



**EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES
CRITERIO (MATERIAL PARTICULADO) EN LAS
LOCALIDADES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ QUE
PRESENTARON MAYOR CONTAMINACIÓN
ATMOSFERICA DURANTE LOS DOS PRIMEROS
TRIMESTRES DEL AÑO 2020.**

**Diego Alejandro Sánchez Pineda
Héctor Moreno**

Universidad Antonio Nariño
Facultad Ingeniería Ambiental y Civil
Bogotá, Colombia

2022

EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES CRITERIO (MATERIAL PARTICULADO) EN LAS LOCALIDADES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ QUE PRESENTARON MAYOR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DURANTE LOS DOS PRIMEROS TRIMESTRES DEL AÑO 2020.

**Diego Alejandro Sánchez Pineda
Héctor Moreno**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Sistemas de información Geográfica

Director (a): Ph.D., Andrés Felipe Carvajal Vanegas

Línea de Investigación:

Análisis de procesos de cambio global

Universidad Antonio Nariño

Facultad Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

Resumen

El presente trabajo de grado pretendió evaluar la variabilidad en un periodo de tiempo determinado de la cantidad de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la ciudad de Bogotá a partir de los datos de las estaciones de monitoreo RMCAB. Se determinó como espacio temporal los dos primeros trimestres del año 2020 teniendo en cuenta que abarcan periodos de prepandemia, inicio de confinamiento y los meses de mayor restricción para la movilidad debidos al SARS COV 2.

Se buscó además mostrar mediante el uso de herramientas SIG los cambios generados en la concentración de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ dentro de los periodos de tiempo ya mencionados y así demostrar la utilidad que se puede generar al correlacionar datos estadísticos con información cartográfica en un entorno SIG.

Como resultados se encontró que si hubo una reducción considerable de la contaminación por material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ para el segundo trimestre en todas las localidades de la ciudad, y se concluye que las restricciones y políticas adoptadas para afrontar la pandemia del Covid 19 funcionaron para deducir la contaminación de PM_{10} de hasta el 38% y 52% para $PM_{2.5}$ aproximadamente para el último periodo de estudio.

Palabras claves: Partículas PM 10 Y PM 2,5, Calidad del aire, estaciones RMCAB.

Abstract

The present document aims to evaluate the variability in a given period of time of the amount of PM_{10} and $PM_{2.5}$ particles in the city of Bogotá from the data of the RMCAB monitoring stations. The first two quarters of 2020 were chosen as a temporary space, taking into account that they cover pre-pandemic periods, the beginning of confinement and the months of greatest restriction for mobility due to SARS COV 2 Covid 19.

It was also sought to show, through the use of GIS tools, the changes generated in the concentration of PM_{10} and $PM_{2.5}$ particles within the periods of time already mentioned and thus demonstrate the usefulness that can be generated by correlating statistical data with cartographic information in an environment. S.I.G.

As results, it was found that there was a considerable reduction in pollution by PM_{10} and $PM_{2.5}$ particulate matter for the second quarter in all the locations of the city, the most important conclusion is that the restrictions and policies adopted to face the Covid 19 pandemic worked to deduct pollution for PM_{10} of up to 38% and 52% for $PM_{2.5}$ approximately for the last study period.

Introducción

Dentro de los elementos que generan mayor peligro a la salud de la población de las urbes modernas como la ciudad de Bogotá se encuentra la contaminación atmosférica debida a material particulado, la ciudad padece de la proliferación de vehículos que en su gran mayoría se mueven gracias a combustibles fósiles y zonas industriales que debido al crecimiento desmesurado y desordenado del centro urbano se encuentran en muchas ocasiones inmersas o muy cercanas a barrios residenciales, lo cual causa problemas de contaminación atmosférica considerables (Gaitán et al., 2007). Para sus habitantes este deterioro en la calidad del aire ha venido creciendo con el tiempo debido a los factores ya mencionados, si bien se destaca la constante vigilancia de las autoridades y la posibilidad de generar alertas gracias a dicha observación constante, se pueden denotar picos de crecimiento elevado de la contaminación en determinadas épocas del año y horas del día, lo cual demuestra la necesidad de la implementación de políticas que si bien apoyen a la industria y el necesario desarrollo económico de la ciudad, también hagan una verdadera exigencia e implementación de tecnologías limpias o verdes como en algunos casos son conocidas para mejorar la calidad de la ciudad en todas las épocas del año y horas del día.

Dentro de los diferentes agentes de riesgo identificados se encuentran aerosoles o partículas de diámetro menor a 10 y 2.5 micras, que se pueden identificar y cuantificar en la ciudad de Bogotá gracias a creación de la RMCAB, “Red de Monitoreo de La Calidad del Aire en Bogotá”, creada en el año de 1997 (Gaitán et al., 2007), la cual está integrada por una red de estaciones que se ubica dentro de los límites de las diferentes localidades de la ciudad, distribuidas de modo que se pueda tener un flujo constante y en tiempo real de información concerniente a la calidad del aire y contaminación en la capital del país.

Cabe anotar que es de gran importancia tener información actualizada de la concentración de este tipo de partículas en la atmosfera debido a su grado de afectación en la salud de los ciudadanos como ya se había mencionado con anterioridad, especialmente si se tiene en cuenta su relación con enfermedades coronarias, diabetes y problemas en el desarrollo fetal. (*Fischer_García_Franz_Leonard_2020.pdf*, s. f.)

Con el presente estudio se busca realizar una comparación entre los datos aportados por el sistema RMCAB, durante los dos primeros trimestres del año 2020, periodos, inicio y meses de mayor nivel de encierro de la ciudadanía debido a la pandemia por SARSCOV2 o COVID 19 como se conoce popularmente.

Pandemia por Sarscov2 o Covid 19

La enfermedad por coronavirus (COVID-19) es una enfermedad infecciosa provocada por el virus SARS-CoV-2. La mayoría de las personas que padecen COVID-19 sufren síntomas de intensidad leve a moderada y se recuperan sin necesidad de tratamientos especiales. Sin embargo, algunas personas desarrollan casos graves y necesitan atención médica (*Enfermedad por el Coronavirus (COVID-19) | OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud, s. f.*).

Cómo se propaga

El virus puede propagarse desde la boca o la nariz de una persona infectada en forma de pequeñas partículas líquidas que expulsa cuando tose, estornuda, habla, canta o respira. Estas partículas pueden ser desde pequeños aerosoles hasta gotitas respiratorias más grandes. Contagiarse de COVID-19 es relativamente fácil si se respira cerca de una persona infectada o si se toca una superficie contaminada y, seguidamente, se lleva las manos a los ojos, la nariz o la boca. El virus se propaga más fácilmente en espacios interiores o en aglomeraciones de personas (*Enfermedad por el Coronavirus (COVID-19) | OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud, s. f.*).

Evolución en la ciudad de Bogotá

El primer caso confirmado en Colombia se dio en la ciudad de Bogotá el 6 de marzo de 2020, en el aeropuerto el Dorado, se trataba de una ciudadana proveniente de Italia, para el día 20 de marzo el gobierno decreta cuarentena total en el país a partir del 24 del mismo mes, a partir de esa fecha los casos se multiplican en forma exponencial generándose el primer pico de la pandemia en el país, las cifras de infectados y fallecidos sufrieron variaciones que generaron la ampliación de la cuarentena en varias oportunidades por parte del gobierno nacional. Con posterioridad se generaron dos picos contagios más debidos a según el gobierno a las protestas sociales debidas a la muerte de un ciudadano a manos de agentes de la policía y posteriormente a la fallida reforma tributaria presentada por el gobierno y en el caso específico de la ciudad de Bogotá se decretan lapsos de cuarentena total, estos incluyen todo al transporte público y privado, y el confinamiento de la población con la única posibilidad de trasladarse de sus domicilios para realizar compras y actividades de suma urgencia que estuviesen justificadas, con esto se logró disminuir y controlar el número de contagios y muertes (Camacho et al., s. f.).

Se han presentado hasta el momento dos picos más que han cobrado la vida de 129.901 hasta el día 30 de diciembre de 2021, a pesar de los avances logrados en vacunación a la población en general (Camacho et al., s. f.).

Aunque se mantienen medidas restrictivas en cuanto a uso de tapabocas y aforos en eventos públicos, se han retomado las actividades económicas y la recuperación de empleos que se habían perdido debido a las restricciones debidas a la pandemia sin embargo se prevé un cuarto pico debido a la llegada de la variante ómicron del virus, sumado a las aglomeraciones debidas a las fiestas de fin de año (*Enfermedad por el Coronavirus (COVID-19) | OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud, s. f.*).

Según datos de la OMS la pandemia esta lejos de terminar debido a la falta de voluntad de los gobiernos para utilizar de modo más eficiente las herramientas medicas existentes y su distribución a regiones de África que sean visto afectadas por la falta de vacunas (*Enfermedad por el Coronavirus (COVID-19) | OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud, s. f.*).

Objetivo General

Analizar la concentración y distribución espacial de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en los dos primeros trimestres del año 2020, en las localidades de la ciudad de Bogotá correspondientes inicios de la cuarentena la pandemia por COVID19.

Objetivos Específicos

- Identificar mediante análisis estadístico y cartográfico SIG las concentraciones trimestrales de PM_{10} y $PM_{2.5}$ para los periodos Enero-abril y Mayo Agosto del año 2020 en Bogotá D.C, usando la información del portal en línea de la secretaria distrital de medio ambiente.
- Examinar y explicar la distribución espacial de las concentraciones trimestrales de PM_{10} y $PM_{2.5}$ para los periodos Enero-abril y Mayo Agosto del año 2020 en Bogotá D.C.

Marco Teórico

Se define como contaminante criterio a los que fueron establecidos niveles máximos permisibles de concentración en la atmosfera (Sanitarios, s. f.) cuyo control de emisión por fuente antropogénica, se puede controlar a por medio de legislación acerca de calidad de aire y que limiten su emisión. Los materiales particulados se encuentran catalogados como contaminantes primarios y conforman un conjunto de partículas que pueden ser solidas o líquidas emanadas directamente a la atmosfera, algunas de estas partículas se forman del hollín de combustibles como Diesel, polvo en zonas viales y agricultura y otras partículas generadas de procesos productivos. (Fang et al., 2003).

