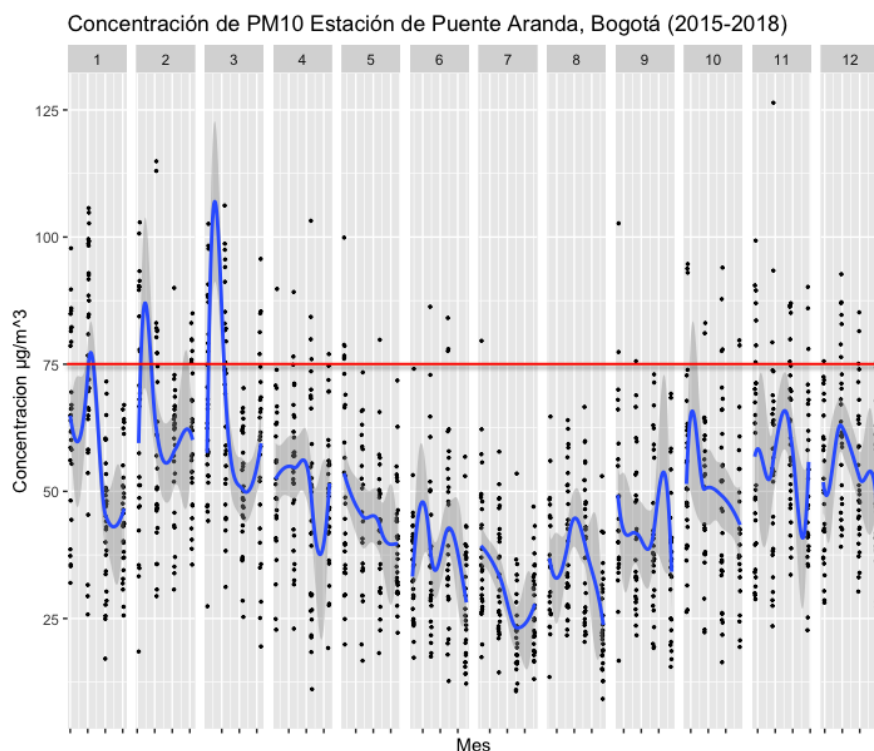


Figura 8. Concentración diaria de material particulado PM₁₀ años (2015-2019), Estación Puente Aranda Bogotá. Autores. Nota: la línea trazada en $y=75$ corresponde al límite máximo permisible establecido por la Resolución 2254 de 2017

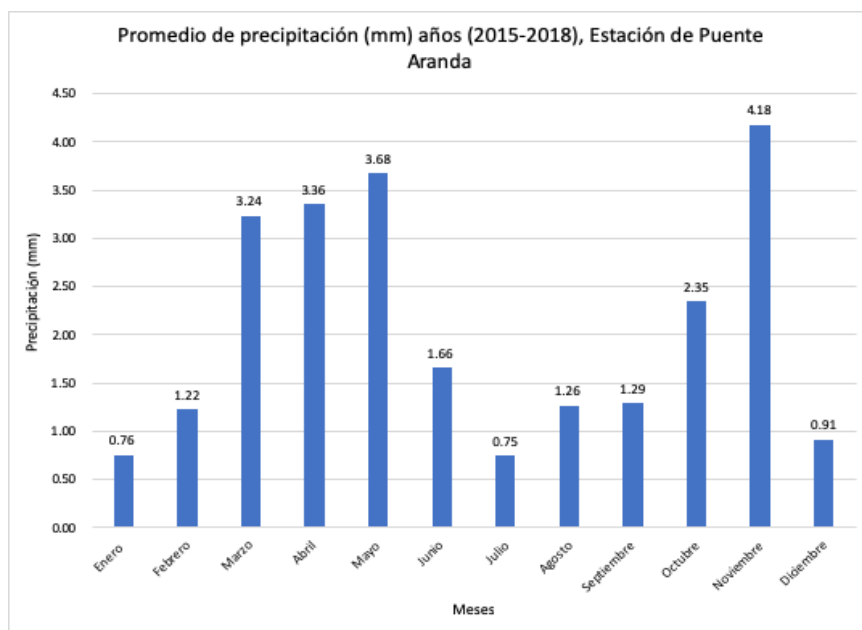


Figura 9. Promedio de precipitación en (mm) para los años (2015-2018), Estación Puente Aranda. Autores.

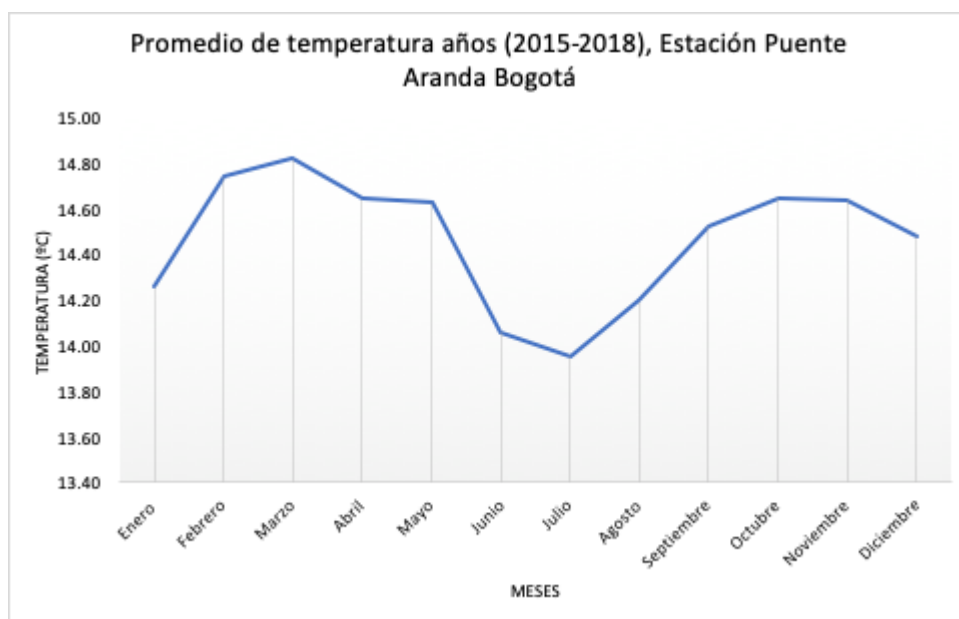


Figura 10. Promedio de temperatura para los años (2015-2018), Estación Puente Aranda. Autores.

La Figura 8 describe el comportamiento de la concentración diaria de material particulado PM₁₀ representada por los puntos negros y estos están divididos con una grilla por meses. De esta manera se compararon los datos con el límite permisible de la Resolución 2254 de 2017 (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) trazado con la línea roja en $y=75$, determinando que a partir del mes de Enero se presenta una tendencia creciente en los niveles de contaminación hasta llegar al punto máximo en el mes de Marzo, en este periodo se registra gran cantidad de días que sobrepasan el límite máximo permisible. En el mes de abril la tendencia de la concentración del contaminante decrece hasta el mes de Julio, donde se presentan pocos días que sobrepasan el límite máximo permisible. En el mes de Agosto, aunque no se presenta ningún día que sobrepase el límite máximo permisible, se presenta una tendencia creciente hasta el mes de Noviembre. En los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre nuevamente se registra gran cantidad de días que sobrepasan el límite máximo permisible, sin embargo en Diciembre se presenta un decrecimiento leve con respecto al mes de Noviembre.

En la Figura 9 se presentan los datos de precipitación para la Estación de Puente Aranda, a partir de los cuales se identifica que en los meses de Marzo y Noviembre se presentan los valores más altos de precipitación, de igual manera en la Figura 8 estos meses corresponden a los registros más altos de concentración del contaminante PM₁₀, de manera que existe una relación directa en la que a medida que aumenta la precipitación también aumenta los niveles de concentración de PM₁₀ como lo afirman Miranda y Ortiz (2008), citados por Arrieta (2016). Sin embargo, la precipitación produce un lavado de los contaminantes mediante el transporte del contaminante al suelo por dilución de los mismos o por el uso como núcleo de condensación (Bazante, 2015). De igual manera a partir de la comparación de las Figuras 7 y 10 se determinó que a medida que la temperatura aumenta, la concentración de PM₁₀ aumenta sin embargo autores como Arrieta (2016) y Sierra (2006) afirman que la temperatura y la concentración de PM₁₀ no tienen relación, sin embargo si existe relación entre la temperatura y la velocidad y dirección del viento.

Cabe destacar que el análisis de las variables de precipitación y temperatura se realizó únicamente con el contaminante PM₁₀ debido a que para el contaminante PM_{2.5} solo se cuenta con dos años completos de registro, por lo no son suficientes para establecer tendencias de comportamiento. De

igual manera se analizaron las variables climáticas dirección y velocidad del viento para buscar una relación con la concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$, se importaron los datos de concentración y dirección y velocidad del viento al programa RStudio y a partir de la herramienta PolarPlot se obtuvo como resultado las Figuras 11 y 12.

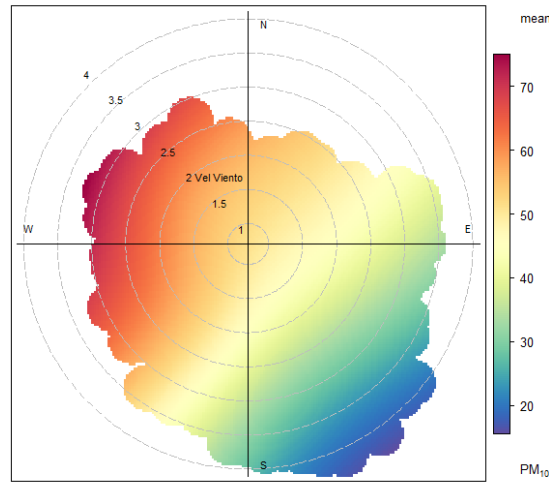


Figura 11. Dispersión del contaminante PM_{10} por la dirección y velocidad del viento. Autores.

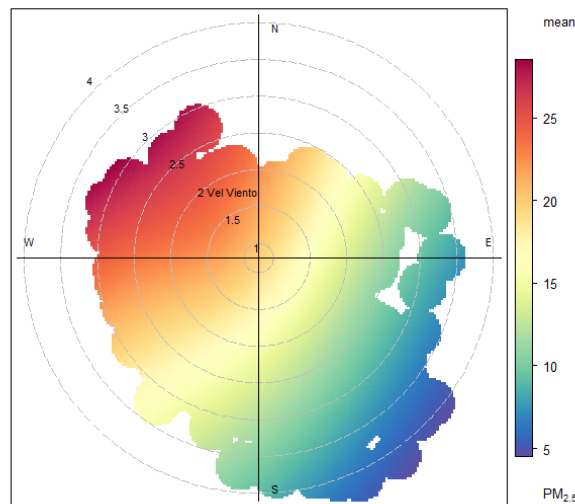


Figura 12. Dispersión del contaminante $PM_{2.5}$ por la dirección y velocidad del viento. Autores.

En las Figuras 11 y 12, se presenta la dispersión del contaminante PM_{10} y $PM_{2.5}$ a partir de la influencia de la velocidad y dirección del viento. Se observa mediante la escala de colores que la concentración más alta para las dos figuras se ubica en la dirección NW y disminuye hacia la dirección SE, por lo que las fuentes de contaminación se encuentran en la zona más alta de concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ representada por el color rojo. Como se puede observar en la Figura 11 y 12, la ubicación de la estación de monitoreo de Puente Aranda se encuentra en la coordenada (0,0), sin embargo, en esta zona no se presenta la mayor influencia del contaminante por que ya ha disminuido su concentración por la acción de la velocidad y dirección del viento, por lo tanto, actualmente la estación de monitoreo de Puente Aranda no registra los datos del área de mayor influencia del contaminante PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Objetivo 2: Establecer el área de mayor influencia del contaminante material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) y los criterios técnicos y legales para el diseño de la microred de vigilancia.

Para dar cumplimiento con el segundo objetivo en primer lugar se estableció el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia para la Calidad del Aire como el criterio legal para el desarrollo del presente proyecto. De igual manera el contenido de este manual se consideró como el criterio técnico para cumplir con el diseño de la microred de vigilancia. Para establecer el área de mayor influencia del material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) se desarrolló el apartado “1.8 campaña de monitoreo preliminar”. El desarrollo del contenido del Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia para la Calidad del Aire se presenta a continuación:

Diagnóstico

Estudios de salud

Hernández et al. (2013), realizaron un estudio de cohorte en una población de menores de 5 años de jardines infantiles ubicados en las zonas de mayor exposición (distancia menor a 100 m de fuentes fijas o móviles) y de menor exposición (distancia de más de 100 m de fuentes fijas o móviles) a material particulado de las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón. Como resultado se obtuvo que el 74.3% de la población estudiada presentó sibilancias dentro de los cuales se presentó una diferencia entre la población de mayor exposición y de menor exposición de 79,6% y 69,0% respectivamente.

Según el boletín epidemiológico emitido por Subred de Servicios de Salud del Sur (2016), para el mes de noviembre fueron atendidos 22 menores, de los cuales el 54,5% pertenecen al género femenino y el 45,4% fueron de género masculino, además se evidencia que el grupo de edad está entre 2 a 11 meses y 1 a 4 años. Asimismo, el 61,5% como diagnóstico es Bronquiolitis, las infecciones respiratorias de vía superior con el 40,9% y el Síndrome Bronquial Obstructivo Recidivante con 13,6%. Con base al boletín epidemiológico, se concluye que días posteriores de un incremento de concentración de PM_{2,5} genera un pico de atención por ERA en menores 14 años y enfermedades cardiovasculares en mayores de 60 años.

Jiménez y Granados (2015), analizaron la incidencia de la contaminación atmosférica sobre las enfermedades respiratorias agudas en la Localidad de Puente Aranda. En este estudio revisaron los registros del Hospital del Sur CAMI Trinidad Galán para el periodo comprendido entre el 1 de Julio de 2009 al 31 de diciembre de 2013, donde se registraron 3590 pacientes atendidos por enfermedades respiratorias agudas. Además, se identificó que la mayor concentración del domicilio de los pacientes se encuentra en el área de influencia de la estación de monitoreo de calidad del aire de Puente Aranda.

Aristizábal et al. (1998), realizaron un estudio de cohorte en la población infantil (126 niños) de Puente Aranda sobre enfermedades respiratorias generadas por la contaminación del aire. Como resultaron obtuvieron un 94,6% episodio o aumento de tos, un 100% en secreciones nasales, un 62,5% en episodios de ruidos bronquiales audibles a distancia, un 94,6% en diagnóstico de IRA alta y un 39,3% diagnóstico de SBO.