A causa de los altos niveles de contaminación producidos por el uso intensivo de combustibles fósiles y a la presencia de grandes centros industriales dentro de los límites de la ciudad de Bogotá (Gaitán et al., 2007), graves problemas de contaminación aparecen debido a la polución generada por las partículas en suspensión PM, material particulado o aerosoles, estos se refieren a sustancias o compuestos del tipo líquidos o solidos presentes en las diferentes capas atmosféricas, su tamaño varia a través de procesos como la condensación de vapor, evaporación, coagulación generada por colisiones de movimiento browniano por hidrodinámica y fuerza eléctrica o de tipo gravitacional (Fang et al., 2006). Pueden ser de origen primario o secundario dependiendo si han sido emitidas directamente a la atmosfera o han sufrido algún tipo de cambio por reacción química que haya generado cambios en su estructura físico química (Material particulado PM10/PM2,5, s. f.) Investigadores como (Sternbeck, Sjödin & Andréasson, 2002; Baltrėnas & Morkūnienė, 2006; Richmond-Bryant et al., 2009) han dado a conocer que las emisiones de contaminantes de fuentes móviles como lo son vehiculares, es una de las causas más grande en cuanto a deterioro de la calidad del aire se refiere (Toro et al., 2001), lo que menoscaba la composición de la química atmosférica a nivel de localidades y regiones enteras (Maldanovaetal.,2009).

Calidad del Aire y Efectos en la Salud Humana

Las dimensiones del material particulado son las que se encuentran directamente vinculadas con el potencial de provocar riesgos a la salud humana(US EPA, 2018). Es cuantificado como PM 10 todo el material particulado con un tamaño menor a 10 micras y se refiere a aquellas que permanecen suspendidas durante largos periodos de tiempo (horas e incluso días) (Partículas en suspensión, s. f.), el material particulado apreciado como fino es aquel que poseen un tamaño menor a 2,5 micras y que corresponden a aquellas generadas en procesos de combustión y vapores de condensación atmosférica, la principal afectación generada por estos tipos de partícula obedece a su pequeño tamaño lo cual las

hace altamente inhalables y la posibilidad de depositarse en los conductos respiratorios (inferiores y pulmones), algunos tipos muy pequeños de partículas tienen la posibilidad de penetrar a la corriente sanguínea y se asocian a problemas cardiacos y vasculares. (US EPA, 2018)

El exceso de material particulado está asociado a un incremento en la incidencia de enfermedades respiratorias y como causa de muerte lo cual genera grandes costos económicos y sociales, la población más afectada se concentra en niños con edades inferiores, adultos mayores (US EPA, 2018), y aquellos con algún tipo de enfermedad respiratoria de base, como el asma. La alta exposición a este tipo de material particulado puede causar daño pulmonar (síntomatología respiratoria aumentada, como irritación de las vías pulmonares, tos o dificultades respiratorias, asma agravada entre otros) y el corazón (infartos de miocardio no mortales) (US EPA, 2018).

La enfermedad por el reciente virus (COVID-19), que es provocada por la familia coronaria viral, genera eventos respiratorios agudos que pueden llegar a ser severos (SARS-CoV-2), fue informado en Diciembre del año 2019 en Wuhan que es una provincia del sector de Hubei de la República Popular de China. El virus fue declarado como pandemia por la (OMS) Organización Mundial de la Salud el 11 de marzo del año 2020, ya que tuvo un crecimiento logarítmico global de casos. (PAHO/WHO | Pan American Health Organization, s. f.). Se han generado estudios que han investigado la asociación entre transmisión viral y la tasa en cuanto a mortalidad por COVID-19 con parámetros ambientales, incluida la contaminación del aire por materiales particulados. El material particulado afecta la visibilidad atmosférica que conduce a la neblina, produce adversos efectos sobre la salud humana y contribuye al cambio climático global (Andreae y Crutzen, 1997; Lelieveld et al., 2015; Poschl, " 2005; Ramanathan y Carmichael, 2008).

Se puede aseverar que la calidad del aire de Bogotá se ve afectada debido a la alta saturación de partículas que se transportan por los vientos de la ciudad. La contaminación atmosférica por PM en la salud se expresa mediante estudios toxicólogos y epidemiológicos, ya que es el sistema respiratorio el que funciona como una vía principal de entrada al organismo para este contaminante. Al penetrar directamente y con facilidad el organismo humano los efectos en la salud varían conforme a las concentraciones presentes, así mismo por estar compuestos de elementos tóxicos (Alcaldía mayor de Bogotá. Contaminantes Dato horario).

Se entiende por contaminantes criterio al conjunto de sustancias químicas que definen si el aire se encuentra contaminado y que a su vez hace parte de la normatividad ambiental expedida por el país. Para el caso colombiano entre los contaminantes criterio se tiene: Material particulado respirable PM₁₀ PM_{2.5}, (NOx)

Óxidos de Nitrógeno, Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Azufre (SOx), Ozono (O3). (Behrenzt Eduardo. et al 2008)

A su vez existe una clasificación en la cual se tienen los contaminantes primarios enviados directamente a la capa atmosférica por fuentes emisoras que puede ser de tipo natural o antropogénica. Adicionalmente se tiene los contaminantes de tipo secundario son formados por reacciones químicas producidas en la atmosfera, y se producen debido a contaminantes primarios junto con otras componentes químicas. (Behrenzt Eduardo. et al 2008)

Generalmente en cada ciudad colombiana existe una red de monitoreo la cual permite hacer las mediciones de los contaminantes que causan un impacto a salud poblacional e interviene en la climatología del lugar. Es fundamental hacer estas mediciones ya que con estas se procede a hacer estudios pertinentes sobre la calidad del aire.

La ciudad de Bogotá cuenta con un sistema para el análisis de la contaminación atmosférica llamada **(RMCAB)**, Red de Monitoreo de Calidad del Aire encargada de tomar y almacenar datos en tiempo real de concentración de contaminantes y variables meteorológicas. Este sistema a su vez se rige bajo estándares estipulados por la Resolución 610 emitida en marzo 24 del año 2010 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, así mismo determina y da información base para la definir políticas que deben controlar la polución y la gestión ambiental (Alcaldía Mayor de Bogotá 2016. SDA).

La red de monitoreo de calidad del aire se conforma de 13 estaciones fijas y una estación móvil que se encuentran distribuidas a lo largo del casco urbano de la ciudad. Los métodos que se utilizan para la medición se encuentran fijados en el Code of Federal Regulations (CFR) título 40, estos fueron aprobados por la (EPA) que es la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (U.S. Government Printing Office, 2014). El Objetivo primordial de esta red sistematizada es mejorar la calidad del aire realizando permanentes operativos para el control a fuentes de contaminación, así mismo vela por el cumplimiento de los estándares de calidad del aire sancionando fenómenos de contaminación (*Objetivos - Secretaría Distrital de Ambiente*, s. f.). Para fomentar la responsabilidad ambiental, la secretaria Distrital de Ambiente coordina un programa de autorregulación ambiental de interviene a las empresas de transporte de carga y transporte público colectivo (Alcaldía Mayor de Bogotá. SDA Recurso Aire 2018). (<http://nuevo.ambientebogota.gov.co/es/web/sda/aire>) (*Aire - Secretaría Distrital de Ambiente*, s. f.).

Entre los equipos que hacen la medición de material particulado, la Red de Monitoreo de Calidad del Aire cuenta con diversos instrumentos de medición. Para

PM₁₀ se tiene el equipo Met One Bam Modelo1020; así mismo este equipo es utilizado para la medición de PM_{2,5} junto con el Thermo Scientific FH62C14-DHS.

El equipo Met One Bam Modelo1020 es un monitor de partículas automático con designación U.S- EPA, y que opera bajo el principio de atenuación de Rayos Beta, la lectura de los datos de concentración de polvo se almacena en un "Datalogger".

Los métodos de medición que se utilizan con frecuencia se encuentran descritos en el Code Federal Regulation (CFR) título 40 que fue aprobado por la Agencia de Protección Ambiental EPA (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos. A continuación, se puede observar el principio de medición y el método de referencia para los contaminantes medidos en las estaciones de monitoreo. (*Informe anual de calidad del aire de Bogotá Año 2016* » Observatorio Ambiental de Bogotá, s. f.)

Contaminante	Principio de Medición	Método de referencia EPA
PM ₁₀	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122
PM _{2.5}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183
O ₃	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087
NO ₂	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088
SO ₂	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100

Tabla Numero 1. Técnicas de medición automáticas RMCA y métodos de referencia EPA Copyright 2016 por SDA. Informe anual de Calidad del Aire en Bogotá 2016.

Calidad del Aire en Bogotá en la actualidad

La entidad que se encarga de hacer las mediciones de calidad de aire en la capital del territorio Colombiano es la SDA secretaria distrital de ambiente, que utiliza su Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá llamada por su sigla RMCAB la cual sigue generando registros de la concentración de los contaminantes **criterio** desde el año de 1997, la información se socializa por intermedio de la página de IBOCA (Índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud, (<http://iboca.ambientebogota.gov.co/>).

Las estaciones de medición de la red permiten el monitoreo continuo casi en tiempo real (resolución temporal de 10 minutos), de las diferentes concentraciones en la atmosfera de gases y partículas.

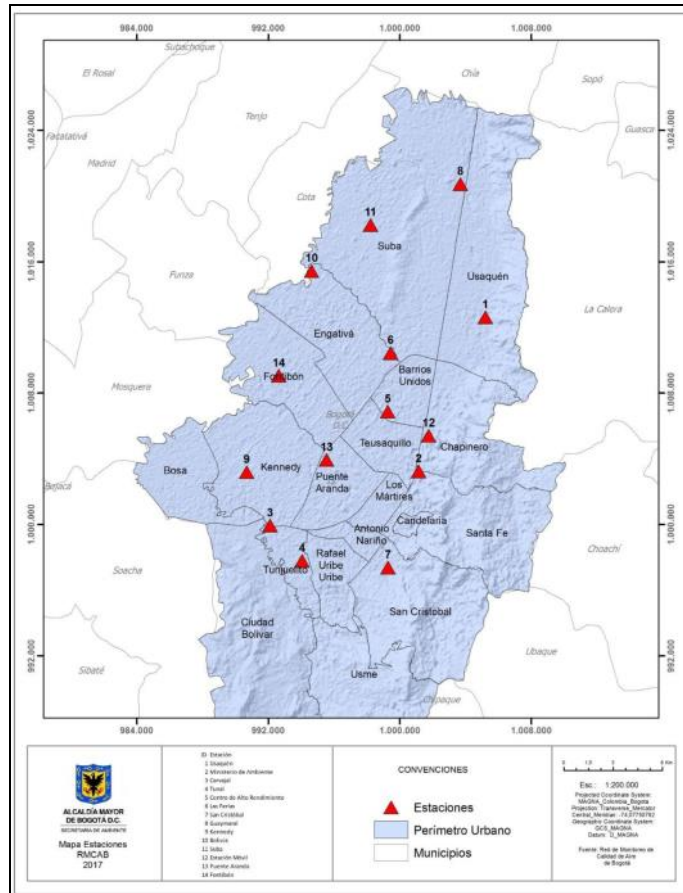


Figura 1. Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Bogotá. Fuente: Alcaldía de Bogotá, año 2020

Siendo las mediciones de la red de monitoreo un insumo indispensable en la observación diaria e histórica de las variaciones del material particulado contaminante en la ciudad, la interpretación estadística de los datos generados es de suma importancia pues genera la posibilidad de tomar decisiones en cuanto a la generación de alertas tempranas a la población y modificaciones en temas de movilidad en tiempo real.

FUENTES DE EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

La Secretaría distrital de ambiente hace un inventario de emisiones de la contaminación atmosférica, y notifica los resultados en el documento titulado “Inventario de Emisiones de Bogotá Contaminantes Atmosféricos”. El último documento fue para el año 2018 en el que brinda una información completa de todas las fuentes de emisión de los contaminantes que son emitidos a la capa atmosférica. Para el caso del material particulado se indica que las fuentes móviles, fijas y el material resuspendido son las fuentes que perturban la calidad del aire. (*inventario_de_emisiones_2018_version_enero_2020.pdf*, s. f.)

Categoría vehicular	Emisiones (toneladas/año)				
	2008	2012	2014	2016	2018
Automóviles	25	45	50	33	307
Camperos y Camionetas	17	118	146	148	310
Camiones	454	423	525	499	708
TPC o SITP -Provisional	536	431	182	164	123
SITP (Zonal)	No estimada	No estimada	88	90	68
SITP (Troncal-Alimentadores)	35	45	31	27	27
Taxi	13	3	3	5	18
Motocicletas	284	86	97	108	149
Tras. Especial	No estimada	23	188	121	129
Otro	No estimada	No estimada	9	8	8
Totales	1.364	1.174	1.318	1.206	1.846

Figura 2. Histórico de inventario de emisiones de Material particulado PM10 por fuentes móviles.

Como se observa en la figura 2, las emisiones por fuentes móviles perturbaron la calidad del aire superando las mil toneladas por año en todos los reportes que la Secretaría Distrital del ambiente emitió. Se presentó un aumento considerable para el año 2018 a pesar de que se han tomado medidas para regular el tránsito del parque automotor. (*inventario_de_emisiones_2018_version_enero_2020.pdf*, s. f.)

Tipo de fuente	Emisiones (toneladas/año)				
	2008	2012	2014	2016	2018
Caldera Gas mayor a 100 BHP; modelo menor 1997	119	78	76	73	45
Caldera Gas mayor a 100 BHP; modelo mayor 1997	20	10	67	6	5
Caldera Carbón menor o igual a 100 BHP	79	59	84	36	2
Caldera Carbón mayor a 100 BHP	247	186	11	120	110
Horno Carbón	30	98	247	69	31
Horno Ladrillero	474	490	529	464	246
Otras	20	59	64	33	43
Total	988	979	1078	801	482

Figura 3. Histórico de inventario de emisiones de Material particulado PM10 por fuentes fijas.

Para el caso de las fuentes fijas, se ve una reducción de casi el 50% con respecto al año 2016, sin embargo cabe decir que a pesar que hubo disminución, 482 toneladas/año para el 2018 sigue siendo un dato que evidencia la gran contaminación que emiten fuentes industriales con sus equipos y maquinarias. (*inventario_de_emisiones_2018_version_enero_2020.pdf*, s. f.)

Estado del Conocimiento

La humanidad se encuentra en un momento histórico en el que un virus continúa afectando la cotidianidad de las personas y las megaciudades, nuevas investigaciones surgen sobre los cambios atmosféricos que se generaron en los periodos donde la población mundial vivió un confinamiento total debido a la pandemia. Ciudades a lo largo del mundo tienen un metabolismo que no se detiene con el tiempo, en el cual se consumen materiales y energía, generando residuos líquidos, sólidos y gaseosos. Las regiones densamente pobladas como en la que se encuentra la ciudad de Bogotá emiten cantidades significativas de contaminantes a la atmósfera que pueden ser transportados largas distancias (hasta miles de kilómetros) Baklanov, Molina, Gauss (2015).

El año 2020 fue un año en que muchos investigadores centraron su atención, mayor parte de la población y sus gobiernos introdujeron fuertes medidas en concordancia a la rápida evolución y proliferación de la enfermedad por Coronavirus COVID-19, reducción en la actividad económica y viajes diarios en términos de movilidad hizo que muchos investigadores tuvieran un momento histórico para evaluar la interacción de las actividades humanas limitadas en pandemia y su impacto en la reducción o aumento de los contaminantes criterio de las ciudades.

Max G. Adam, Phuong Tran TM, y Rajasekhar Balasubramanian, llevaron a cabo una investigación la cual tuvo como fundamento evaluar los cambios en la calidad del aire en diversas ciudades del mundo en el periodo de confinamiento. El cambio en la calidad del aire se estudió en relación con mediciones de estos contaminantes atmosféricos de criterio en estaciones de monitoreo fijas de rutina y observaciones realizadas con sistemas de percepción remota y satélites. El estudio concluye que la mayoría de países reportaron disminución significativa en los valores de contaminantes primarios NO_x, SO₂ Y CO, material particulado, esto se atribuye a la reducción en gran medida de tráfico y emisiones industriales.

Se evidencian datos para China, Chang et al. (2020) realizó mediciones integrales de PM_{2.5} junto con el uso de un modelo de transporte químico en múltiples sitios en China (centrado en Shanghai, además de Beijing, Jiaying, Nanjing). Obtuvieron datos de observación de varios instrumentos, incluido MARGA (dispositivo de monitoreo semicontinuo para aerosoles y gases en el aire ambiental), ToFACSM, analizador OC-EC semicontinuo y monitor multimetal (19 oligoelementos) y otro estudio de Chen et al. (2020a) para el mismo país informan que las estrictas medidas de cuarentena condujeron a niveles más bajos de PM_{2.5}, que se atribuyó a una combinación de niveles más bajos de emisiones primarias de PM_{2.5} y niveles más bajos de NO₃.

Sin embargo, algunas ciudades, no experimentaron una mejora en la calidad del aire, y se comenta que estos aumentos pudieron deberse a variaciones en factores meteorológicos y la química de la atmósfera cuando se tienen cielos despejados. Estudios realizados y referenciados en dicho artículo afirman que la composición de Material particulado en varias ciudades es similar o en algunos casos superior al periodo de confinamiento en comparación con años anteriores.

Un estudio realizado por Aysegul Yagmur Goren et al Agosto 2021 revela que países como Turkia, que fue uno de los más afectados por el Virus COVID 19, también estableció políticas de acción inmediata frente a la propagación del virus, pero sus niveles de calidad del aire en cuanto a contaminantes criterio, no fueron favorables para el periodo de confinamiento inicial del año 2020, 51 estaciones de medición de la calidad del aire para 11 ciudades en el período marzo-abril de 2020 fueron estadísticamente comparado con el del año anterior. Estaciones de monitoreo midieron concentraciones más altas en el periodo de estudio en comparación con el de 2019.

El método que se utilizó para el estudio se realizó para 11 ciudades de Turkia que representan aproximadamente el 42.8 % de la población. Concentraciones medidas de parámetros de calidad del aire (PM2.5, PM10, SO2, NO2, NOX, NO, O3 y CO) se obtuvieron de la Base de datos de seguimiento de la calidad del aire del Ministerio de Medio Ambiente y Urbanización de Turquía (). Turquía permitió la continuación de las actividades industriales y de construcción, que también requerían actividades de transporte. La comparación estadística entre los períodos marzo-abril de 2019 y 2020 confirma que no hubo diferencia significativa en las concentraciones de PM. Hubo estaciones en las que se observaron aumentos de concentración, como triplicación de PM en una ciudad no metropolitana pero cerca de la densa minería de carbón y plantas de energía térmica.

En otro estudio realizado en Turquía (Aydın et al., 2020). Se investigó el impacto del COVID-19 en la calidad del aire basándose en la índice de calidad del aire durante diciembre de 2019, abril de 2020 y mayo de 2020, este estudio informó que el índice de PM2.5 aumentó en Ankara y las áreas costeras debido a la actividad industrial en abril de 2020.

Para el continente Americano, un estudio llevado a cabo por Bertha V. Vasquez-Apestegui et al. 2021, planteó la hipótesis de que la contaminación del aire podría tener un efecto nocivo que hace más susceptible a la población al virus y que aquellos que viven en sitios con alta contaminación del aire en los años anteriores a la pandemia tienen un mayor riesgo de ser contagiados. Esta hipótesis hizo que se generaran análisis de datos de material particulado 2.5 para 24 distritos de Lima- Perú en los años anteriores a la emergencia sanitaria del COVID 19. Su objetivo principal fue determinar si la exposición a largo plazo a diferentes concentraciones de PM2.5 está asociada con el número de casos, muertes y

letalidad.

Se emplearon mediciones de $PM_{2.5}$ obtenidas de diez monitores en el (SENAMHI) que corresponde al servicio nacional de red de meteorología e hidrología de Perú y seis monitoreos de la universidad Johns Hopkins. Se obtuvieron valores anuales de dicho contaminante y datos climatológicos como temperatura y humedad relativa. Se realizaron análisis estadísticos en la información recolectada por las estaciones y se procedió a realizar mapas de los promedios calculados.

Los autores concluyen que, para los 24 distritos evaluados, aquellos con concentraciones más altas de $PM_{2.5}$ durante 2012-2016 mostraron una mayor incidencia de COVID-19 que aquellos con concentraciones más bajas de contaminantes. La tasa de mortalidad no aumentó con valores crecientes de $PM_{2.5}$. Dichos valores de $PM_{2.5}$ son más altos, sin embargo, cuando los datos se calcularon como el número muertes por COVID-19 sobre número de casos (tasa de letalidad), no hubo asociación contundente con $PM_{2.5}$. Independientemente, los resultados sugieren que $PM_{2.5}$ no afecta la tasa de mortalidad.