Geografía y clima

Límites geográficos

La localidad de Puente Aranda se situada en el sector central de Bogotá, limita al norte con la localidad de Teusaquillo, con la Avenida de las Américas y la Avenida Ferrocarril, al oriente limita con la localidad Los Mártires, con la Avenida Ciudad de Quito, al sur limita con las localidades Tunjuelito y Antonio Nariño, con la Avenida Sur, y al occidente con la localidad Kennedy, con la Avenida del Congreso Eucarístico (Castillo, 2013).

Condiciones topográficas

La Localidad de Puente Aranda posee un terreno plano con un ligero desnivel del oriente a occidente, se ubica en áreas sin riesgo geotécnico y está alejada de las laderas de las montañas. Por otro lado esta localidad estaba formada por humedales, debido que en el pasado se distinguió por ser el cruce de varios ríos. Estas características topográficas del terreno y el fácil acceso de vías favorecen el asentamiento industrial (Secretaría Distrital de Salud, 2001; Velandia, 2014).

Condiciones climatológicas

Las condiciones climatológicas se establecieron a partir de la revisión del Documento Técnico de Soporte-Modificación del Decreto 98 del 2011 de la Secretaría Distrital de Ambiente (2017), mediante el cual se registran las variables meteorológicas como precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar y humedad relativa, de cada una de las estaciones que conforman la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. En la Tabla 5 se presentan los acumulados de precipitación de la Estación de Puente Aranda para el año 2014, siendo de los valores más bajos en comparación con las demás estaciones.

Tabla 5. Acumulado de precipitación para el año 2014 de la Estación de Puente Aranda, Bogotá.

Estación Puente Aranda												
Mes	Ene ro	Febr ero	Mar zo	Abril	May o	Juni o	Julio	Agos to	Septi embr e	Octu bre	Novi embr e	Dicie mbre
Acum ulado (mm)	24,3	39	47,9	63,1	71,7	56,7	22,4	22,6	38,3	73,9	108,8	111,6
Acum ulado anual (mm) 2014	680											

Adaptado de Secretaría Distrital de Ambiente, (2017).

En la Figura 13 se presenta el mapa de la ciudad de Bogotá con cada una de las estaciones de monitoreo ubicadas geográficamente y la representación gráfica de la velocidad y dirección del viento. De esta manera se evidencia que para la Estación de Puente Aranda se presenta una velocidad promedio de 1,5 a 2,5 m/s y a su vez presenta una dirección del viento NW.

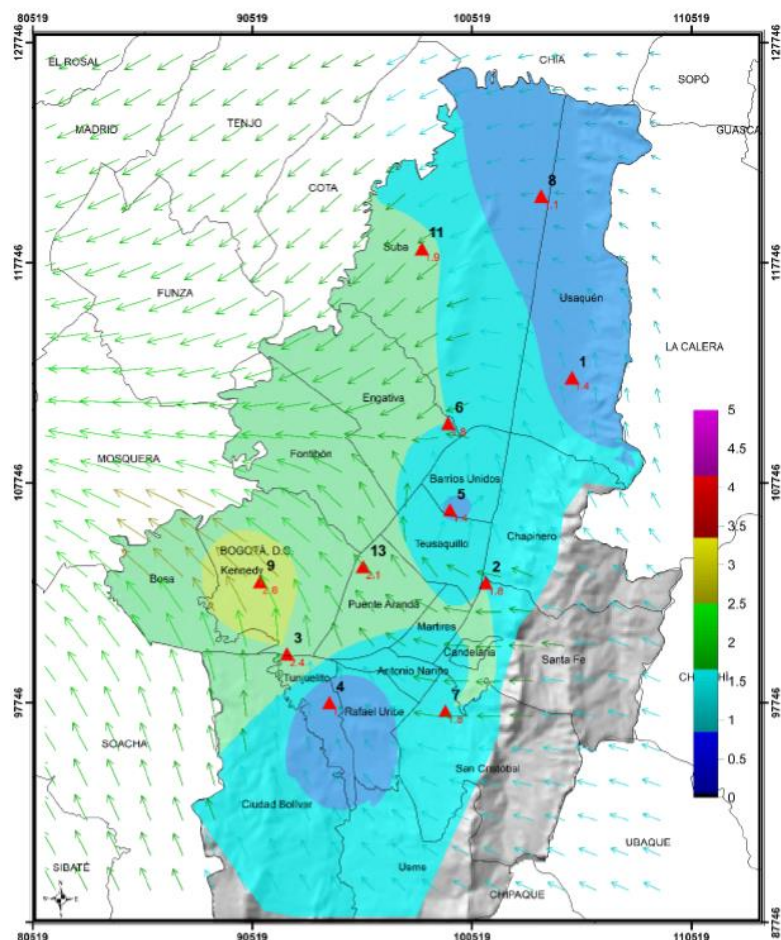


Figura 13. Dirección del viento (vectores) y velocidad del viento (superficie de colores y vectores con valores en m/s) en Bogotá para el año 2014. Secretaría Distrital de Ambiente (2017).

La Figura 14 presenta el valor promedio de radiación solar de todas las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá durante los últimos trimestres desde el año 2008 hasta el año 2014.

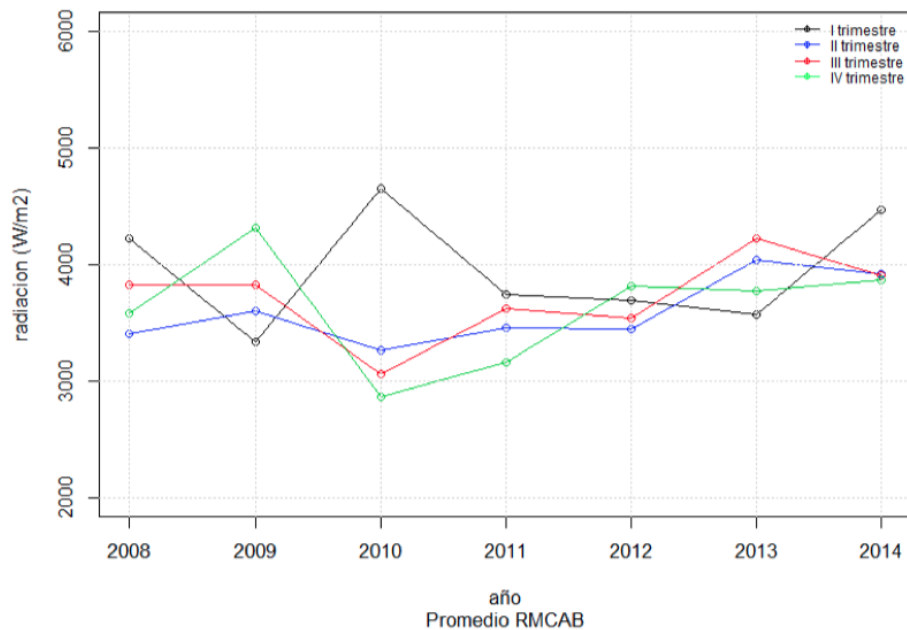


Figura 14. Radiación solar promedio de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. Secretaría Distrital de Ambiente (2017).

De igual manera la Figura 15 presenta el valor promedio de la humedad relativa de todas las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá durante los últimos trimestres desde el año 2008 hasta el año 2014.

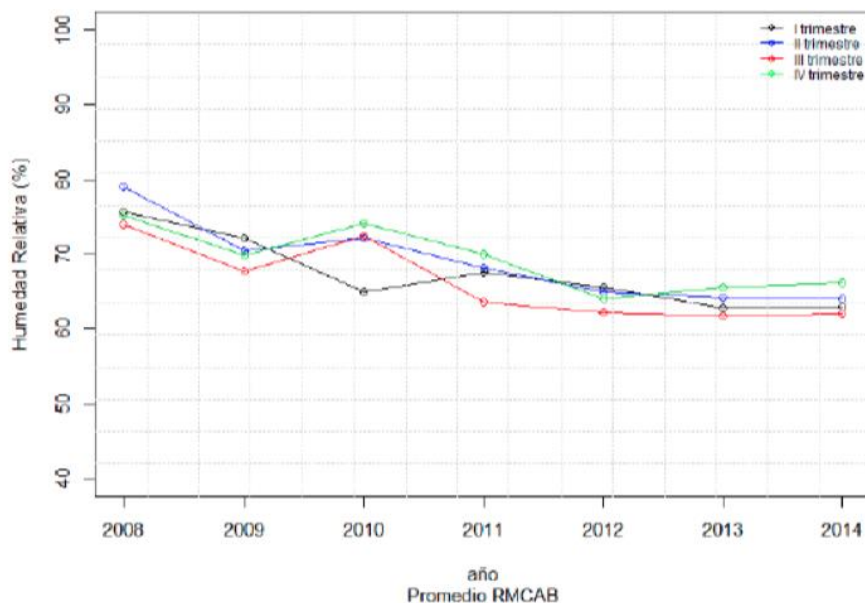


Figura 15. Humedad relativa de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. Secretaría Distrital de Ambiente (2017).

En la Figura 16 se presenta el promedio de temperatura para las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá para el año 2014, el promedio por mes para el periodo del año 1998 hasta el año 2013 y el promedio por mes para la estación El Dorado durante los años 1980 hasta 2010.

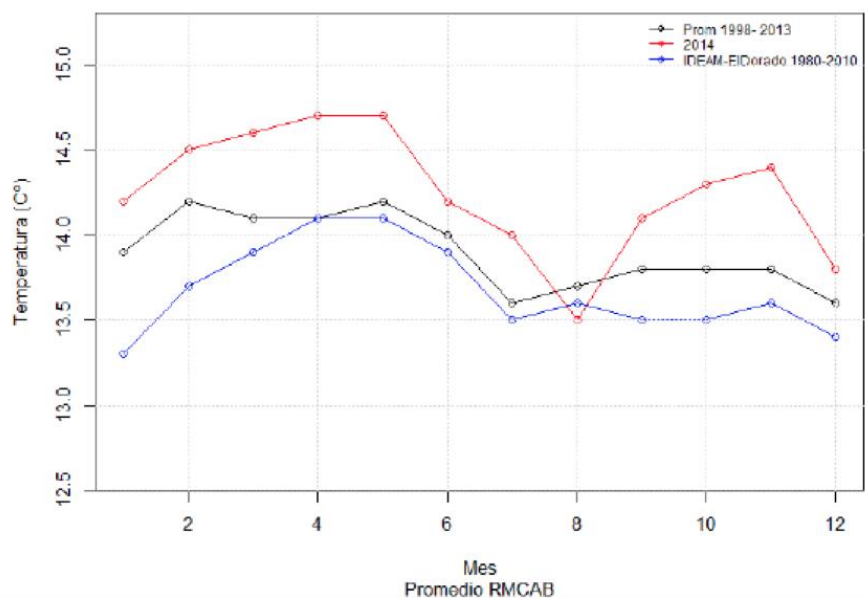


Figura 16. Temperatura registrada por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (2014 y 1998-2013) y la Estación El Dorado. Secretaría Distrital de Ambiente (2017).

Usos del suelo

La Alcaldía Mayor de Bogotá (2017) establece el uso actual del suelo a partir de la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de la Localidad de Puente Aranda. El uso del suelo predominante es residencial con un 38,68%, seguido por servicios 21,64%, industrial 12,70%, Dotacional 8,96%, Comercio 7,96% y otros 10,06%; como se presenta en la Figura 17.

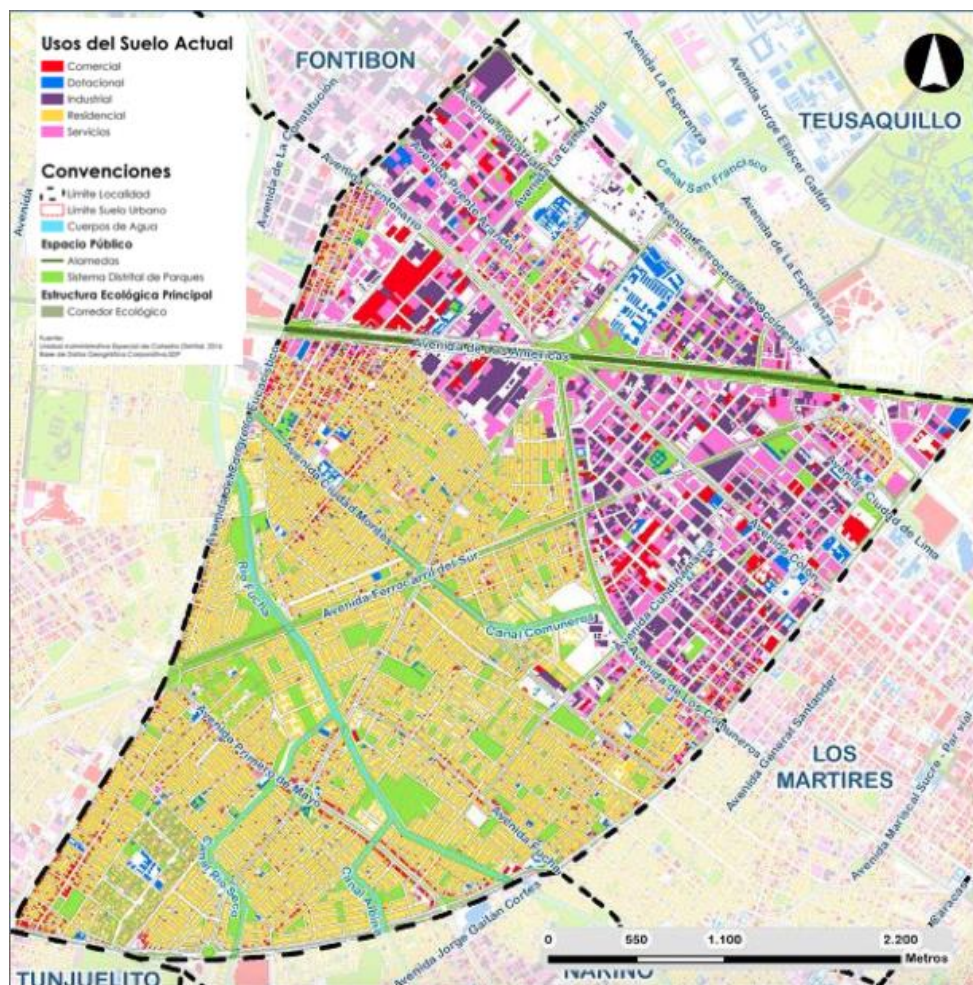


Figura 17. Uso actual del suelo de la Localidad de Puente Aranda, Bogotá. Adaptado de Alcaldía Mayor de Bogotá (2017).