Aunque no se han realizado estudios directos en la ciudad de Bogotá, una columna realizada por Santiago Valenzuela junto con el Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina («Equipo CODS», s. f.), comenta que en los periodos de confinamiento no se reportaron valores favorables o disminución de los contaminantes atmosféricos. Esta columna indica que la secretaria distrital de Ambiente explico que la calidad del aire en Bogotá para el periodo de confinamiento estuvo perturbada por los incendios forestales de Venezuela y los llanos orientales en Colombia, es un fenómeno que tiene bastante frecuencia en la temporada seca de los últimos meses del primer trimestre. Según la información indicada en esta columna, la secretaria distrital de ambiente estimo una reducción del 80% de la contaminación del aire, al tener estos eventos fuera de la jurisdicción del perímetro de Bogotá como lo fueron los incendios forestales, la calidad del aire no mejoró. Si bien no se ha estudiado una relación directa entre la contaminación y el virus COVID 19 en la ciudad, Jorge Bonilla, docente y director del REES-EfD, que es un grupo de economía ambiental de la Universidad de los Andes indicó que algunas personas a menudo experimentan síntomas respiratorios por su largo tiempo de exposición a eventos de contaminación, concluye indicando que las personas que presentan patologías respiratorias y cardiovasculares tienen mayor riesgo a la gravedad de la enfermedad por Covid 19.

METODOLOGIA

Descarga de información y cálculos promedio de los dos primeros trimestres del año 2020

La Secretaría distrital del ambiente tiene un portal en línea donde se pueden hacer consultas y descarga de información de la Red de Monitoreo de Calidad del aire, la información fue consultada y descargada usando el siguiente enlace. <http://201.245.192.252:81/home/map>

Cuando se accede al enlace de internet, se puede visualizar un mapa en línea con el índice Bogotano de calidad del aire actual. Se procede alcanzar la opción Reportes- Reporte de estaciones. Es en este lugar donde se dispone de un filtro de búsqueda.

The image shows a screenshot of a web application interface for air quality monitoring reports. At the top, there is a navigation menu with items: 'Mapas interactivos', 'Tablas Dinamicas', 'Reportes', 'Información', 'Sobre nosotros', 'Publicaciones', 'Enlaces', and 'Login'. Below the menu, there are two sub-menus: 'Encuesta' and 'Pronostico'. The main content area has a header with the text 'realizará un corte de luz en el bloque I de la Universidad del Bosque, lugar donde se encuentra ubicada la estación de calidad de aire de Usaquén.' and a sub-header 'Noticias' with a link to 'Se informa a la ciudadanía que el equipo de PM10 de la estación Puente Aranda se encuentra en mantenimiento, por lo tanto, los datos se encuentran fuera'. The main section is titled 'Reporte de estaciones' and contains several filters: 'Propósito:' with a dropdown set to 'Todos'; 'Seleccione Zona:' with a dropdown set to 'Todos'; 'Propietario:' with a dropdown set to 'Todos'; a checkbox for 'Mostrar estaciones activas' which is checked; a list of station names with checkboxes: 'blivia', 'lavajal - Sevillana', 'entro de Alto Rendimiento', 'ciudad Bolivar', and 'Cajica'; 'Seleccione vista del reporte:' with buttons for 'tabla' (selected), 'Gráfica', and 'Excel'; 'Periódico:' with buttons for 'Diario' (selected), 'Ayer', 'Semanal', 'Mensual', 'Anual', and 'Personalizado'; 'De la fecha' set to '08-11-2021'; 'De la hora' set to '00:01'; 'A fecha' set to '09-11-2021'; and 'A hora' set to '00:00'. On the right side of the filter area, there is a 3D illustration of an air quality monitoring station.

Figura 4. Visualización del portal de búsqueda en la sección Reportes de estaciones.

Al seleccionar las estaciones de monitoreo, se utiliza el siguiente filtro de búsqueda para encontrar el reporte con un periodo de tiempo mensual, se ingresa la fecha de interés, que para el caso es desde el 1 de enero 2020 hasta el 31 de agosto 2020, para finalizar se da click mostrar. Esto genera un archivo Excel de descarga. Realizado el procedimiento para cada mes, se obtienen distintos archivos Excel con datos de los contaminantes seleccionados en las estaciones, como se puede observar en la figura número 2.

Música	StationsReport_Abril2020.xlsx	06/11/2021 04:45 ...	Hoja de cálculo d...	16 KB
Vídeos	StationsReport_Agosto.xlsx	06/11/2021 05:12 ...	Hoja de cálculo d...	16 KB
Equipo	StationsReport_Enero2020.xlsx	06/11/2021 04:32 ...	Hoja de cálculo d...	17 KB
Disco local (C:)	StationsReport_Febrero2020.xlsx	06/11/2021 04:36 ...	Hoja de cálculo d...	16 KB
Red	StationsReport_Julio.xlsx	06/11/2021 04:58 ...	Hoja de cálculo d...	16 KB
	StationsReport_Junio.xlsx	06/11/2021 04:55 ...	Hoja de cálculo d...	16 KB
	StationsReport_Marzo.xlsx	06/11/2021 04:41 ...	Hoja de cálculo d...	17 KB
	StationsReport_Mayo2020.xlsx	06/11/2021 04:52 ...	Hoja de cálculo d...	16 KB

Figura 5. Visualización de archivos descargados con valores de PM₁₀ y PM_{2.5} para cada mes de los dos trimestres del año 2020

Estos archivos como se puede observar en la figura número 4, descargan datos de forma horaria y diaria en un mes, por lo cual teniendo dicha información se utilizaron funciones de Excel para determinar el promedio para el primer y segundo trimestre de PM₁₀ y PM_{2.5}.

	A	B	C	D	E	F
1	ESTACIONES	LatitudLongitud	1er Trimestre Pm10	2do Trimestre Pm10	1er Trimestre Pm2.5	2do Trimestre Pm2.5
2	Guaymaral	4 47 1.52 N 74 2 39.06 W	29,4	18	19,95	7,85
3	Suba	4 45 40.49 N 74 5 36.46 W	52,35	22,05	22,15	8,525
4	Las Ferias	4 41 26.52 N 74 4 56.94 W	33,45	15,175	20,6	7,525
5	CentroArendimientc	4 39 30.48 N 74 5 2.28 W	28,325	13,55	19,775	6,825
6	PuenteAranda	4 37 54.36 N 74 7 2.94 W	11,6	10,6	24,55	13,9
7	Kennedy	4 37 30.18 N 74 9 40.80 W	44,45	33,45	27,45	15,3
8	Carvajal-Sevillana	4 35 44.22 N 74 8 54.90 W	62,125	56,025	32,975	22,575
9	Tunal	4 34 34.41 N 74 7 51.44 W	43,75	25,275	20,375	8,55
10	SanCristobal	4 34 21.19 N 74 5 1.73 W	33,225	15,525	17,65	5,85
11	Usaquen	4 42 37.26 N 74 1 49.50 W	27,9	11,825	21,825	8,55
12	MinAmbiente	4 37 31.75 N 74 4 1.13 W	29,275	13,8	17,85	7,4
13	Movil 7ma	4 38 42.7 N 74 03 41.6 W	50,075	27,925	30,1	13,5

Figura 6. Promedios calculados de los dos trimestres 2020 para PM₁₀ y PM_{2.5} junto con valores de coordenadas para cada estación de monitoreo

Inclusión de valores promedio de PM₁₀ y PM_{2.5} y coordenadas geográficas de las Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire RMCA

Teniendo el archivo Excel con la información, es guardado en formato reconocible para la aplicación de SIG, Libro de Excel 97-2003 .xlsx.

Procedimiento: Add Data → search for Excel file → Hit O.K option.

Georreferenciación de datos estadísticos de PM₁₀ y PM_{2.5} correlacionándolos con las coordenadas geográficas de las estaciones de Monitoreo, utilizando Convertí coordinate notation.

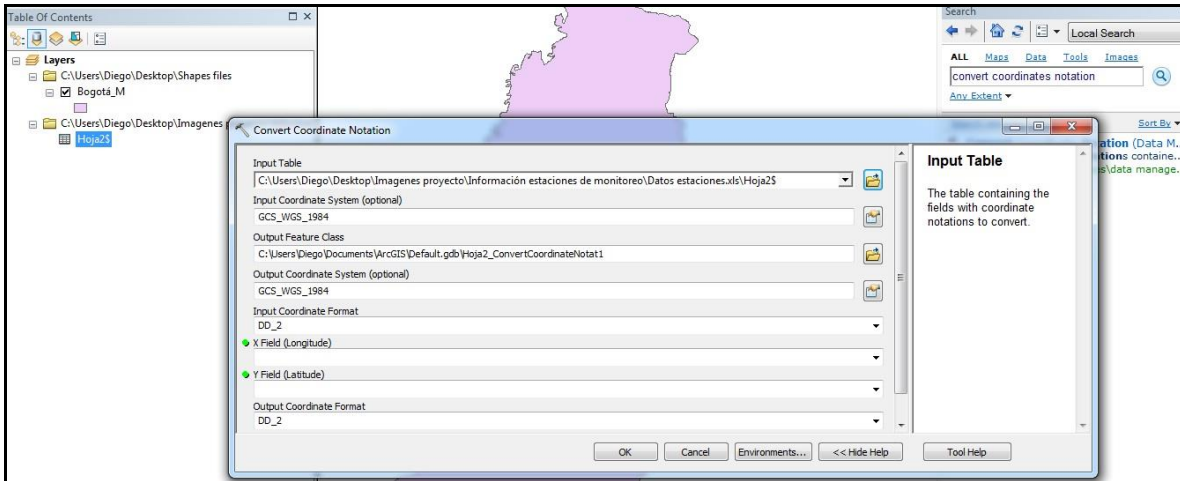


Figura 7. Visualización procesamiento Convert coordinate notation utilizando archivo de excel para genera un shape file de puntos.

Procedimiento: Open Catalog window to Access data → Select Excel file within Input table option → Select DD_1 option on Input coordinates format → Select LongitudLatitud field on X Field → Hit OK option.

Right click on the file generated → Hit on Data → Export data → Hit OK option.

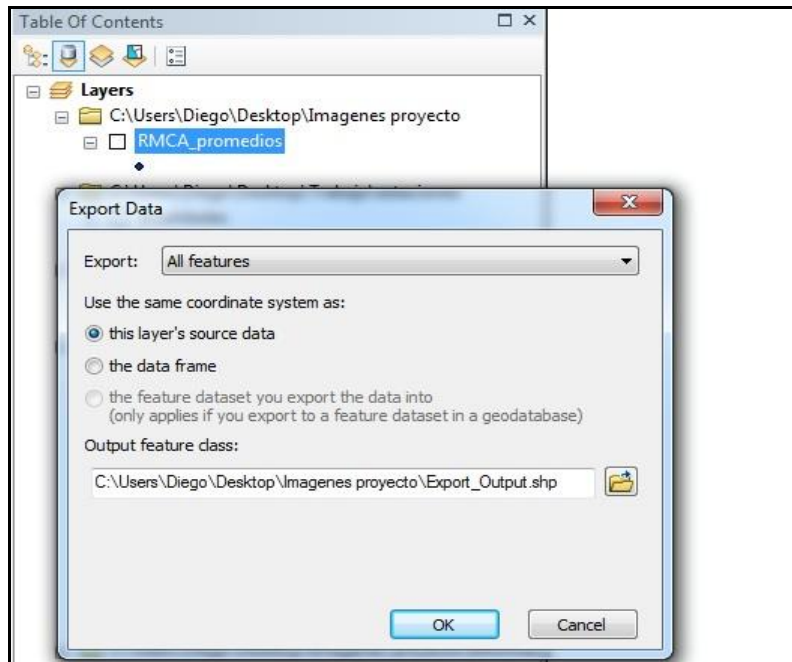


Figura 8. Procesamiento para exportar el shape file de puntos generado

Al exportar la información se genera un shape file de puntos, la cual contiene los nombres de las estaciones de monitoreo de la RMCA y sus valores promedio de los dos primeros trimestres del año 2020 de PM₁₀ y PM_{2.5}.

ESTACIONES	Latitud	Long	1er Trim PM10	2do Trime PM10	1er Tri PM2.5	2do Tri PM2.5
Guaymaral	4 47 1.52 N	74 2 39.06 W	29,4	18	19,95	7,85
Suba	4 45 40.49 N	74 5 36.46 W	52,35	22,05	22,15	8,525
Las Ferias	4 41 26.52 N	74 4 56.94 W	33,45	15,175	20,6	7,525
CentroArendimiento	4 39 30.48 N	74 5 2.28 W	28,325	13,55	19,775	6,825
PuenteAranda	4 37 54.36 N	74 7 2.94 W	11,6	10,6	24,55	13,9
Kennedy	4 37 30.18 N	74 9 40.80 W	44,45	33,45	27,45	15,3
Carvajal-Sevillana	4 35 44.22 N	74 8 54.90 W	62,125	56,025	32,975	22,575
Tunal	4 34 34.41 N	74 7 51.44 W	43,75	25,275	20,375	8,55
SanCristobal	4 34 21.19 N	74 5 1.73 W	33,225	15,525	17,65	5,85
Usaquen	4 42 37.26 N	74 1 49.50 W	27,9	11,825	21,825	8,55
MinAmbiente	4 37 31.75 N	74 4 1.13 W	29,275	13,8	17,85	7,4
Movil 7ma	4 38 42.7 N	74 03 41.6 W	50,075	27,925	30,1	13,5

Figura 9. Visualización tabla de atributos con valores de los dos trimestres 2020 para PM₁₀ y PM_{2.5} en formato vector.

INTERPOLACIÓN METODO IDW (SPATIAL ANALYST TOOL)

Se incluye la capa de localidades a la tabla de contenido y se realiza el siguiente procesamiento para generar una capa en formato ráster con los valores promedio de PM₁₀ y PM_{2.5}.

Procesamiento: Seek IDW Spatial Analyst tool with search option → Place RMCA_promedios on input point features → Select 1er Trime PM₁₀ on Z value field → Go to environments → Hit on Processing extent → Select Localidades Shape file → scroll down to Raster Analysis → Select Localidades Shape file on Mask option → Hit OK option.

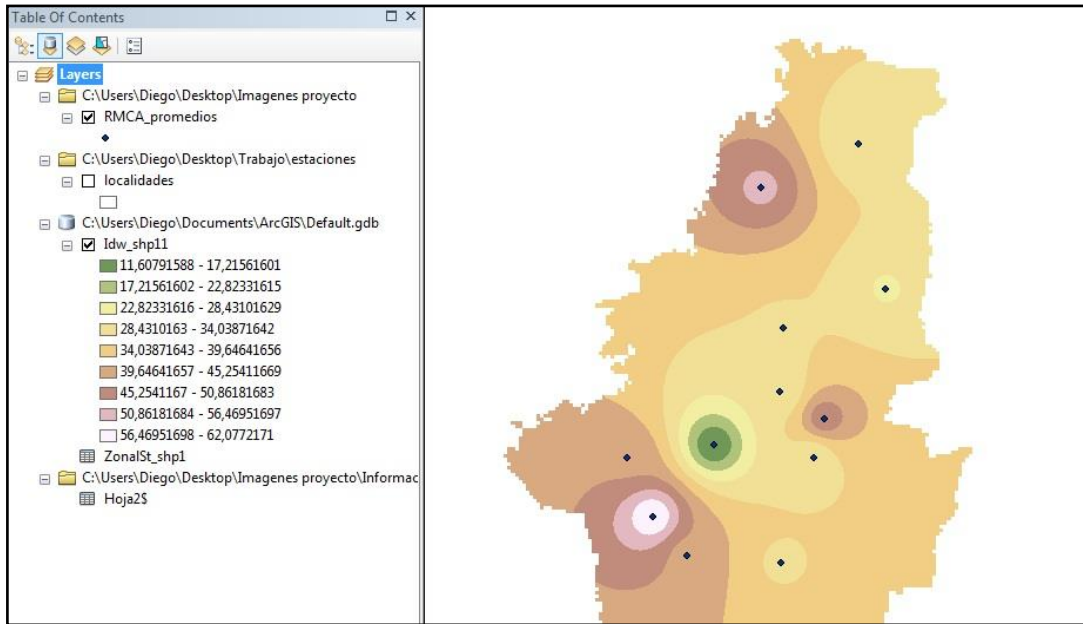


Figura 10. Interpolación con el Metodo IDW para el primer trimestre con valores de PM₁₀

Este procesamiento es realizado igualmente para el promedio primer trimestre de Pm_{2.5} y los promedios del segundo trimestre de PM₁₀ y PM_{2.5}.

DETERMINACIÓN DE VALORES PROMEDIO POR LOCALIDAD A PARTIR DE VALORES DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO.

Teniendo una capa ráster de la salida generada de interpolación con el método IDW, se pueden observar valores en cualquier punto utilizando la opción Identify.

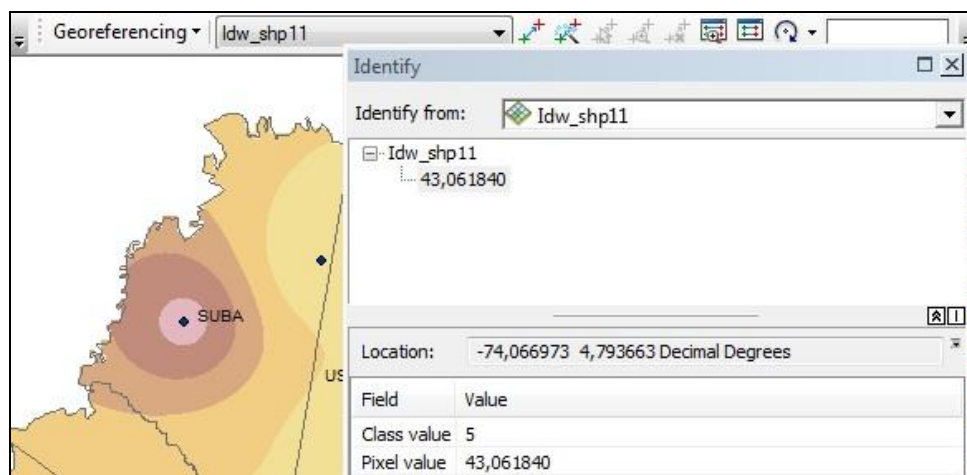


Figura 11. Visualización de la herramienta Identify la cual permite revisar valores en cualquier parte de la capa raster generada

La determinación de los valores promedio de PM₁₀ y PM_{2.5} a una escala local es realizada con la opción Zonal Statistics as a Table.

Procesamiento: Seek Zonal Statistics as a Table tool with search option → Place Localidades shape file on Input raster or feature zone data → Select Nombre on Zone field → Select IDW raster on Input value raster → Select Mean on Statistics type → Hit OK option.

Se genera una tabla con la media para cada localidad. Este procedimiento es realizado igualmente para el promedio primer trimestre de Pm_{2.5} y los promedios del segundo trimestre de PM₁₀ y PM_{2.5}.

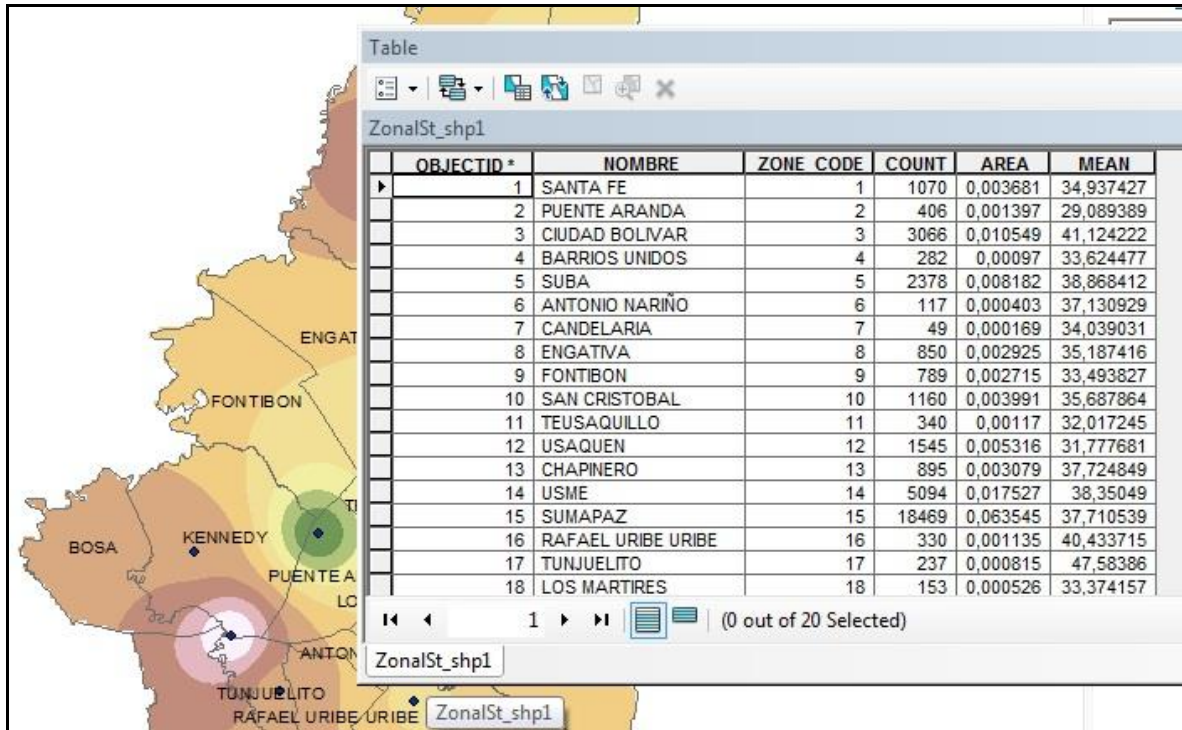


Figura12. Visualización de la tabla de atributos posterior al procesamiento zonal, con valores medios de PM₁₀ para el primer trimestre del año.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de obtener un promedio de los dos trimestres del año 2020 de PM₁₀ y PM_{2.5} evidencia la siguiente información para cada estación de monitoreo.