Estructura y tendencias del crecimiento demográfico

Desarrollo urbano y sus actividades socioeconómicas

De acuerdo con el informe presentado por Castillo (2013), la localidad de Puente Aranda posee 1731.1 Ha de suelo urbano, presentando en la última década un incremento del 40 % de predios construidos por lo que se evidencia un importante desarrollo urbanístico. De acuerdo a la subdivisión por UPZ, se clasifican como predominantemente industrial las UPZ 111 - Puente Aranda y UPZ 108 - Zona Industrial; mientras que se clasifican como residenciales consolidadas las UPZ 40 - Ciudad Montes, UPZ 43 - San Rafael y UPZ 41 - Muzu. De igual manera las principales actividades socioeconómicas de la Localidad de Puente Aranda se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Principales actividades socioeconómicas de la Localidad de Puente Aranda

Actividad socioeconómica	Cantidad unidades	%
Vivienda en No Propiedad Horizontal (NPH)	41.632	51,65%
Vivienda en Propiedad Horizontal (PH)	11.153	5,00%
Comercio puntual	1.367	1,18%

Comercio en corredor comercial	8.126	4,27%
Centro comercial grande y mediano	337	0,20%
Grandes almacenes	13	0,27%
Oficinas NPH	2.832	7,21%
Oficinas PH	1.118	0,47%
Hoteles	5	0,12%
Moteles	9	0,04%
Colegios y universidades	165	1,28%
Clínicas, hospitales y centros médicos	4	0,07%
Iglesias	69	0,30%
Dotacional	343	1,53%
Actividad artesanal	720	0,90%
Industria	245	4,62%
Bodega y almacenamiento	7.424	19,48%
Parqueadero	4.496	1,24%
Otros usos	160	0,17%
Total general	80.218	100,00%

Fuente: Castillo, (2013).

Distribución demográfica y geográfica de los empleos

La Secretaría Distrital de Planeación (2017) afirma que La localidad de Puente Aranda, cuenta con una Población en Edad para Trabajar (PET) de 197.201 personas. A partir de este número se tienen otros dos indicadores como Población Económicamente Activa (PEA) con 122.354 personas y Población Económicamente Inactiva (PEI) con 74.847 personas. El número de ocupados (112.481) y desocupados (9.873), representan el 2,9% y 3% respectivamente de la ciudad de Bogotá. Asimismo, la Tasa global de participación (TGP) para Puente Aranda fue de 62% superando a la tasa de Bogotá de 61%. En la Figura 18 se presenta la distribución geográfica de los empleos para la localidad de Puente Aranda.

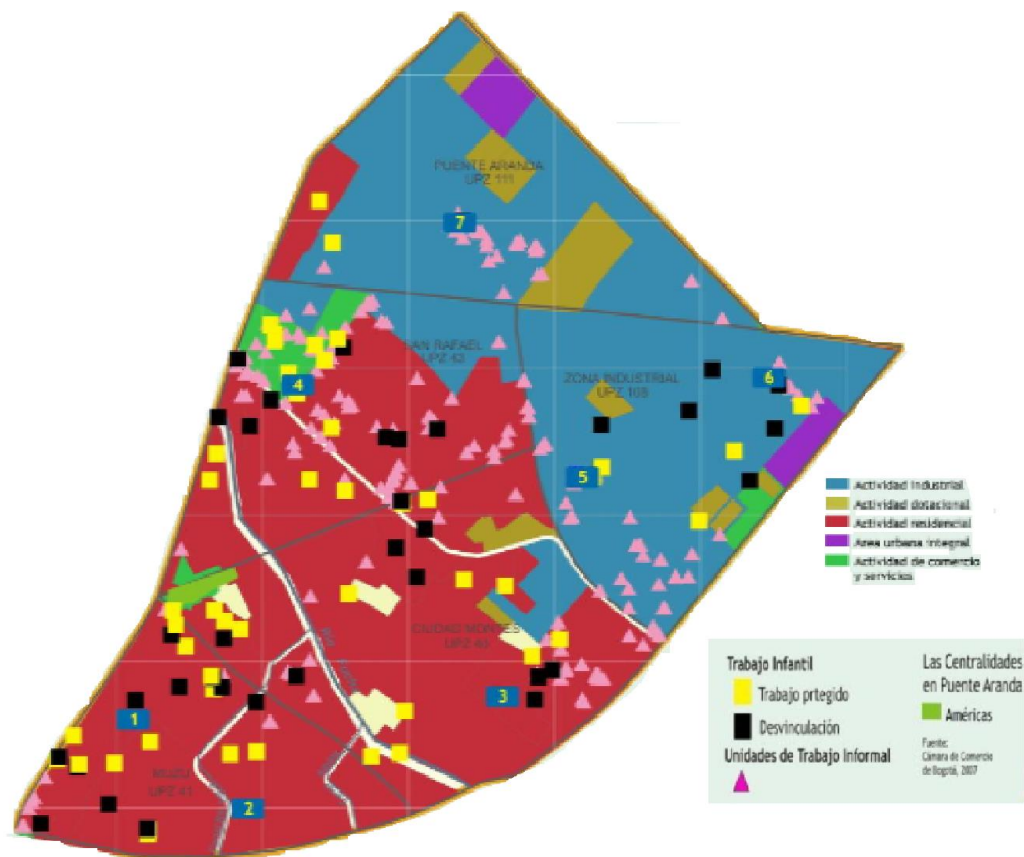


Figura 18. Distribución geográfica de empleos en la localidad de Puente Aranda. Adaptado de Hospital del Sur (2010).

Movilidad vehicular, incluyendo velocidad y desplazamientos diarios

Según la Secretaría de Planeación (2017), los habitantes de la localidad de Puente Aranda realizan más de 619.000 viajes diarios, el 28% utiliza SITP o el bus tradicional, el 28,5% se desplaza a pie, el 10,8% se desplaza en Transmilenio, el 10,6% se desplaza en automóvil particular, el 6,7% se desplaza en motocicletas y el 5,5% se desplaza en taxis. El tiempo de desplazamiento reportado para esta localidad se presenta de acuerdo al estrato socioeconómico, de esta manera el estrato 1 representa el mayor tiempo de desplazamiento con 41 minutos, seguido por el estrato 2 con 34,3 minutos y por último el estrato 3 con 38,3 minutos (Secretaría de Planeación, 2017). A continuación, en la Figura 19, se presentan las velocidades promedio anuales de los principales corredores viales de la ciudad de Bogotá.

	2012	2013	2014	2015	% 2015 - 2014
Av NQS	30,18	29,17	31,77	25,82	-18,73%
Av Boyacá	30,17	33,80	33,48	27,69	-17,31%
Av Circulvalar	33,82	37,32	34,35	23,12	-32,71%
Av Ciudad De Cali	23,61	24,51	23,10	21,81	-5,60%
Av Americas	26,79	26,15	25,13	24,40	-2,90%
Av 1 De Mayo	22,57	26,15	25,13	24,40	-2,90%
Av 68 Y Cl 100	27,75	25,18	23,88	19,94	-16,48%
Ak 7	23,41	25,16	24,95	23,23	-6,90%
Av Suba	24,48	25,21	22,99	23,15	0,72%
Ac 80	25,25	25,66	25,43	17,38	-31,65%
Ac 26	39,95	45,57	48,55	39,93	-17,76%
Ak 10	17,78	17,88	16,82	15,69	-6,75%
Ac 19	17,15	18,00	17,55	16,65	-5,10%
Ac 53	16,04	18,68	17,55	16,65	-5,10%
Av La Esperanza	23,93	24,76	26,07	22,44	-13,90%
Ac 170	28,33	26,74	26,98	23,58	-12,61%

Figura 19. Promedio anual de velocidad para corredores viales de Bogotá. Secretaría Distrital de Movilidad (2015).

En la Figura 19 se presentan tres corredores viales que hacen parte de la Localidad de Puente Aranda, los cuales son la Avenida NQS, Avenida Américas y Avenida 1 de Mayo, cada uno con velocidades promedio para el año 2015 de 25,82 Km/h, 24,40 Km/h y 24,40Km/h, respectivamente. De esta manera se evidencia que la velocidad promedio de los vehículos es baja y por lo tanto el consumo de combustible y la generación de emisiones es menor, sin embargo, la congestión vehicular no permite una aceleración constante, produciendo mayor generación de emisiones al momento de acelerar y desacelerar los vehículos (University College London y Universidad de los Andes, 2013).

Tipo de viviendas e índice de población

De acuerdo con Castillo (2013), en la Localidad de Puente Aranda predomina el estrato 3 con una representación del 85,25% y estrato 2 con una representación del 14,75%. Así mismo se identifica la vivienda de No Propiedad Horizontal (NPH) y la vivienda de Propiedad Horizontal (PH) con una representación de 41632 unidades (78,85%) y 11169 unidades (21,15%) respectivamente. La vivienda NPH tiene un área promedio de 237 a 357 m^2 , mientras que la vivienda PH tiene un área promedio de 62 a 145 m^2 .

La Secretaría Distrital de Planeación (2017) afirma que la población de la Localidad de Puente Aranda presentó una tendencia decreciente para el periodo 2014 - 2017, esto se determinó a partir de la Tasa de Crecimiento Demográfico (TCD) presentando un valor para el año 2014 de 0,02% mientras que para el año 2017 se presentó un valor de -1,48%, de esta manera la variación es de -1,50 puntos porcentuales para este periodo.

Ubicación de los servicios de saneamiento básico.

La caracterización de los servicios de saneamiento básico se basó en el informe de la Alcaldía Mayor de Bogotá (2004). La Localidad de Puente Aranda conforma la zona operativa 3 de la Empresa de Acueducto de Bogotá, de esta manera se abastece del sistema de captación Tunjuelo. Por otro lado para las redes matrices de distribución se abastece de los sistemas Wiesner y Tibitoc. El alcantarillado de la Localidad de Puente Aranda hace parte de la cuenca del río Fucha y todos los canales que atraviesan la localidad reciben las aguas residuales. La disposición final de residuos sólidos se lleva a cabo en el Relleno Sanitario Doña Juana ubicado en el Km 5 vía al Llano (Veeduría Distrital, 2018).

Localidad	Transmilenio		Buses del SITP		Bus, buseta o colectivo		Automóvil de uso particular		Taxi		Motocicleta		Bicicleta		A pie		Bicitaxi o mototaxi		No se desplaza	
	2014	2017	2014	2017	2014	2017	2014	2017	2014	2017	2014	2017	2014	2017	2014	2017	2014	2017	2014	2017
Usaquén	28,7	24,9	24,3	19,9	23,0	7,3	34,2	31,4	10,5	6,9	2,5	3,8	3,9	6,8	13,5	12,2	0,1	0,2	5,4	13,1
Chapinero	13,8	17,2	14,2	18,3	13,0	6,7	35,6	32,3	17,0	15,3	2,8	2,8	4,3	5,7	24,6	20,7	0,1	0,1	8,9	10,8
Santa Fe	31,8	30,4	13,6	24,5	28,5	14,1	6,5	6,9	4,4	6,3	5,1	4,5	2,1	2,9	28,4	31,9	0,0	0,2	7,4	11,9
San Cristóbal	40,6	46,9	15,8	37,1	36,2	20,0	3,8	5,3	1,7	3,2	7,8	6,5	1,9	1,5	15,3	11,8	0,0	0,0	6,5	11,5
Usme	39,0	53,1	17,1	27,4	26,4	16,3	3,1	2,2	1,2	2,0	8,0	4,8	1,3	1,4	15,1	13,6	0,0	0,1	7,9	12,1
Tunjuelito	28,2	33,9	12,9	19,9	27,2	15,3	10,5	8,9	4,0	2,0	6,9	6,4	5,6	4,7	15,0	16,8	0,1	0,0	8,6	12,2
Bosa	32,3	36,8	16,5	25,8	26,0	14,3	4,4	4,5	2,1	1,6	7,6	7,0	10,1	8,2	13,8	12,9	0,1	0,1	8,6	9,8
Kennedy	25,9	29,6	21,0	26,9	30,2	12,9	11,9	11,2	5,3	3,0	5,6	7,4	5,8	7,0	19,6	14,2	0,3	0,4	8,0	11,2
Fontibón	12,7	19,0	10,9	19,7	37,6	27,8	23,8	24,2	8,4	8,0	5,3	5,3	8,0	6,9	13,2	13,7	0,1	0,1	6,5	8,5
Engativá	31,8	33,3	17,6	25,1	23,4	11,4	15,1	13,1	5,8	3,4	6,2	7,0	6,4	7,8	14,1	11,0	0,2	0,1	7,6	11,8
Suba	32,2	35,1	7,6	15,4	23,7	16,5	21,0	19,1	5,0	6,0	6,9	7,2	7,2	8,4	10,5	11,6	0,0	0,2	7,2	8,6
Barrios Unidos	26,6	26,3	13,6	23,1	18,4	10,3	17,2	26,4	11,3	11,1	4,6	4,5	4,8	7,5	24,9	15,8	0,0	0,0	13,3	12,8
Teusaquillo	22,6	20,2	14,6	16,9	18,6	11,0	34,0	39,3	15,3	14,8	2,4	1,6	4,3	5,6	18,7	13,4	0,1	0,0	8,6	11,5
Los Mártires	29,0	29,4	14,9	23,6	20,6	15,3	8,6	13,3	6,0	10,8	3,0	4,0	3,3	5,0	32,4	26,3	0,0	0,2	14,1	17,0
Antonio Nariño	30,3	41,6	8,0	24,2	22,1	18,7	14,0	15,1	6,6	4,2	4,9	5,2	3,6	3,7	24,4	15,8	0,0	0,1	8,5	16,1
Puente Aranda	21,4	23,7	25,1	28,6	34,0	14,8	16,1	15,2	6,1	5,1	4,3	7,1	2,8	5,5	15,5	15,2	0,1	0,1	9,3	12,9
La Candelaria	21,9	27,5	6,2	18,5	20,9	12,6	6,4	9,5	6,6	10,4	4,2	2,9	3,1	6,2	39,5	37,6	0,0	0,0	11,3	14,2
Rafael Uribe Uribe	40,9	45,8	14,9	27,5	22,4	14,6	4,8	6,0	3,7	3,3	6,4	6,9	2,7	2,8	15,0	12,9	0,1	0,1	10,2	12,1
Ciudad Bolívar	34,2	36,3	18,7	27,1	30,0	24,7	3,5	4,2	1,8	1,7	6,0	7,7	2,9	3,8	11,2	14,1	0,1	0,2	11,0	9,2
Bogotá	30,1	33,1	15,9	23,7	26,5	15,4	14,3	14,3	5,4	4,8	5,9	6,4	5,4	6,3	15,5	13,6	0,1	0,2	8,3	10,9

Figura 21. Cuadro de porcentajes de la población ocupada según el medio de transporte. Secretaría Distrital de Planeación (2017)

Base de datos de industrias locales

La Secretaría Distrital de Planeación (2017), a partir del diagnóstico de los principales aspectos territoriales, de infraestructura, demográficos y socioeconómicos, establece la dinámica empresarial de la Localidad de Puente Aranda que será descrita a continuación. La Localidad de Puente Aranda a diciembre de 2017 presenta un total de 36461 empresas con matrículas activas que representan el 5,1% del total de Bogotá, así mismo entre el 2016 y 2017 presentó un aumento del 2,2% de empresas con matrícula activa. De acuerdo a las UPZ de la Localidad de Puente Aranda, las empresas con matrícula activa se distribuyen de la siguiente manera: UPZ 40 - Ciudad Montes (28,6%), UPZ 43 - San Rafael (24,9%), UPZ 108 - Zona Industrial (19,2%), UPZ 41 - MUZU (17,5%) y UPZ 111 - Puente Aranda (9,7%). De acuerdo con los sectores productivos que se desarrollan en la Localidad de Puente Aranda, predomina el sector comercio (36,7%) seguido por el sector industrial (21%), como se presenta en la Figura 22.

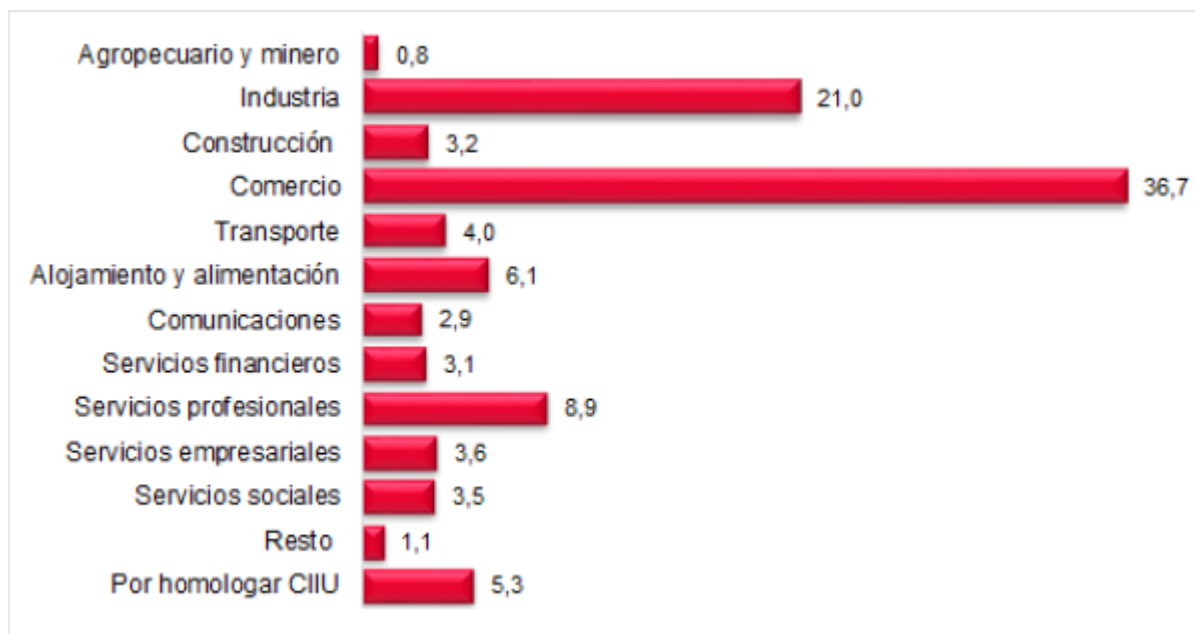


Figura 22. Sectores económicos de la Localidad de Puente Aranda, Bogotá. Secretaría Distrital de Planeación (2017).

Aspectos económicos y financieros de la autoridad ambiental

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca mediante la Licitación Pública No. 23 de 2017 destina recursos para la adquisición de equipos automáticos y manuales para el monitoreo y control de la calidad del aire. El presupuesto destinado es de \$6,164,738,812 y está amparado por los Certificados de Disponibilidad Presupuestal expedidos por la Dirección Administrativa y Financiera de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Este presupuesto está distribuido en cuatro grupos dentro de los cuales el grupo 1 denominado “Suministro e instalación de equipos automáticos para estaciones de monitoreo de calidad del aire” se ajusta al desarrollo del presente proyecto con una destinación de recursos de \$4,725,369,799.

Inventario de emisiones

Fuentes Móviles

Tipo, cantidad y calidad del combustible que se consume

La Unidad de Planeación Minero-Energética (2014), establece el consumo de combustible de acuerdo al tipo de combustible y al tipo de vehículo para la ciudad de Bogotá para el año 2014, esta información se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Estimación del consumo de combustible para la ciudad de Bogotá.

Tipo de vehículo	Gasolina corriente (KGAL)	Gasolina Extra (KGAL)	Diesel-ACPM (KGAL)	GNV (Miles de M ³)
Motocicleta	2.347	94	32	0
Automóvil	14.249	553	208	2.269
Taxi	3.368	4	23	15.419
Van	591	0	543	3.124
Bus	134	3	10.043	1.505

Moto de carga	35	0	9	0
Furgoneta	430	6	418	1.389
Camión	276	1	4.577	3.570
Volqueta	0	0	386	119
Tractocamión	27	50	5.516	0
Pick Up	1.269	19	503	4.244
Campero	6.603	342	568	3.752
Cuattrimotor	3	0	0	0
Maq. Agrícola	23	0	0	0
Otro	9	0	24	40
Total general	29.364	1.052	22.849	35.431

Fuente: Unidad de Planeación Minero-Energética, (2014).

Volumen y edad del parque automotor, tendencias de crecimiento

La Secretaría Distrital de Movilidad (2015) establece el volumen, el tipo de combustible y la edad del parque automotor hasta el año 2014 y posteriores, esta información se presenta para los vehículos particulares y de servicio público en las Figuras 23 y 24, respectivamente.

SERVICIO PARTICULAR	MODELO						
CLASE COMBUSTIBLE	1992 Y ANTERIORES	1993 A 1997	1998 A 2002	2003 A 2007	2008 A 2013	2014 Y POSTERIORES	TOTAL GENERAL
AUTOMÓVIL	176.484	120.044	62.206	179.105	384.173	152.396	1.074.408
Diésel	72	33	30	108	259	61	563
Diésel - Eléctrico	0	0	0	0	0	1	1
Eléctrico	0	0	1	1	29	71	102
Etanol	0	0	0	0	0	1	1
Gas - Gasolina	735	620	147	255	530	128	2.415
Gas Natural Vehicular	35	29	6	14	12	2	98
Gasolina	175.642	119.362	62.022	178.727	383.343	152.132	1.071.228
CAMIÓN	7.686	652	225	690	497	138	9.888
Diésel	1.581	287	136	417	341	104	2.866
Gas - Gasolina	191	19	0	2	0	0	212
Gas Natural Vehicular	6	1	0	0	0	0	7
Gasolina	5.908	345	89	271	156	34	6.803
CAMIONETA	43.007	27.318	10.905	21.170	90.773	66.111	259.284
Diésel	783	494	321	4.445	17.386	6.200	29.629
Diésel - Eléctrico	0	0	0	0	0	1	1
Eléctrico	0	0	0	0	0	2	2
Gas - Gasolina	1.413	1.896	508	566	1.082	393	5.858
Gas Natural Vehicular	19	23	2	10	13	6	73
Gasolina	40.792	24.905	10.074	16.149	72.292	59.506	223.718
Gasolina - Eléctrico	0	0	0	0	0	3	3
CAMPERO	30.055	22.049	12.011	38.549	81.183	24.460	208.307
Diésel	643	514	242	2.533	9.727	5.228	18.887
Gas - Gasolina	691	1.180	349	347	235	16	2.818
Gas Natural Vehicular	15	31	10	7	5	3	71
Gasolina	28.706	20.324	11.410	35.662	71.216	19.213	186.531
MOTOCICLETA	23.029	3.836	2.623	67.554	248.539	103.702	449.283
Diésel	0	0	0	0	1	4	5
Eléctrico	0	0	0	3	95	77	175
Gas - Gasolina	0	0	0	0	1	0	1
Gas Natural Vehicular	0	0	0	0	0	3	3
Gasolina	23.029	3.836	2.623	67.551	248.442	103.618	449.099
VOLQUETA	161	12	6	16	8	1	204
Diésel	55	9	4	12	4	1	85
Gasolina	106	3	2	4	4	0	119
TOTAL GENERAL	280.422	173.911	87.976	307.084	805.173	346.808	2.001.374

Figura 23. Cantidad de vehículos particulares en Bogotá. Secretaría Distrital de Movilidad (2015).

En la Figura 23 se evidencia que, para los vehículos particulares, el tipo de vehículo automóvil posee el mayor volumen con 1.074.408 unidades, dentro de los cuales el 99,7% consume gasolina. En cuanto a la edad se evidencia que la mayor cantidad de unidades son modelo 2008 a 2013, seguido por las unidades modelo 1992 y anteriores, de esta manera se evidencia que la edad de los automóviles no es reciente y así mismo esto se ve reflejado en una mayor cantidad de emisiones de contaminantes por la tecnología de combustión obsoleta (University College London y Universidad de los Andes, 2013). Las motocicletas son el segundo tipo de vehículo que posee el mayor volumen con 449.283 unidades, esto se ve reflejado en un importante aporte de gases de combustión en especial por las motocicletas de dos tiempos (Giraldo y Toro, 2008).

SERVICIO PÚBLICO		MODELO					
CLASE COMBUSTIBLE	1992 Y ANTERIORES	1993 A 1997	1998 A 2002	2003 A 2007	2008 A 2013	2014 Y POSTERIORES	TOTAL GENERAL
BUS	1.549	299	1.212	3.461	2.433	4.192	13.146
Diesel	498	272	1.210	3.459	2.408	3.920	11.767
Diesel - Eléctrico	0	0	0	0	20	266	286
Gas - Gasolina	3	0	0	0	0	0	3
Gas Natural Vehicular	0	0	1	1	0	0	2
Gasolina	1.048	27	1	1	5	5	1.087
Eléctrico	0	0	0	0	0	1	1
BUSETA	365	343	558	323	734	4	2.327
Diesel	90	253	550	323	729	4	1.949
Gas - Gasolina	12	9	0	0	0	0	21
Gas Natural Vehicular	2	1	0	0	0	0	3
Gasolina	261	80	8	0	5	0	354
MICROBÚS	555	2.422	1.412	1.884	1.240	176	7.689
Diesel	41	473	1.059	1.829	1.196	115	4.713
Gas - Gasolina	39	278	63	13	1	0	394
Gas Natural Vehicular	2	9	0	1	0	0	12
Gasolina	473	1.662	290	41	43	61	2.570
TOTAL GENERAL	2.469	3.064	3.182	5.668	4.407	4.372	23.162

Figura 24. Cantidad de vehículos del servicio público en Bogotá. Secretaría Distrital de Movilidad (2015).

En la Figura 24 se evidencia que los buses son el tipo de vehículo de servicio público que mayor volumen posee con 13.146 unidades, de los cuales el 89,5% consume combustible diesel y la mayor cantidad de unidades son modelo 2014 y posteriores. De esta manera, los vehículos de servicio público tienen una edad más reciente comparada con los vehículos particulares y por lo tanto poseen mejores tecnologías de combustión, sin embargo, la mayoría consume diesel y el problema radica en la presencia de azufre en el combustible (University College London y Universidad de los Andes, 2013).

Calidad del combustible

Según Arango (2009), para conocer la calidad del combustible se debe tener en cuenta aspectos como el contenido de azufre, la presencia de aromáticos y la emisión de material particulado. De esta manera Guzmán (2014), afirma que en Bogotá el contenido de azufre en la gasolina y diesel ha disminuido. La gasolina en el periodo 1991-2010 contaba con 1000 ppm de azufre, para el periodo 2011-2013 contaba con 300 ppm y para el periodo 2014-2018 contaba con 150 ppm, además estableció una proyección para el periodo 2019 -2030 de 50 ppm. En cuanto al diesel para el periodo 1991-2006 contaba con 4500 ppm de azufre, para el periodo 2009-2009 contaba con 500 ppm y para el periodo 2010-2018 contaba con 50 ppm, de igual manera estableció una proyección para el periodo 2019-2030 de 10 ppm.

Distribución del transporte urbano

La Secretaría Distrital de Planeación (2017) presenta la distribución del transporte urbano de la siguiente manera: el 28% utiliza SITP o bus tradicional, el 28,5% se desplaza a pie, el 10,8% utiliza Transmilenio, el 10,6% utiliza automóvil particular, el 6,7% se utiliza motocicletas y por último los taxis tienen una participación del 5,5% de la totalidad de los viajes.

Estado actual y uso de las vías principales

Según la Secretaría Distrital de Planeación (2017), la localidad de Puente Aranda posee 59 Km de vías lineales, de las cuales el 74,7% están construidas, el 15,2% están parcialmente construidas y el 10,1% se encuentran sin construir. En la Figura 25 se presenta el estado actual de las vías de la Localidad de Puente Aranda.

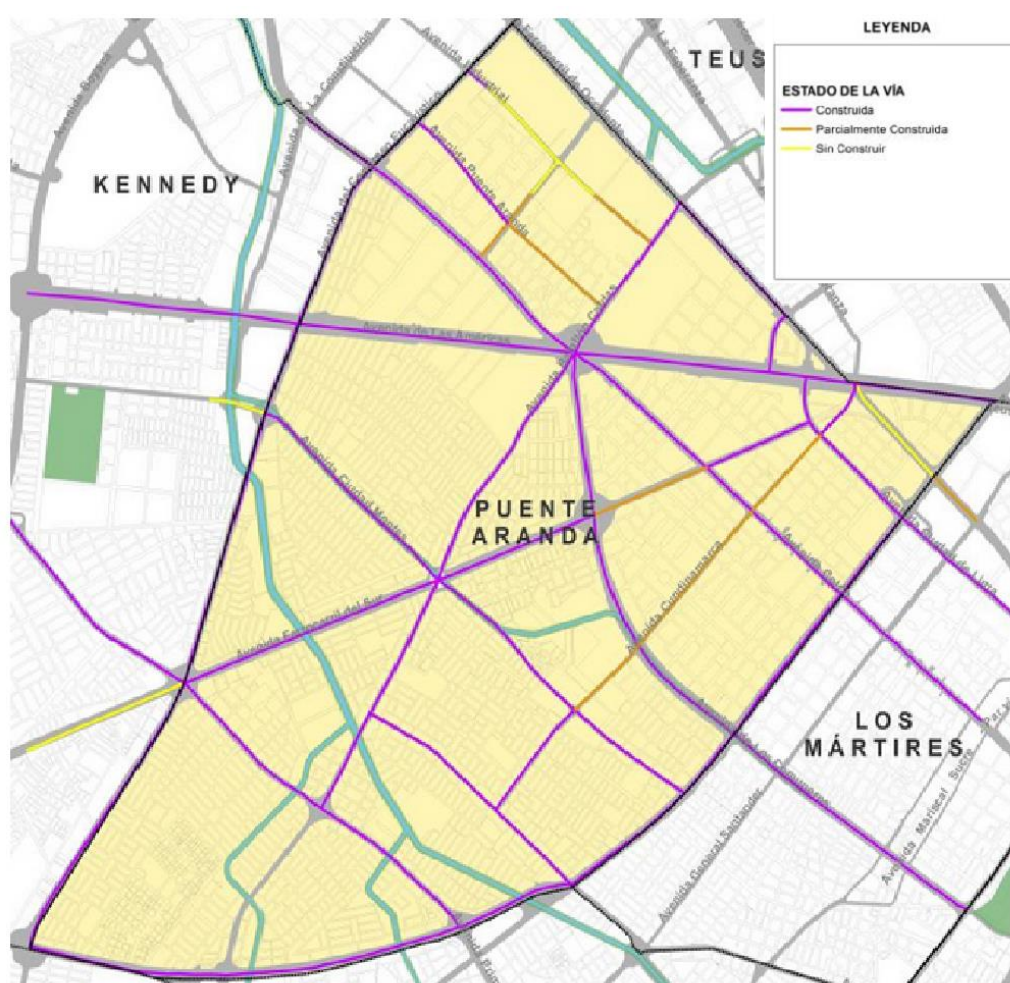


Figura 25. Mapa de estado actual de vías localid de Puente Aranda. Secretaría Distrital de Planeación (2017)

De igual manera la Secretaría Distrital de Planeación (2017) establece el uso de las vías para la Localidad de Puente Aranda de acuerdo a los diferentes tipos de la siguiente manera: a) Malla vial arterial principal, son de soporte para la movilidad y accesibilidad metropolitana, son de tipo V-0 y V-1. b) Malla vial arterial complementaria, son vías que ayudan articular la malla vial arterial principal, son de tipo V-2, V-3 y V3E. Así mismo las vías se clasifican en lineales con 59 km y de

carril con 276,7 km en total, siendo estos dos tipos equivalentes, esta información se presenta a continuación en la Figura 26.