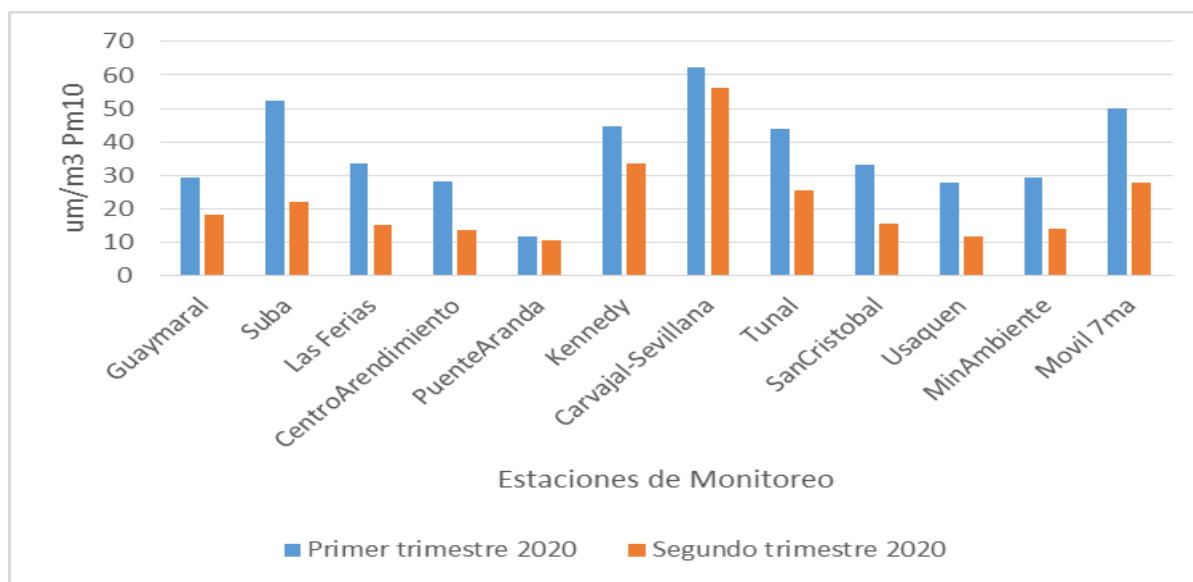
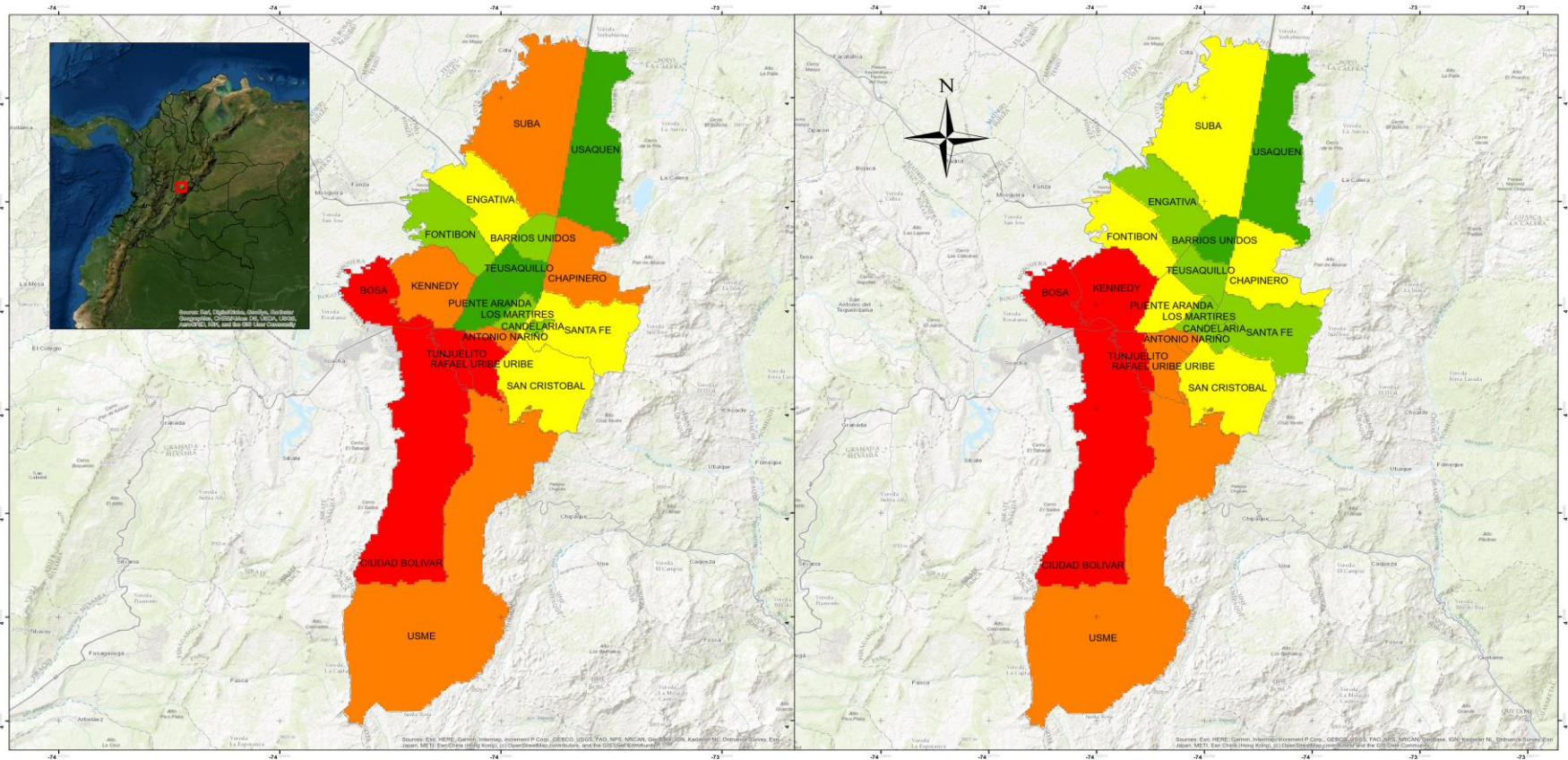


Figura13. Comparación entre valores de PM₁₀ para el primer y segundo trimestre año 2020 estaciones RMCA

Para el caso del material particulado PM₁₀ se confirma que la estación de Carvajal-Sevillana reportó el máximo valor promedio para ambos trimestres del año 2020 (62.12 ug/m³, 56.02 ug/m³). Según el Informe anual de Calidad del Aire de Bogotá año 2020 emitido por la Secretaría Distrital del Ambiente y la Alcaldía Mayor de Bogotá, dicha estación de Carvajal-Sevillana superó el valor establecido por la normatividad Colombiana con un promedio anual de 64.0ug/m³ (*Informe Anual de Calidad del Aire Año 2020* » *Observatorio Ambiental de Bogotá*, s. f.), razón por la cual se puede inferir que los valores son similares a este estudio que comprendió solo los dos trimestres del año. Las estaciones de Suba, Kennedy y Tunal también reportaron promedios para el primer trimestre cercanos al valor de la norma anual con un rango de 43.75 um/m³- 52.35 um/m³.

Hubo una reducción significativa de PM₁₀ para el segundo trimestre del año que compone los meses (mayo, junio, Julio, agosto), en promedio este contaminante atmosférico se redujo 37.47% para todas las localidades de la ciudad. La evaluación de las concentraciones de estos aerosoles se basa en la normativa establecida según la resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida en su momento por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial, la cual se modificó mediante la Resolución 610. Esta resolución indica que los máximos niveles permisibles para PM₁₀ es 50ug/m³ con un tiempo de exposición anual; Las localidades de Bosa, Kennedy, Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar se acercan a este valor máximo permisible superando los 40ug/m³.



<p>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</p> <p>Concentraciones promedio PM10 primer y segundo trimestre Año 2020</p> <p>Diego A. Sanchez. Hector Moreno</p>	<p>LEYENDA</p> <p>□ Zona urbana Localidades</p> <p>Material Particulado PM10 Primer Trimestre 2020 ug/m3</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 29,08 - 32,01 ■ 32,01 - 34,03 ■ 34,03 - 35,68 ■ 35,68 - 40,02 ■ 40,02 - 47,58 <p style="font-size: 2em; text-align: center;">1:170.000</p> <p style="text-align: center;">0 3,5 7 14 21 28 Kilometers</p>	<p>LEYENDA</p> <p>□ Zona urbana Localidades</p> <p>Particulado PM10 Segundo Trimestre 2020 ug/m3</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 16,28 - 17,29 ■ 17,29 - 19,05 ■ 19,05 - 20,68 ■ 20,68 - 24,60 ■ 24,60 - 33,54 <p style="font-size: 2em; text-align: center;">1:170.000</p> <p style="text-align: center;">0 3,5 7 14 21 28 Kilometers</p>
---	---	---

Mapa1. Concentraciones promedio de Material particulado ug/m³ PM₁₀ para el primer y segundo trimestre año 2020

El mapa 1 muestra un comportamiento de concentraciones trimestrales y un incremento para los primeros meses del año, sin embargo el descenso en las concentraciones que se evidencia a partir del mes de Mayo, es debido a la adopción de fuertes medidas para contener la propagación del virus Covid-19. Uno de los grandes hallazgos encontrados con este mapa temático, fue el cambio en el valor mínimo de concentración promedio para PM₁₀, para el primer trimestre del año, su valor fue 29.08ug/m³ reportado en la localidad de Puente Aranda, y para el segundo trimestre fue de 16.28 ug/m³ en la localidad de Usaquen. El caso fue similar para el valor máximo reportado en la localidad de Tunjuelito para el primer trimestre con un valor de 47.58 ug/m³ y para el segundo cambió a 33.54 ug/m³ en la misma localidad. Las estaciones localizadas al sur y suroccidente de la ciudad registraron máximos valores de material particulado (*Informe Anual de Calidad del Aire Año 2020* » *Observatorio Ambiental de Bogotá*, s. f.), es por ello que se observa similitud con los datos obtenidos en este estudio, ya que el mapa denota con color rojo rangos entre 35.68-47.58 ug/m³ para el primer trimestre localidades como Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito; y 20.68-33.54 ug/m³ para el segundo trimestre en las mismas localidades.