Localidad	V-0		V-1		V-2		V-3		V-3E		V-4R		Total km lineales	Total km carril
	Km Lineales	Km Carril	Km Lineales	Km Carril	Km Lineales	Km Carril	Km Lineales	Km Carril	Km Lineales	Km Carril	Km Lineales	Km Carril		
Usaquén	15,2	91,3	6,9	41,6	46,1	184,3	35,3	141,0	0,0	0,0	8,1	24,4	111,6	482,6
Chapinero	0,0	0,0	0,4	2,4	9,4	37,8	13,4	53,4	6,1	24,5	0,0	0,0	29,3	118,1
Santa Fé	0,8	4,6	0,0	0,0	7,5	30,2	3,3	13,3	1,3	5,2	0,0	0,0	12,9	53,3
San Cristóbal	0,0	0,0	0,4	2,5	4,2	16,9	17,9	71,4	3,5	14,1	5,6	16,7	31,6	121,7
Usme	0,0	0,0	11,9	71,6	34,8	139,4	22,0	88,1	0,0	0,0	4,1	12,3	72,9	311,3
Tunjuelito	0,0	0,0	10,6	63,5	11,7	46,9	5,5	21,9	0,0	0,0	0,0	0,0	27,8	132,4
Bosa	4,0	24,0	5,7	34,1	16,8	67,0	24,5	98,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,9	223,1
Kennedy	15,6	93,5	18,8	112,5	13,0	51,9	29,3	117,2	0,0	0,0	0,0	0,0	76,6	375,2
Fontibón	11,2	67,5	34,8	208,6	3,4	13,5	19,7	78,8	0,6	2,3	0,0	0,0	69,7	370,7
Engativá	7,0	41,9	11,9	71,4	24,8	99,4	22,3	89,0	1,5	6,2	0,0	0,0	67,5	307,9
Suba	17,4	104,7	22,3	133,6	27,9	111,6	29,0	116,2	0,0	0,0	27,0	81,0	123,7	547,1
Barrios Unidos	2,4	14,4	10,7	64,4	16,0	64,1	15,2	61,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,4	203,9
Teusaquillo	9,3	55,6	5,0	30,1	14,3	57,3	14,5	57,9	0,0	0,0	0,0	0,0	43,1	200,9
Los Mártires	0,4	2,2	2,9	17,6	8,4	33,4	10,2	40,7	0,0	0,0	0,0	0,0	21,8	93,9
Antonio Nariño	0,0	0,0	1,5	9,0	8,3	33,2	10,8	43,2	0,0	0,0	0,0	0,0	20,6	85,4
Puente Aranda	6,3	37,7	14,0	83,9	18,3	73,2	18,7	75,0	1,7	6,9	0,0	0,0	59,0	276,7
Candelaria	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	9,7	2,7	11,0	9,4	37,5	0,0	0,0	14,5	58,1
Rafael Uribe Uribe	0,0	0,0	0,0	0,0	21,2	84,9	9,7	39,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,0	123,9
Ciudad Bolívar	0,0	0,0	13,2	79,1	4,5	18,2	13,6	54,2	7,6	30,3	1,1	3,2	39,9	184,9
Total Bogotá	89,5	537,2	171,0	1026,1	293,2	1172,9	317,6	1270,3	31,8	127,1	45,9	137,6	949,0	4271,1

Figura 26. Distribución de kilómetros lineales y carril según el tipo de vía. Secretaría Distrital de Planeación (2017).

Inventario de emisión de Fuentes Fijas

Fuente Fija Puntual

Según la Universidad de los Andes (2009), la localidad de Puente Aranda presenta el mayor número de calderas con más de 200 unidades y el segundo mayor número de hornos con más de 150 unidades, en comparación con las demás localidades. De esta manera en la Figura 27 se presenta la distribución de las calderas y los hornos en la ciudad de Bogotá distribuido por localidades.

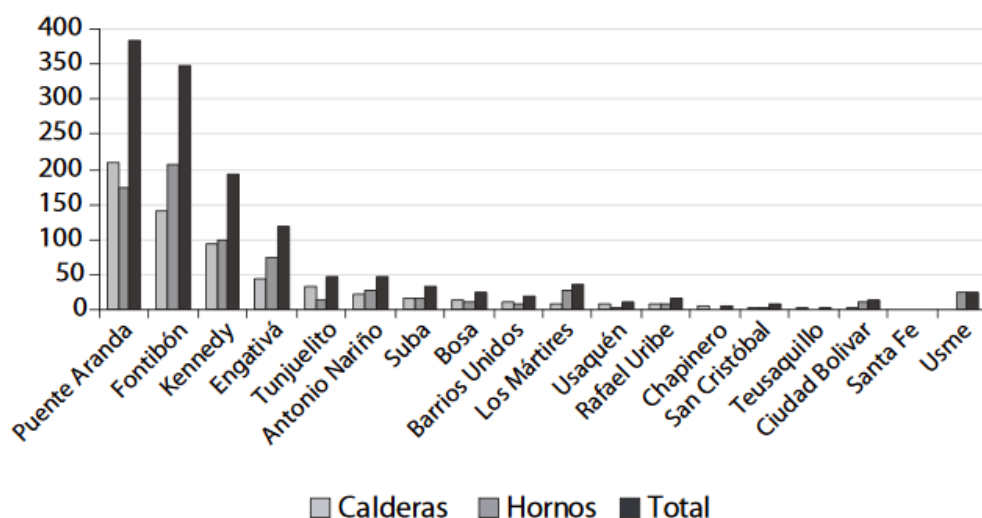


Figura 27. Distribución de hornos y calderas para la ciudad de Bogotá. Universidad de los Andes, (2009).

De igual manera la Universidad de los Andes (2009), afirma que la Localidad de Puente Aranda posee 131 ductos de chimeneas posibles y 402 ductos en plena identificación, siendo el registro más alto de las localidades de la ciudad de Bogotá.

Estudio Micro meteorológico y/o Meteorológico Preliminar

La tendencia de vientos anuales durante los últimos 5 años se determinó a partir del Informe Anual de Calidad del Aire publicado por la Secretaría Distrital de Ambiente (2018). En este informe se utilizaron los registros históricos de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y se estableció la tendencia multianual de los vientos, como se presenta a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Tendencia multianual de los vientos para Puente Aranda

Estación	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio
Puente Aranda	2,1	2,3	2,1	1,9	2,2	2,1

Adaptado de: Secretaría Distrital de Ambiente, (2018).

La rosa de vientos diurna y nocturna se determinó para las fracciones del día, madrugada, mañana, tarde y noche. Dichas fracciones fueron consideradas de la siguiente manera, madrugada de las 0-6 am, mañana de las 6am-12m, tarde de las 12m-6pm y noche de las 6 pm- 0. Cabe aclarar que los datos presentados en la Tabla 9 son promedio del año 2018 para cada fracción del día.

Tabla 9. Velocidad y dirección del viento para Puente Aranda 2018.

Estación	Velocidad promedio del viento (m/s)				Dirección promedio del viento (°)			
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche
Puente Aranda	1,2	2,1	3,7	2,0	292	179	208	234

Adaptado de: Secretaría distrital de ambiente, 2018

Las variaciones mensuales de los vientos se determinaron a partir del comportamiento mensual de la velocidad del viento para el año 2018, como se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Comportamiento mensual de los vientos para el año 2018.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
1,5	1,6	1,5	1,2	1,3	1,8	1,9	2,1	1,8	1,5	1,4	1,7	1,6

Adaptado de: Secretaría distrital de ambiente, 2018

Tendencias de precipitación durante los últimos años

La tendencia de precipitación se determinó a partir de la base de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente filtrando la información para los últimos 5 años y para la Estación de Puente Aranda, como se presenta a continuación en la Tabla 11 y la Figura 28.

Tabla 11. Tendencia de precipitación por mes para los últimos 5 años de la Estación Puente Aranda, Bogotá

Mes	Precipitación (mm)			
	2015	2016	2017	2018
Enero	0.74	0.12	0.99	1.17
Febrero	0.64	0.44	3.06	0.76
Marzo	2.55	2.56	4.92	2.92
Abril	1.62	4.57	1.69	5.54
Mayo	0.99	2.62	6.90	4.20
Junio	1.36	0.95	3.33	0.99
Julio	0.03	1.02	0.31	1.63
Agosto	0.34	1.56	1.94	1.21
Septiembre	0.63	2.50	1.15	0.89
Octubre	1.43	3.74	1.95	2.25
Noviembre	2.68	5.24	4.85	3.95
Diciembre	0.07	1.90	1.64	0.04

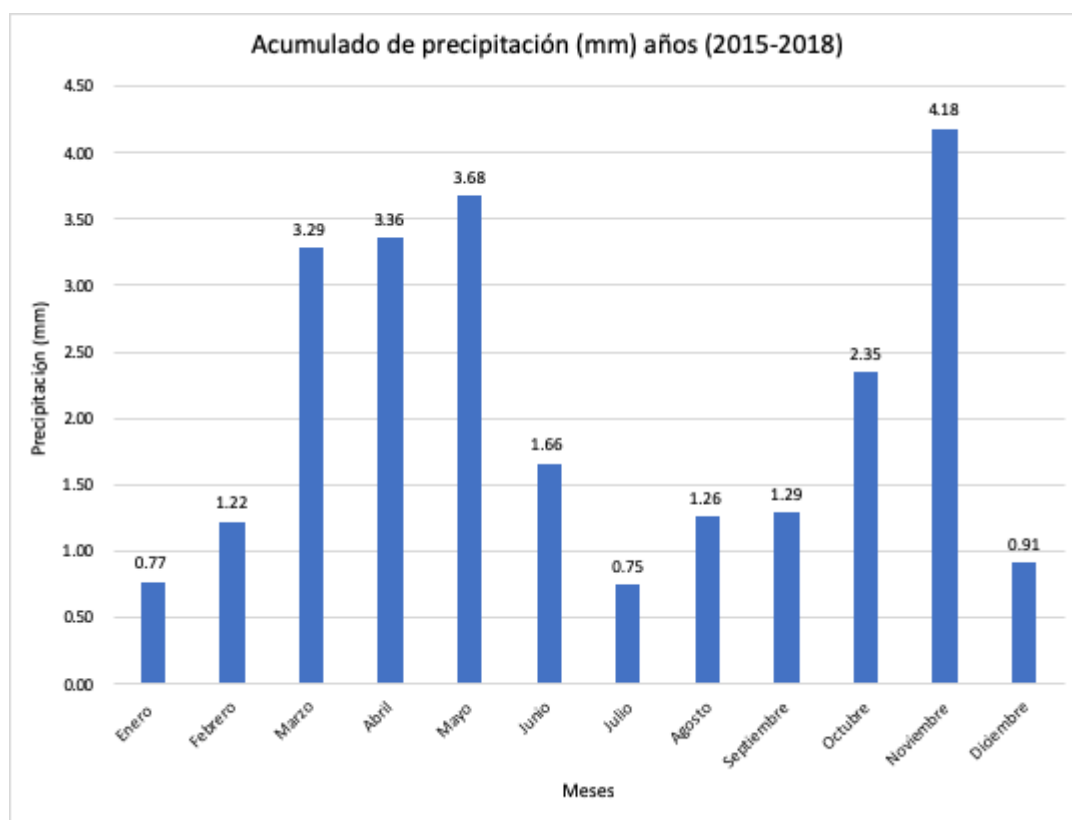


Figura 28. Tendencia de precipitación por mes para los últimos años de la Estación Puente Aranda, Bogotá. Autores.

Identificación de épocas secas y húmedas

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2007), a partir de una caracterización climática de Bogotá establece que se presentan épocas húmedas o lluvias altas en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, mientras que las épocas secas o bajas lluvias se presentan en los meses de enero, febrero, julio y agosto. Los demás meses se comportan en forma de transición presentando fluctuaciones entre épocas húmedas y secas.

Campaña de monitoreo preliminar

Una vez elaboradas las gráficas Polar Plot de dispersión del contaminante material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en el primer objetivo, se procedió a georreferenciar estas gráficas mediante el programa Google Earth Pro, superponiendo las coordenadas $4^{\circ}37'54.36''N$ y $74^{\circ}7'2.94''W$ de la Estación de Puente Aranda y las coordenadas (0,0) de las gráficas Polar Plot. Como resultado se obtuvo la distribución espacio temporal del PM_{10} y del $PM_{2.5}$ en las Figuras 29 y 30 respectivamente.