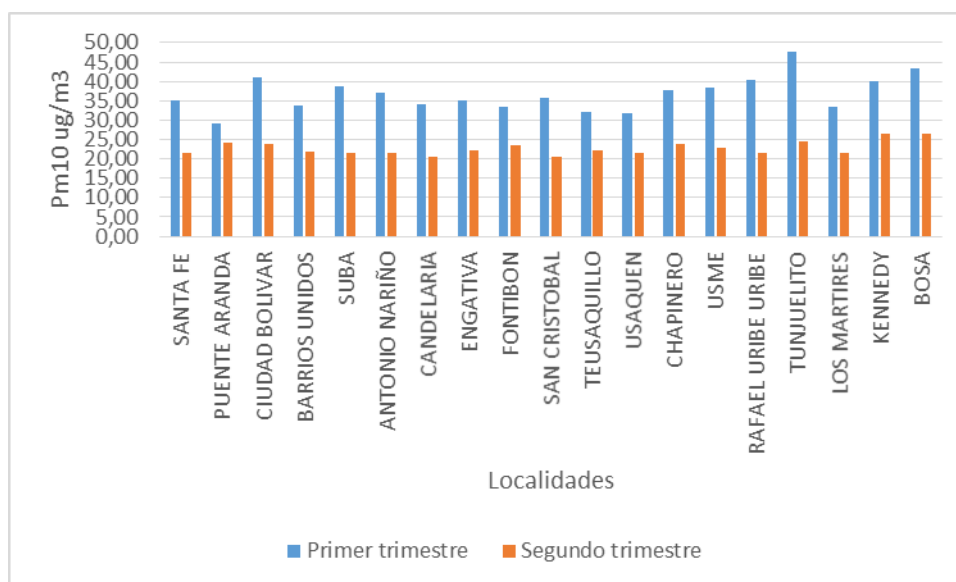


Figura14. Comparación entre valores de PM₁₀ para el primer y segundo trimestre año 2020 Localidades

Los valores más bajos del promedio anual de PM₁₀ de acuerdo al informe Anual de la secretaría distrital se encontraron en la zona centro y sur oriente de la ciudad (*Informe Anual de Calidad del Aire Año 2020* » *Observatorio Ambiental de Bogotá*, s. f.), caso similar para este estudio donde se evidencian rangos entre 29.08-34.03 ug/m³ para localidades como Barrios Unidos, Teusaquillo, Puente Aranda, Candelaria y Santafé para el primer trimestre; y 16.28-20.68 ug/m³ para el segundo trimestre en las mismas localidades incluyendo Engativá que muestra buena reducción de la contaminación por material particulado.

Para el caso del material particulado PM_{2.5} se puede confirmar una reducción de hasta el 51.57% en promedios para todas las localidades del segundo trimestre del año. Si bien las concentraciones más altas fueron encontradas en los 3 primeros meses del año a causa de variaciones en los parámetros meteorológicos y el comportamiento en todas las fuentes de emisión. El valor máximo permisible para PM_{2.5} indicado por la normatividad ambiental colombiana es 25 ug/m³ con un tiempo de exposición anual y 50 ug/m³ como dato de referencia diario. (*Informe Anual de Calidad del Aire Año 2020* » Observatorio Ambiental de Bogotá, s. f.)

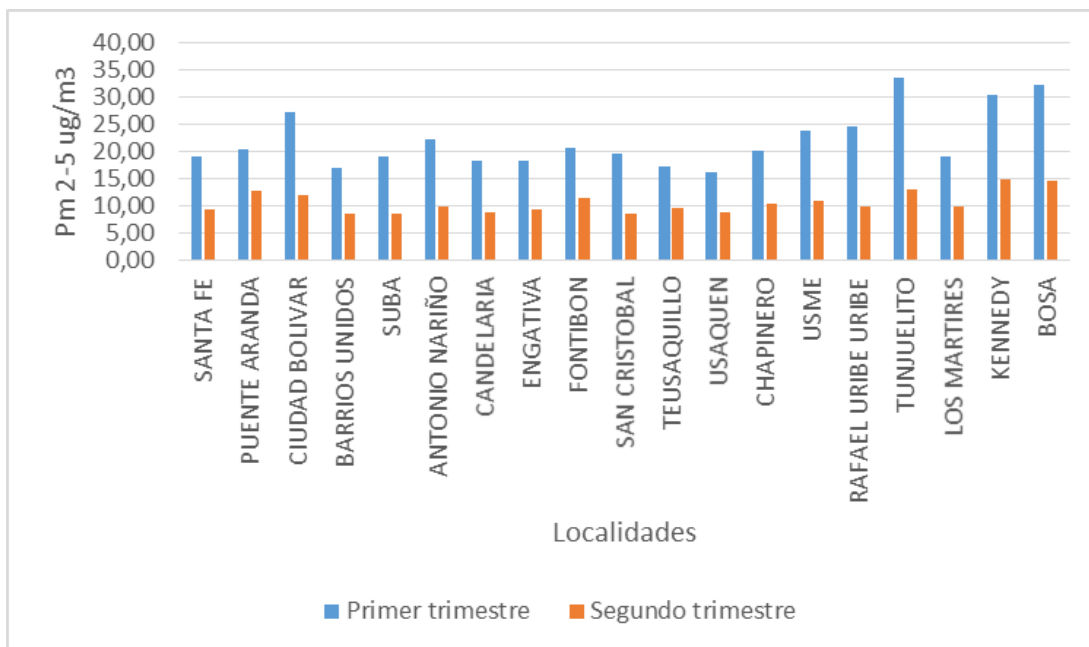
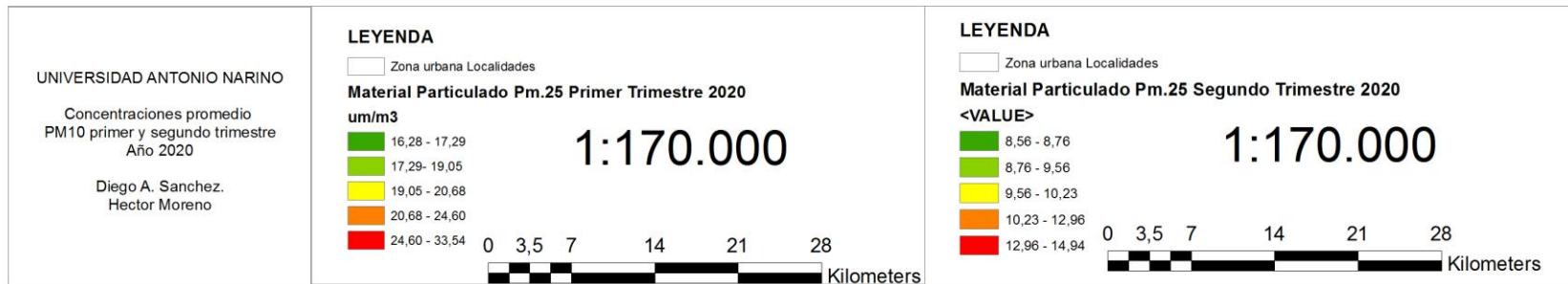
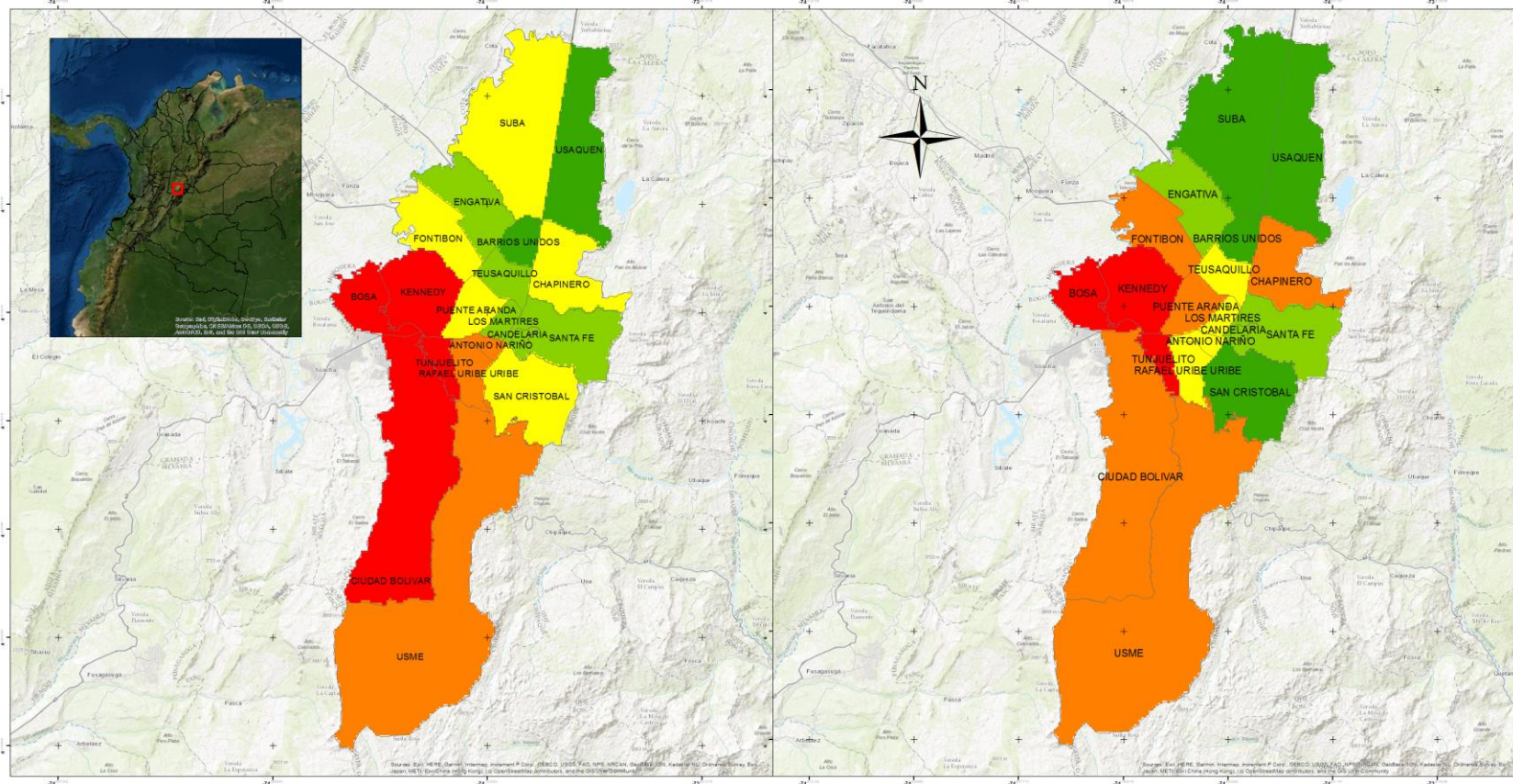