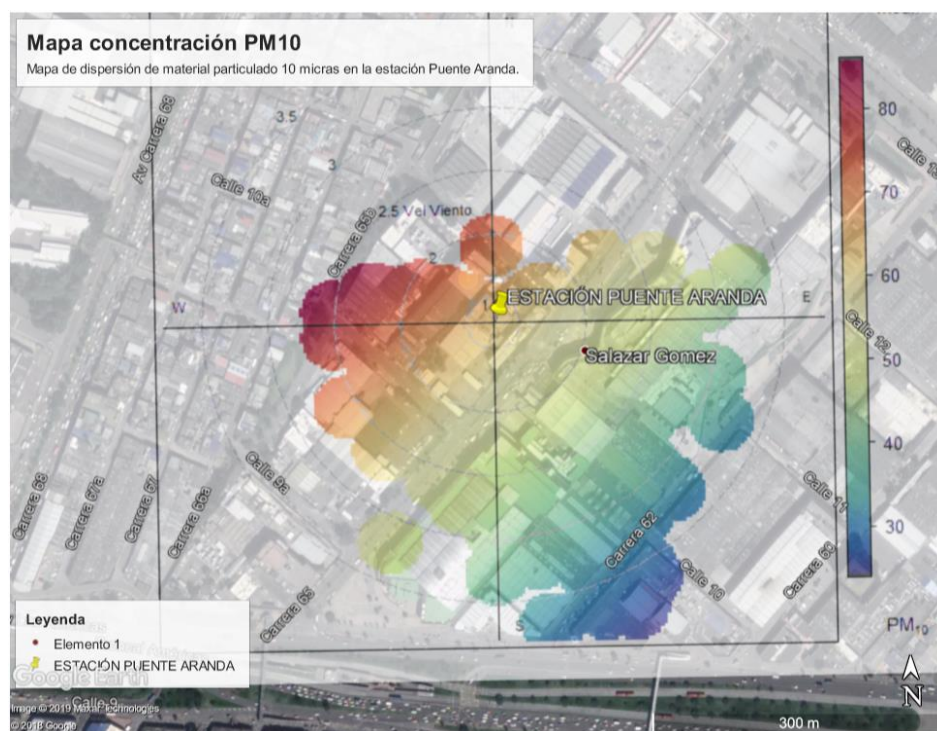


Figura 29. Distribución espacio temporal del contaminante PM_{10} en la estación Puente Aranda, Autores.

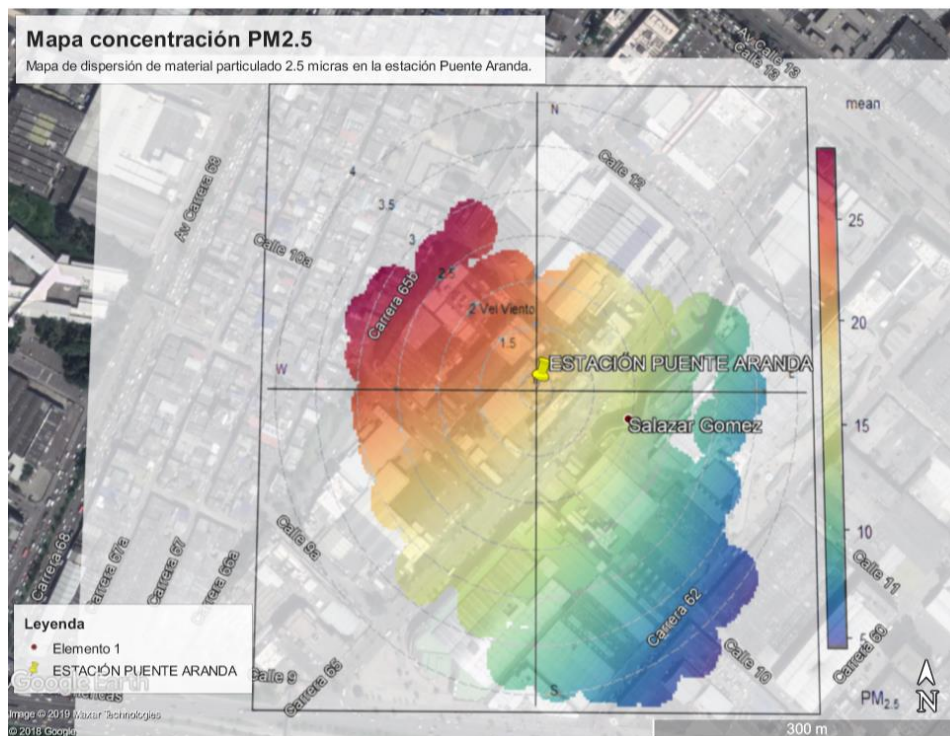


Figura 30. Distribución espacio temporal del contaminante PM_{2.5} en la estación Puente Aranda, Autores.

Las Figuras 29 y 30 presentan una dispersión similar del contaminante, en las cuales en el II cuadrante se presenta el área de mayor influencia con concentraciones que sobrepasan el límite establecido por la Resolución 2254 de 2017 (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) y por la Organización Mundial de la Salud (2005). En la Figura 29, se observa que el área de mayor influencia para PM₁₀ está delimitada por la Calle 10a y la Carrera 65b mientras que en la Figura 30, se observa que el área de mayor influencia para PM_{2.5} está delimitada por la Carrera 66a y la Calle 11.

Definición de SVCA

Una vez realizada la revisión inicial se establece que el Sistema Especial de Vigilancia de la Calidad del Aire (SEVCA) se ajusta al alcance del presente proyecto debido a que está dirigido a una población afectada por fuentes de emisión de gran magnitud (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Este tipo de sistema tiene el objetivo de evaluar el riesgo para la salud humana y activar procedimientos de control en situaciones de emergencia. El sistema de vigilancia debe contar con instrumentos meteorológicos, sin embargo, la estación actual de monitoreo de Puente Aranda posee estos instrumentos, de manera que se tendrán en cuenta para la toma de datos, debido a que la microred será un complemento de la estación existente.

Respecto al número de estaciones se tendrá como mínimo una estación de fondo, es decir, no está influenciada directamente por una fuente o por la calle, sino por la contribución de las fuentes que influyen por el régimen de viento. Asimismo, los componentes del SEVCA que presenta son el **hardware**, estaciones de calidad del aire fijas, el **software**, gestión de información y **reportes**, mediante una página web con actualización semanal. Este diseño se deberá revisar cada dos años. A continuación, se presenta la Tabla 12 con los criterios de ubicación para el diseño de la micro red propuesta.

Tabla 12. Criterios para ubicar toma de muestras.

Contaminante	Escala de vigilancia	Altura desde el piso a la toma muestra horizontal o vertical, u 80% de la altura hasta el camino de medición (metros)	Distancia desde estructuras de soporte hasta la toma muestra horizontal o vertical, o 90 % de la distancia al camino de medición (metros)	Distancia desde la toma muestra o desde el camino de medición a los árboles cercanos (metros)
PM ₁₀ y PM _{2,5}	Micro	2-7	>2 (solo distancia horizontal)	>10

Adaptado de: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010

Selección de técnicas de medición

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010) establece que para el diseño de SEVCA se selecciona la técnica de analizadores automáticos, debido a que proporcionan mediciones de tipo puntual con alta eficacia y los datos pueden ser transmitidos en tiempo real. Además, proporcionan un cubrimiento temporal muy amplio y con poco personal operacional. Para mantener esos estándares que ofrece esta técnica, se tiene que asegurar un alto mantenimiento y de operación. El manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire establece dos tipos de equipos para la medición de PM₁₀ y PM_{2,5}, tipo atenuación de radiación beta y microbalanza oscilante de elemento cónico. El analizador beta toma las partículas almacenadas en el filtro y calcula el peso de las partículas por la absorbancia de los rayos beta, mientras que el método microbalanza oscilante de elemento cónico está basado en la relación física entre la masa depositada en el filtro y la frecuencia de vibración.

En la Figura 31 se presenta un cuadro comparativo de las metodologías propuestas por el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia que tienen en cuenta los diversos grados de utilización, los objetivos de medición y los recursos económicos disponibles. Los valores del 1 al 3 indican la utilidad de la metodología siendo 3 la tecnología más recomendada para alcanzar los objetivos propuestos y 1 la menos recomendada.

OBJETIVOS	METODOLOGÍAS				
	MUESTREADOR PASIVO	MUESTREADOR ACTIVO	ANALIZADOR AUTOMÁTICO	SENSOR REMOTO	BIO-INDICADOR
Vigilar el cumplimiento de las normas de calidad de aire.	1	3	3	1	
Implementación de planes de contingencia	1	3	3	2	
Alertas ambientales: vigilancia de valores Máximos	1	2	3	2	
Investigación del transporte de contaminantes atmosféricos.	2	2	1	3	2
Barrido de contaminantes en una trayectoria	2	3			
Rastreo de tendencias temporales de calidad de aire	2	1	3	3	1
Medición del impacto de las medidas de control en la calidad del aire	3	3	3	2	1
Calibración y evaluación de modelos de dispersión	1	2	3	3	
Efectos de la contaminación atmosférica global. Inventario de efectos	2	2	2	1	3
Estudios de Salud Pública	3	3	1	1	
Medición de concentraciones de fondo	3	2	1	3	
Medición perimetral a industrias que generan contaminantes peligrosos	1	2	3	3	1

Figura 31. Comparación de metodologías para la vigilancia de calidad del aire. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2010).

Para la ubicación de uno o dos equipos de medición el manual propone una infraestructura sencilla como se presenta en la Figura 32.

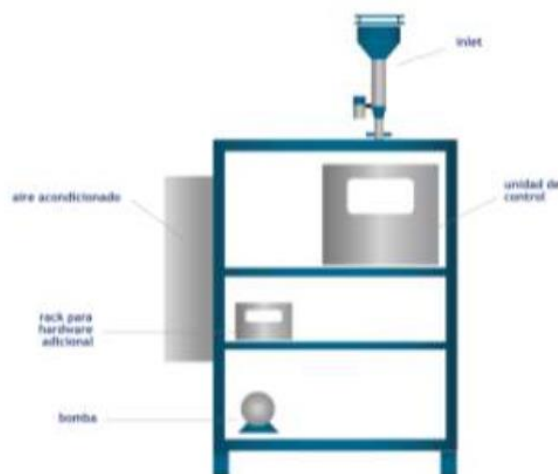


Figura 32. Infraestructura estación automática. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2010).

Se encontró tres tipos de equipos los cuales son Thermo Model 5028i (PM₁₀ - PM_{2.5}), Thermo Model 5014i para PM₁₀ y Thermo Model 5014i para PM_{2.5}. Se realizó la comparación de la tecnología que constituye cada instrumento y se determinó que presentan la misma tecnología de medición. El equipo 5028i sobresale entre los otros dos equipos en eficiencia debido que mide los dos contaminantes en un solo instrumento, de acuerdo con la cotización y las fichas generadas por la empresa High Tec Environmental LTDA. Los costos de estos dispositivos se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Costos de equipo de monitoreo de calidad del aire

Equipos de acuerdo a la cotización de High Tec Environmental LTDA	Valor
Monitor de partículas continuo DUAL BETA, Marca Thermo, Modelo 5028i para PM-10 y PM-2.5	209.879.000
Kit de repuestos recomendados para BETA DUAL	6.330.413
El Monitor de partículas continuas Beta, Marca Thermo Scientific, modelo 5014i ABEC Para PM ₁₀	102.600.000
El Monitor de partículas continuas Beta, Marca Thermo Scientific, modelo 5014i Para PM _{2.5}	113.073.000
Kit de repuestos recomendados para BETA individual	6.436.807

Objetivo 3: Consolidar el diseño de la microrred de vigilancia para el contaminante material particulado con el fin de informar a la población los niveles de contaminación a los que son expuestos

Para el diseño de la microrred se definió el equipo tipo atenuación de radiación beta de la marca Thermo Scientific Model 5028i, el cual posee dos sistemas de detección separados en el instrumento que miden el material particulado de 10 y 2.5 micras. La cinta de filtro avanza en un patrón continuo, en comparación con la medición paso a paso, lo que resulta en la mitigación de pérdidas de partículas. Asimismo, el volumen de la cinta de filtro disminuirá su reemplazo y permitirá un mayor periodo de funcionamiento. Además, tiene una precisión para reducir el sesgo de información por el agua, debido que mantiene la temperatura de la muestra por debajo del umbral de humedad relativa.

El sistema de vigilancia se basa en el Decreto 595 de 2015 el cual define el Sistema de Alertas Tempranas Ambientales de Bogotá para el componente aire (SATAB-aire). Además, se tiene como referencia la Secretaría Distrital de Ambiente, la cual es la encargada del desarrollo de protocolos de emergencia en coordinación con la Secretaría Distrital de Salud, Secretaría Distrital de Movilidad, Secretaría Distrital de Hábitat y el Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático. De igual manera, el sistema de vigilancia se tiene como referencia los umbrales de prevención, alerta y emergencia del Índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA), se define en la Resolución 2410 de 2015. A continuación, en la Tabla 14 se presentan los atributos del Índice Bogotano de Calidad del Aire de acuerdo a los rangos de concentración para el contaminante material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}.

Tabla 14. Índice Bogotano de calidad del aire

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante	
Rangos Numéricos	Color	Estado de la calidad del aire	Estado de actuación y respuesta	PM₁₀ 24 h ($\mu g/m^3$)	PM_{2.5} 24 h ($\mu g/m^3$)
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	0 - 54	0 - 12
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	55 - 154	12,1 - 35,4

20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta amarilla	155- 254	35,5 - 55,4
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta naranja	255 - 354	55,5 - 150,4
40,1 - 60	Rojo	Muy mala	Alerta roja	355 - 424	150,5 - 250,4
60,1 - 100	Morado	Peligrosa	Emergencia	425 - 604	250,5 - 500,4

Adaptado de: Secretaría Distrital de Ambiente, 2019.

Una vez establecidos los atributos del IBOCA se establecen las medidas preventivas para la protección de la salud de la población afectada, esta información se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15. Recomendaciones para la protección de la salud de acuerdo a los atributos del IBOCA.

Atributos del IBOCA		Efectos y recomendaciones en salud
Color	Estado de calidad del aire	
Azul claro	Favorable	Efectos en salud La contaminación atmosférica supone un riesgo muy bajo para la salud Recomendaciones en salud Aproveche los espacios al aire libre para realizar actividad física Disfrute la ciudad caminando y respirando Ventile su casa diariamente
Verde	Moderada	Efectos en salud La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud Recomendaciones en salud Aproveche los espacios al aire libre para realizar actividad física Disfrute la ciudad caminando y respirando Ventile su casa diariamente Recomendaciones para población vulnerable Considere reducir esfuerzo prolongados o pesados
Amarillo	Regular	Efectos en salud Las personas vulnerables pueden presentar enfermedades respiratorias, cardiovasculares o complicaciones. Las personas sanas presentan síntomas respiratorios. Recomendaciones en salud Si presenta síntomas (tos o dificultad al respirar) al realizar actividades físicas realice pausas. Antes de preparar o consumir alimentos, lave con agua. Refrigere los alimentos cocidos Recomendaciones para población vulnerable Límite los esfuerzos y la actividad física al aire libre. Personas con asma seguir las recomendaciones médicas y tener a la mano el inhalador Personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias que presenten síntomas deben dirigirse al centro de salud.
Naranja	Mala	Efectos en salud Población vulnerable hay complicación de enfermedades. Personas sanas da inicio de enfermedades respiratorias y cardiovasculares Recomendaciones en salud Tome más descansos en cualquier actividad física. Reduzca actividades físicas intensas

		En caso de presentar síntomas como tos o dificultad respiratoria, debe reducir la actividad física moderada al aire libre, o tomar más descansos. Recomendaciones para población vulnerable Evite realizar actividades físicas intensa
Rojo	Muy mala	Efectos en salud Población vulnerable presenta efectos severos. Población sana aumenta el número de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Recomendaciones en salud Si la alerta es por material particulado, es altamente recomendado que las personas expuestas usen respirador N95, tanto en espacios cerrados como abiertos. Recomendaciones para población vulnerable Las personas con asma pueden necesitar su inhalador de manera más frecuente, según recomendación médica. Tenga disponibles sus medicamentos para ser utilizados, según recomendación médica. Si la alerta es por material particulado, es altamente recomendado que las personas expuestas usen respirador N95, tanto en espacios cerrados como abiertos.
Morado	Peligrosa	Efectos en salud Se activa la alerta epidemiológica, puesto que la población general ya presenta daños en el sistema respiratorio y cardiovascular. Recomendaciones en salud Evite toda actividad física en exteriores. La actividad física realizada en espacios cerrados, debe ser moderada o leve.

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, 2019.

De igual manera, se establecen las recomendaciones para mejorar la calidad del aire ante los diferentes atributos del IBOCA, como se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16. Recomendaciones para contribuir con la mejora de la calidad del aire dependiendo el nivel IBOCA

Atributos del IBOCA		Medidas ciudadanas voluntarias para contribuir a mantener o mejorar la calidad del aire
Color	Estado de la calidad del aire	
Azul claro	Favorable	Utilizar el transporte público colectivo en lugar del carro particular. De ser posible, optar por la bicicleta y caminar como medio alternativo de transporte. Seguir las recomendaciones de eco-conducción. Barrer en húmedo el frente de su vivienda, siempre y cuando las condiciones en el suministro de agua lo faciliten
Verde	Moderada	Utilizar el transporte público colectivo en lugar del carro particular. De ser posible, optar por la bicicleta y caminar como medio alternativo de transporte.

		Seguir las recomendaciones de eco-conducción. Barrer en húmedo el frente de su vivienda, siempre y cuando las condiciones en el suministro de agua lo faciliten
Amarillo	Regular	Utilizar el transporte público colectivo en lugar del carro particular. Tanquear lo mínimo posible el automóvil. Realizar trayectos lo más cortos posibles. Seguir las recomendaciones de eco-conducción. No realizar asados con carbón o madera y quemas abiertas en general De ser posible, optar por el teletrabajo y postergar las actividades fuera de casa. Evitar usar aerosoles (ambientadores y pinturas en spray).
Naranja	Mala	Utilizar el transporte público colectivo en lugar del carro particular. Tanquear lo mínimo posible el automóvil. Realizar trayectos lo más cortos posibles. Seguir las recomendaciones de eco-conducción. De ser posible, optar por el teletrabajo y postergar las actividades fuera de casa. No realizar asados con carbón o madera y quemas abiertas en general. Evitar usar aerosoles (ambientadores y pinturas en spray). Barrer en húmedo el frente de su vivienda, siempre y cuando las condiciones en el suministro de agua lo faciliten. Evitar el uso de juegos pirotécnicos.
Rojo	Muy mala	Utilizar el transporte público colectivo en lugar del carro particular. Tanquear lo mínimo posible el automóvil. Realizar trayectos lo más cortos posibles. Seguir las recomendaciones de eco-conducción. De ser posible, optar por el teletrabajo y postergar las actividades fuera de casa. No realizar asados con carbón o madera y quemas abiertas en general. Evitar usar aerosoles (ambientadores y pinturas en spray). Barrer en húmedo el frente de su vivienda, siempre y cuando las condiciones en el suministro de agua lo faciliten. Evitar el uso de juegos pirotécnicos.
Morado	Peligrosa	Utilizar el transporte público colectivo en lugar del carro particular. Tanquear lo mínimo posible el automóvil. Realizar trayectos lo más cortos posibles. Seguir las recomendaciones de eco-conducción. De ser posible, optar por el teletrabajo y postergar las actividades fuera de casa. No realizar asados con carbón o madera y quemas abiertas en general. Evitar usar aerosoles (ambientadores y pinturas en spray). Evitar el uso de juegos pirotécnicos.

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, 2019.

Para presentar la información sobre los niveles de exposición al contaminante PM₁₀ y PM_{2.5}, las medidas preventivas para la protección de la salud y las mejoras para la calidad del aire se establece el desarrollo de una aplicación con el fin de generar una alerta temprana eficiente al momento de registrar valores cercanos a los límites máximos permisibles. En la siguiente Tabla 17 se presentan los contenidos para la aplicación en su fase inicial, así mismo el costo y el tiempo de desarrollo.

Tabla 17. Contenidos de desarrollo para la App.

Cotización de la empresa Dream Tech Logic		
Desarrollo	Tiempo de desarrollo	Costo
Desarrollo de aplicativo (APP) que permita la notificación a los usuarios que la descarguen de la actualización de los niveles de contaminación en el aire en la zona en específico.		
Servidor para el alojamiento y comunicación de la aplicación desde donde se generarían las notificaciones automáticas dependiendo de la tabla entregada de los diferentes niveles de contaminación o el momento en el que debe generar una alerta.	90 Días	\$ 8'500.000
App disponible para descargar de usuarios en APP Store y Play Store		
El usuario podrá ver un histórico en meses, semanas, días y horas con los mayores y menores niveles de contaminación.		
El desarrollo contará con un proceso de seguridad en la información, en el cual la APP será auditada por un equipo especializado cada 3 meses		
El usuario al ingresar podrá ver primero la última medición tomada por el equipo para tener un dato inmediato y tomas precauciones.		
Servicio de soporte básico y servidor por 1 año.		
Contará con un entorno gráfico en modo de semaforización dependiendo el nivel de contaminación.		

En la Figura 33 se presenta la superposición de las gráficas de concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} obtenidas en el segundo objetivo, siendo la gráfica de PM₁₀ (capa superior) la que presenta la escala de concentración hasta $80 \frac{\mu g}{m^3}$ y la gráfica de PM_{2.5} (capa inferior) la que presenta la escala de concentración hasta $25 \frac{\mu g}{m^3}$. De esta manera, se puede observar el cruce de áreas de mayor influencia del contaminante generando un punto estratégico para la ubicación del equipo Thermo Model 5028i (Punto azul). Así mismo, para definir esta localización se tuvo en cuenta los criterios técnicos establecidos en el manual SVCA, mencionados anteriormente en la Tabla 12.

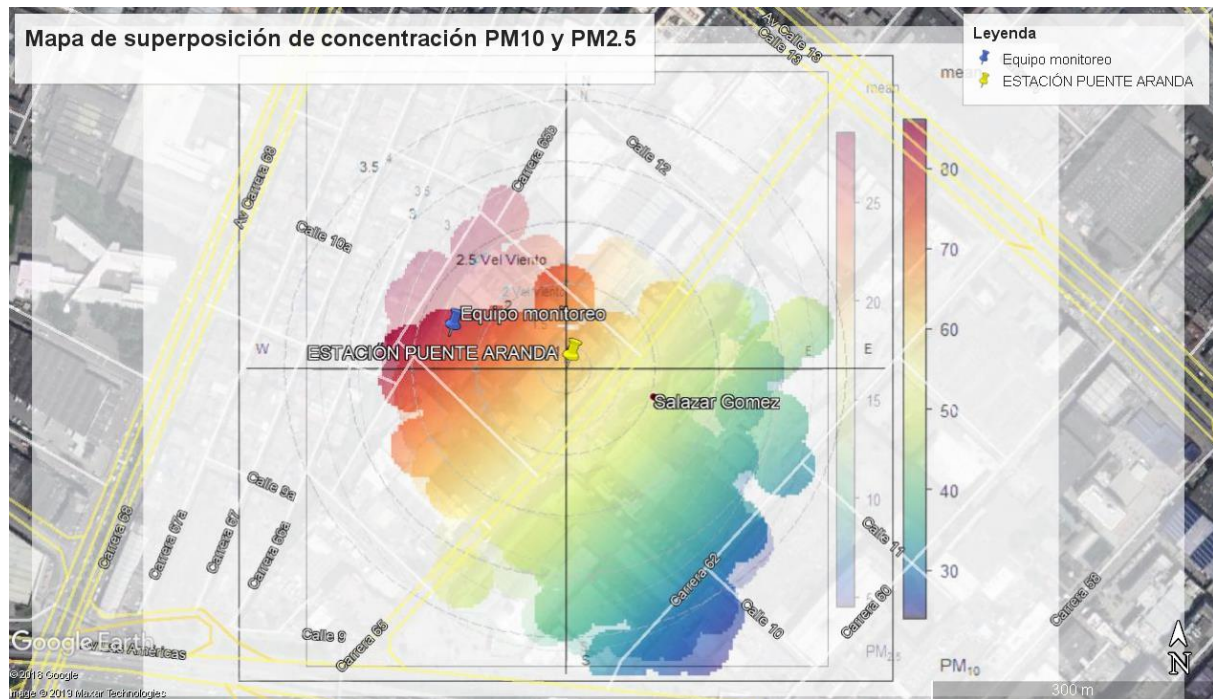


Figura 33. Mapa con la ubicación del equipo de monitoreo. Autores.

Presupuesto total del proyecto

En la Tabla 18 se presenta el presupuesto total del proyecto, el cual incluye el costo del equipo de monitoreo para PM₁₀ y PM_{2.5}, el kit de repuestos y el desarrollo de la App para la divulgación de la información.

Tabla 18. Presupuesto total del proyecto

Presupuesto del proyecto	
Monitor de partículas continuo DUAL BETA, Marca Thermo, Modelo 5028i para PM-10 y PM-2.5	\$ 209'879.000
Kit de repuestos recomendados para BETA DUAL	\$ 6'330.413
Desarrollo de App	\$ 8'500.000
Total	\$ 224,709,413

Fuente: Autores

El costo total se analiza a largo plazo será una inversión justificada debido que habría una prevención de complicación en la salud y la disminución de casos reportados relacionados con enfermedades causadas por material particulado de 10 y 2.5 micras. Asimismo, el ausentismo laboral y escolar se

reduciría, no afectando la producción de la empresa y la educación de los estudiantes por incapacidades médicas.

Conclusiones

El área de mayor influencia del PM₁₀ y PM_{2.5} se encuentra localizada en el lado noroeste -NW de la estación de Puente Aranda, de esta manera se evidencia que la estación actualmente no registra los niveles de contaminación del área de mayor influencia. El contaminante PM_{2.5} abarca una mayor área crítica comparando con el PM₁₀, extendiéndose sobre residencias, generando el aumento de afectaciones a la salud humana.

El diseño de la microrred presenta una viabilidad técnica debido a que cumple con los parámetros establecidos por el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire, a su vez el desarrollo del manual está regido por la normativa nacional de manera que presenta una viabilidad legal. De igual manera el desarrollo del proyecto presenta costos acordes con el montaje, funcionamiento y mantenimiento de la microrred. Esta inversión se verá reflejada en la protección de la ciudadanía y la disminución de casos por enfermedades y complicaciones relacionadas por la contaminación por material particulado de 10 y 2.5 micras. El diseño de la microrred presenta una relación costo/beneficio factible, debido a que la inversión para la ejecución es de \$ 224,709,413 de pesos, en comparación con los costos atribuidos a la contaminación atmosférica urbana en Bogotá que son de 4,2 billones de pesos, equivalentes al 2,5% PIB de la ciudad.

La aplicación de la ingeniería ambiental se ve refleja en dos ámbitos: en la calidad del aire y la salud ambiental. Respecto a la primera se analizaron los aspectos meteorológicos y su relación con la concentración del contaminante, dando como resultado un diagnóstico de concentraciones superiores a los límites establecidos por la normatividad ambiental colombiana e internacional en la área de influencia. En términos de salud ambiental existe una relación entre la calidad del aire y la salud humana, por lo tanto, la solución de ingeniería presentada responde al monitoreo ambiental y generación de medidas preventivas en términos de exposición a material particulado por parte de la población de la localidad de Puente Aranda.

Recomendaciones

Evaluar la eficiencia del funcionamiento de la microrred propuesta para ser tomada como proyecto piloto en el desarrollo de micro redes de monitoreo a nivel nacional e internacional, con el fin de reportar datos acerca del estado actual de la calidad del aire y el comportamiento espacial del material particulado, generando medidas de prevención para la protección de la salud de la población.

Realizar una investigación epidemiológica formal acerca de la morbilidad sobre enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas al material particulado de 10 y 2.5 micras, con el fin de establecer la eficiencia de la microrred en términos de disminución de los números de casos.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Local de Puente Aranda. (2012). *Plan Ambiental Local de Puente Aranda 2013-2016*. Recuperado de: <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883174/PAL+Puente+Aranda+2013-2016.pdf>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2004). *Diagnóstico Físico y Socioeconómico de las Localidades de Bogotá, D.C.* Recuperado de: <http://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/Recorriendo%20PUENTE%20ARANDA.pdf>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2017). *Revisión General Plan de Ordenamiento Territorial*. Recuperado de: http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/anexo_02_presentacion-resumen.pdf
- Amarillo, M., y Pastrana, E. (2005). *Estudio de la calidad del aire al interior de los hogares en los sectores de Puente Aranda, Salazar Gómez, y San Rafael en la localidad de Puente Aranda, Bogotá D.C.* (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá D.C.
- Arango, J. (2009). Calidad de los combustibles en Colombia. *Revista de Ingeniería*, unknown(29), 100–108
- Aristizabal, G., Suescún, J., y Patiño, R. (1998). *Contaminación del Aire y Enfermedad Respiratoria en la Población Infantil de Puente Aranda, Santa Fé de Bogotá, 1997*. Bogotá: Universidad El Bosque.
- Arrieta, A. (2016). Dispersión De Material Particulado (Pm10), Con Interrelación De Factores Meteorológicos Y Topográficos. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 43–54.
- Bazante, P. (2015). *Análisis de la concentración de contaminantes atmosféricos de origen primario y mixto en relación a la variación de las condiciones metereológicas en el Distrito Metropolitano de Quito* (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito.
- Billet, S., Garc-on, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F., Courcot, D. Aboukais, A., y Pirouz, S.P. (2007). Ambient Particulate Matter (PM2.5): Physicochemical Characterization and Metabolic Activation of the Organic Fraction in Human Lung Epithelial Cells (A549). *Environmental Research*, 105, 212-223.
- Castillo, Á. (2013). *Dinámica de la construcción por usos Localidad Puente Aranda*. Recuperado de https://www.catastrobogota.gov.co/sites/default/files/12_0.pdf
- Chen, J., Ying, Q., y Kleeman, M. (2009). Source Apportionment of Visual Impairment During the California Regional PM10/PM2.5 Air Quality Study. *Atmospheric Environment*, 43, 6136-6144.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (30 de octubre de 2017). Licitación No. 23 de 2017. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ada5e796c0bc.pdf>

- Departamento Nacional de Planeación. (2008). *Documento Conpes 3550 de 2008*. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3550 - 2008.pdf>
- Figuerola, S. (2005). Introducción a la Salud Pública. *Revista Med*, 23(2), 23. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652013000200019>
- Gaitán, M., Cancino, J., y Behrentz, E. (2007). Análisis del Estado de la Calidad del Aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería*, (26), 81-92.
- Giraldo, W., y Toro, M. (2008). Estimation of the emission polluting agents by motorcycles in the aburra valley. *DYNA (Colombia)*, 75(156), 241–250.
- Guzmán, L. (2014). *Proyección de Emisiones Vehiculares en Bogotá D.C., a 20150 usando como Base el Año 2008* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Hernández, L., Aristizabal, G., Quiroz, L., Medina, K., Sarmiento, R., Rodriguez, N., y Osorio, S. (2013). Contaminación del Aire y Enfermedad Respiratoria en Menores de Cinco Años de Bogotá, 2007. *Revista de Salud Pública*, 15(4), 551–564.
- Hospital del Sur. (2010). *Análisis de la Determinación Social de la Salud 2009 Localidad de Puente Aranda*. Recuperado de: <http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Todo%20ASIS/PUENTE%20ARANDA.pdf>.
- Instituto de Hidrología, Metereología. y Estudios Ambientales. (2007). *Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo*. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATIC+A+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa>
- Jiménez, Y., y Granados, R. (2015). *Análisis De La Incidencia De La Contaminación Atmosférica Sobre La Presencia De Enfermedades Respiratorias Agudas* (Tesis de Pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C.
- Larsen, B. (2004). Cost of Environmental Damage: A Socio-Economic and Environmental Health Risk Assessment. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010) *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del aire*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones*. Bogotá D.C.: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible
- Mosquera, C., y García, N. (2007). *Asociación entre la Morbilidad por Enfermedad Respiratoria y Contaminantes Atmosféricos (PM₁₀, NO₂ y O₃) en Fontibón y Puente Aranda de la Ciudad de Bogota D.C.* (Tesis de Pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España. (2007). *Calidad del Aire en las Ciudades, Clave de Sostenibilidad Urbana*. Alcalá, España. p. 37.

- Organización Mundial de la Salud. (2005). *Guía de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Organización Mundial de la Salud.
- Oyazrún, M. (2010). Contaminación Aérea y Sus Efectos en la Salud. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 26(1), 16–25.
- Placeres, M. R., Olite, F. D., & Toste, M. Á. (2006). La contaminación del aire: Su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2).
- Rojas, N. (2007). *Aire y Problemas Ambientales de Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Romero, M., Olite, F., y Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 44(2), pp.1-14.
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F., México: Mc Graw Hill
- Secretaría Distrital de Ambiente (2010). *Plan decenal de descontaminación del aire para Bogotá 2010-2020*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2017). *Documento Técnico de Soporte-Modificación del Decreto 98 del 2011*. Recuperado de: www.ambientebogota.gov.co
- Secretaría Distrital de Ambiente (2019). *Conozca el Índice Bogotano de Calidad del Aire IBOCA*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Secretaría Distrital de Hábitat (2019). *Diagnóstico Puente Aranda 2019*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Secretaría Distrital de Movilidad. (2015). *Movilidad en cifras 2015*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Secretaría Distrital de Planeación. (2017). *Diagnóstico de los principales aspectos territoriales, de infraestructura, demográficos y socioeconómicos*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Secretaría Distrital de Salud. (2001). *Diagnóstico Local con Participación Social*. Recuperado de: [http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Lo calidades/Puente_Aranda/Diagnostico_Participacion_Social_PuenteAranda-Hospital_Trinidad.pdf](http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Lo%20calidades/Puente_Aranda/Diagnostico_Participacion_Social_PuenteAranda-Hospital_Trinidad.pdf)
- Sierra, M. (2006). *Establecer la asociación existente entre las variables meteorológicas temperatura, velocidad del viento y precipitación y las concentraciones de PM₁₀ registradas en la red de calidad del aire de Bogotá D.C.* (Tesis de Pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá D.C.
- Soto, D. F. P., Mejía, C., Alfonso Zafra, & Miranda, J. P. R. (2014). Evaluación de la calidad del aire mediante un laboratorio móvil: Puente aranda (bogotá D.C., colombia)/Evaluation of the air quality by using a mobile laboratory: Puente aranda (bogotá D.C., colombia). *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, (71), 153-166.

- Suarez, L., Álvarez, D., Bendejú, Y., & Pomalaya, J. (2017). Caracterización Química Del Material Particulado Atmosférico Del Centro Urbano De Huancayo, Perú. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 83(2), 187–199.
- Castro, J., Pidiache, F. & Peña, S. (2016). Boletín epidemiológico mensual de la línea aire, ruido y radiación electromagnética. Subred Sur Occidente E.S.E.
- Universidad de los Andes. (2009). *Elementos técnicos del Plan decenal de descontaminación de Bogotá*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- University College London y Universidad de los Andes. (2013). *Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia*. Bogotá D.C, Colombia.
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2014). Determinación de la Demanda Real de Gasolina Corriente, Gasolina Extra, Diesel Oil y GNV en el Territorio Nacional. Recuperado de: [https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1062/1/Informe final UPME DD Combustibles - VF.pdf](https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1062/1/Informe%20final%20UPME%20DD%20Combustibles%20-%20VF.pdf)
- Vargas, A. (2017). *Evaluación del Estado de la Calidad del Aire en el Conjunto Residencial Bosque de los Comuneros de la Localidad de Puente Aranda* (Tesis de pregrado). Universidad Libre, Bogotá D.C.
- Velandia, A. (2014). *Centro Cultural Puente Aranda* (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C.
- Yassi, A., Kjellström, T., Kok, T. de, & Guidotti, T. L. (2002). Salud Ambiental Básica. Textos Básicos para la Formación Ambiental. In P. de las N. U. para el M. Ambiente (Ed.), *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente* (Vol. 56).

Cronograma de trabajo

Anexos

Cronograma															
Obj. Específicos	Actividades	Entregables	Mes		Agosto				Septiembre				Octubre		
			Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Evaluar la influencia de los aspectos meteorológicos sobre la dispersión del contaminante material particulado (PM2.5 y PM10) a partir de las bases de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente para el periodo (2015-2019).	Consultar bases de datos Graficar el comportamiento del material particulado Graficar la concentración del material particulado VS precipitación y temperatura	Graficas		X	X	X									
Establecer el área de mayor influencia del contaminante material particulado (PM2.5 y PM10) y los criterios técnicos y legales para el diseño de la microrred de vigilancia.	Georreferenciar graficas de PolarPlot Establecer los criterios técnicos y legales para el diseño de la microrred	Listado de criterios. Mapa del área de mayor influencia. Selección de equipos (Costos) Incluyen la divulgación de la info en tiempo real (Cotización)					X	X	X						
Consolidar el diseño de la microrred de vigilancia para el contaminante material particulado con el fin de informar a la población los niveles de contaminación a los que son expuestos.	Ubicar geográficamente los equipos de medición Definir el tipo de tecnología mecanismos de comunicación y estrategias de prevención	Mapa con la ubicación de los instrumentos. Descripción del diseño.							X	X	X	X	CORRECCIONES	ENTREGA	PRE-SUSTENTACIÓN
															SUSTENTACIÓN

COTIZACIÓN No.		9780			
FECHA.		01-oct-2019		NIT 900.013.343-2	
Código: GO-VT-FT-003		Versión: 03		Vigencia: 04-10-2018	

Cliente:	UNIVERSIDAD EL BOSQUE			N.I.T.	860.066.789-6.
Atención a:	Ingeniero Andres Felipe Mosquera			Tel. Fijo	1-6489000
Dpto/Secc.	Programa de Ingenieria Ambiental - Facultad de Ingenieria			Celular	
Dirección	Avenida Carrera 9 No. 131A - 02 . Ediificio Fundadores				
Ciudad:	Bogotá D.C. - Colombia				
Email:	andres_182002@hotmail.com				

Item	Cant.	Garantía meses	Descripción	Unitario	Total
			MONITOR DUAL DE PARTICULAS BETA PM 10 y 2,5		
1	1	24	Monitor de particulas continuo DUAL BETA, Marca Thermo, Modelo 5028ivpara PM-10 y PM-2.5 (ver ficha tecnica adjunta) Muestreo Simultaneo	209.879.000	209.879.000
2	1	N/A	Kit de repuestos recomendados para BETA DUAL	6.330.413	6.330.413
			MONITOR BETA DE PARTICULAS PARA PM-10		
3	1	12	El Monitor de particulas continuas Beta, Marca Thermo Scientific, modelo 5014iABEC, Medición automatizada de particulas ambientales utilizando la atenuación Beta, Vac 120 50/60Hz, Tripod & extended ube Assy w/ss tube union and teflon ferrule, Inlet EPA PM-10, I/O Expansión board (4-20mA Outputs - 6 chanel, 0-10v Inputs - 8 chanel)	102.600.000	102.600.000
			MONITOR BETA DE PARTICULAS PARA PM-2.5		
4	1	12	El Monitor de particulas continuas Beta, Marca Thermo Scientific, modelo 5014i, Medición automatizada de particulas ambientales utilizando la atenuación Beta,	113.073.000	113.073.000
5	1	N/A	Kit de repuestos recomendados para BETA individual	6.436.807	6.436.807

SERVICIO TECNICO MANTENIMIENTO Y CALIBRACION

HIGH TEC ENVIRONMENTAL LTDA. Ofrece servicio tecnico de mantenimiento Preventivo y Correctivo, calibración acreditada en el laboratorio Out Sourcing LAB & SERVICE ELECTRONICA ESPECIALIZADA LTDA. que esta certificado ISO 9001-2008 y Acreditado ISO 17025 para calibracion de ruido, temperaturas, luz, flujos, gases y alcoholimetria por el **ONAC-Organismo Nacional de Acreditación de Colombia**, entidad acreditadora de Colombia.

GARANTIAS, ACTUALIZACIONES y SUMINISTROS

GARANTIA.- HIGH TEC ENVIRONMENTAL LTDA. dará la garantía estipulada en la columna para los equipos aclarando que esta garantía no cubre daños o desperfectos ocasionados por mal manejo u operación de los equipos, exposición a ambientes críticos fuera de los rangos diseñados en la ficha técnica, golpes o manipulación indebida.

SUMINISTROS- HIGH TEC ENVIRONMENTAL LTDA. garantiza con un costo adicional el suministro de accesorios, repuestos y elementos necesarios para el buen funcionamiento de los equipos por un periodo mínimo de cinco (5) años con respaldo directo de las fabricas.

Impuesto sobre las Ventas

19% No incluido en los precios

Plazo de Entrega:

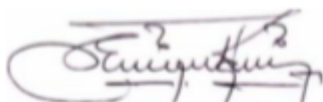
30-45 días contados a partir de la orden de compra o el recibo del anticipo y legalización del contrato.

Condiciones de pago:

Contado para equipos de entrega inmediata de lo contrario anticipo del 50% y saldo a la entrega, excepto a condiciones especiales pactadas con clientes corporativos por correo electronico u otro medio de soporte.

Validez de la Oferta

30 días calendario a partir de la fecha. Sin embargo si la TRM oficial sufre una variación mayor al 5% ésta perderá vigencia.



JULIO ENRIQUE RODRIGUEZ MESA
ASESOR COMERCIAL - ZONA ORIENTE



PROPUESTA DESARROLLO APP CONTAMINACION AIRE

DTL presenta su propuesta para el desarrollo de una APP para la notificación a los usuarios de los diferentes niveles de contaminación del aire en una zona o zonas en específico.

DESARROLLO APP CONTAMINACION AIRE

Por nuestra amplia experiencia en desarrollo de soluciones en la nube sugerimos para la necesidad específica la implementación de una APP para la notificación a los usuarios finales de los diferentes niveles de contaminación del aire en una zona específica. Por su robustez y facilidad de uso permitirá la consulta inmediata de los datos actualizados por los equipos de medición.

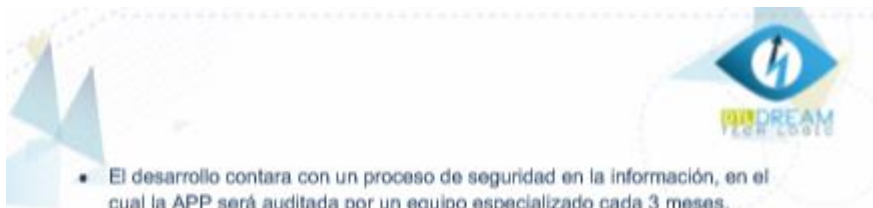
DTL creará un ambiente gráfico acorde, de fácil entendimiento y uso de acuerdo a las reuniones sostenidas para obtener los requerimientos del desarrollo y también teniendo en cuenta el manual de marca de la entidad para determinar el diseño visual del entorno de la APP y en los últimos estándares de diseño que impone el mercado.

La APP podrá ser descargada de las dos tiendas principales de aplicaciones: **Google Play y APP Store.**

El desarrollo contara con:

- Desarrollo de aplicativo (APP) que permita la notificación a los usuarios que la descarguen de la actualización de los niveles de contaminación en el aire en una zona o zonas en específico.
- Servidor para el alojamiento y comunicación de la aplicación desde donde se generarían las notificaciones automáticas dependiendo de la tabla entregada de los diferentes niveles de contaminación o el momento en el que debe generar una alerta.
- App disponible para descargar de usuarios en APP Store y Play Store.
- El usuario podrá ver un histórico en meses, semanas, días y horas con los mayores y menores niveles de contaminación.

ventas@dtl.com.co Tel : 8816843 www.dtl.com.co
Dirección: Calle 1 N° 14a - 13, apto 402. Zipaquirá, Colombia Cel: 304 4458884



- El desarrollo contara con un proceso de seguridad en la información, en el cual la APP será auditada por un equipo especializado cada 3 meses.
- El usuario al ingresar podrá ver primero la ultima medición tomada por el equipo para tener un dato inmediato y tomar precauciones.
- Manejo de Abeas Data para quien descargue la app.
- Servicio de soporte básico y servidor por 1 año.
- Contara con un entorno gráfico en modo de semaforización dependiendo el nivel de contaminación.

Se debe tener en cuenta que al terminar el primer año se debe renovar el pago de servidor y soporte de la APP.

Dentro de los requerimientos iniciales queda pendiente de revisión la comunicación del equipo con el servidor mas otros detalles que puedan surgir antes del inicio del desarrollo.

COSTOS Y TIEMPOS DE DESARROLLO

Costos de creación de la APP:

Tiempo de desarrollo: 90 días.

Valor: \$8.500.000 pesos.