Figura15. Comparación entre valores de PM_{2.5} para el primer y segundo trimestre año 2020

Para los primeros meses del año se superaron las concentraciones máximas permisibles en localidades como Bosa, Kennedy, Tunjuelito y ciudad Bolívar. El máximo valor reportado para el primer trimestre fue en la localidad de Tunjuelito con 33,54 ug/m³ superando la normatividad colombiana (25 ug/m³ datos anual) y el valor mínimo lo registró la localidad de Barrios Unidos con 16.95 ug/m³.

Las localidades de Santafe, Barrios unidos, Suba, Candelaria, Engativa, San Cristobal, Teusaquillo, Usaquen y los Martines no superaron los 25 ug/m³ de la norma anual permisible impartida. Las localidades que mostraron mayor reducción de la concentración de PM_{2.5} fueron Tunjuelito de 33,54 a 12,97 ug/m³ (reducción del 61.32%) y Rafael Uribe Uribe de 24,59 a 9,80 ug/m³ (reducción del 60.12%).



Mapa2. Concentraciones promedio de Material particulado ug/m³ PM_{2.5} para el primer y segundo trimestre año 20

La razón por la cual las concentraciones fueron elevadas en los primeros meses del año 2020 está relacionada con las condiciones meteorológicas poco favorables para que los contaminantes pudieran ser dispersados, y por el transporte de los contaminantes que se generaron en los incendios forestales originados en el oriente de Colombia y Venezuela (*Informe Anual de Calidad del Aire Año 2020* » *Observatorio Ambiental de Bogotá*, s. f.).

Según los datos calculados de este estudio, los promedios trimestrales más altos se encontraron en la zona suroccidente de la ciudad y en estaciones de monitoreo Movil 7ma (30,1 ug/m³), Kennedy (27,45 ug/m³), Carvajal-Sevillana (32,975 ug/m³), todos ellos superando la normatividad colombiana (25 ug/m³ datos anual). En los meses siguientes se produjo un mejoramiento de las condiciones de meteorología para que dispersión de la contaminación (*Informe Anual de Calidad del Aire Año 2020* » *Observatorio Ambiental de Bogotá*, s. f.). Los valores más bajos se encuentran en la zona norte en las estaciones Suba, Guaymaral de las localidades de Suba y Usaquen.

A simple vista el mapa 2 detalla un cambio notorio para los resultados del segundo trimestre, donde la mayor parte del mapa ilustra tonalidades verde, amarillo y naranja con un rango de valores de 8.56-12.96 ug/m³, diferente de los resultados para el primer trimestre donde la tonalidad naranja alcanza un valor máximo de 24.60 ug/m³, casi alcanzando el valor anual máximo permisible para PM_{2.5}.

Bogotá reportó la primera cuarentena obligatoria el 24 de Marzo de 2020 posterior a un simulacro realizado del 20 al 23 de Marzo/2020 (Masmela_1, 2020). Esto implicó que la población se sometiera a fuertes medidas de aislamiento para los meses siguientes, en los cuales se restringió la movilidad, el uso del carro particular con algunas excepciones, cuarentenas localizadas, toques de queda entre otros, el sector productivo de la ciudad estuvo sin actividad. Aun así, pasados los meses de junio, Julio, agosto la ciudad siguió un proceso de apertura gradual de ciertos sectores productivos, sin embargo, la cuarentena nacional continuó hasta el 31 de agosto. (S.A.S, s. f.). Se confirma que en los meses del Segundo trimestre del año 2020 la contaminación por material particulado bajó considerablemente, indicando que las políticas adaptadas por el gobierno y la población generó una externalidad positiva que para este caso fue la reducción de la contaminación por material particulado en gran parte de la mancha urbana de la ciudad.

En cuanto a las fuentes de emisión, según el inventario de emisiones de la secretaría distrital de ambiente, las localidades que tienen ubicadas las principales vías de las ciudad son Engativá, Suba, Usaquen, Fontibón y Kennedy, estas dos últimas aportan el 22% en las emisiones de fuentes móviles en carretera. (*Inventario de Emisiones de Bogotá Contaminantes atmosféricos.pdf*, s. f.)

Podemos resaltar que las fuentes móviles son los que más aportan carga contaminante por material particulado, ya que para el año 2018 el total de toneladas por año fue de 1872, en comparación con las fuentes fijas que reportaron un valor de 482 toneladas/año, siendo casi 4 veces más contaminante el parque automotor de Bogotá que las industrias localizadas en el perímetro urbano. (*inventario_de_emisiones_2018_version_enero_2020.pdf*, s. f.)

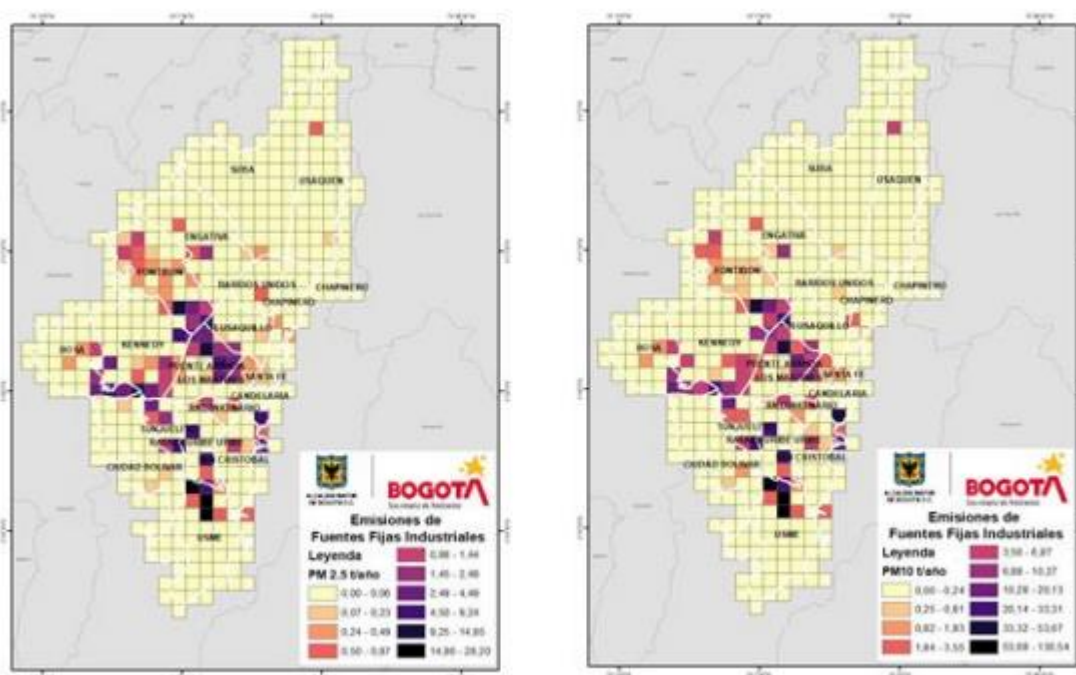


Figura16. Distribución fuentes fijas PM2.5 y PM10 de un día hábil año 2018

Estos mapas dan evidencia que la mayor parte de fuentes fijas están localizadas en la zona suroccidente de la ciudad. La información cartográfica presentada valida los resultados obtenidos, demostrando que las localidades de Kennedy, Tunjuelito, Usme, Ciudad Bolívar y Bosa que cubren gran parte de la zona sur occidente de Bogotá son las que presentan mayor contaminación y por tanto mayor riesgo de sufrir enfermedades respiratorias en la población susceptible a presentar este tipo de enfermedades.

De acuerdo con el Inventario de emisiones para 2018 de la Secretaría Distrital de ambiente, en términos de fuentes fijas la localidad de Usme fue el que aportó mayores emisiones de material particulado con un 47.5%, la localidad que le sigue fue Kennedy con 17% y en tercer lugar la localidad de Tunjuelito con un 7.7%. Esto se debe a que en estas localidades la combustión de compuestos sólidos como el carbón es más frecuente, uno de los resultados de este tipo de combustión es el material particulado. Sectores de Usme contiene industrias con alta actividad del sector ladrillero, y es la cocción de materiales que contienen arcilla uno de los que genera mayor polución a la capa atmosférica de aerosoles. (*Inventario de Emisiones de Bogotá Contaminantes atmosféricos.pdf*, s. f.)

En cuanto al material resuspendido producto de las vías, localidades como Kennedy, Ciudad Bolívar, Bosa, Engativá y Fontibón se evidencia mayores emisiones de este material, y son las localidades ubicadas en el sur occidente de la ciudad donde se encuentra mayores vías que no han sido pavimentadas. (*Inventario de Emisiones de Bogotá Contaminantes atmosféricos.pdf*, s. f.)

Se puede decir que en estas localidades, la combinación de emisiones por fuentes fijas, móviles y material resuspendido, es mayor a las demás localidades de la ciudad, y por ende, son estas las que requieren mayor atención en términos de generación de políticas que ayuden a la mitigación o reducción de este contaminante suspendido en la atmosfera.

Así mismo, debieran ser estas localidades objeto primordial de aplicación de fuertes medidas de regulación de la movilidad, fortaleciendo los sistemas de transporte público ofreciendo calidad, pues son estos los que están manejando tecnologías nuevas en motores de combustión y logrando así una disminución en el uso de vehículos particulares, que en la mayoría de los casos superan los 10 años de antigüedad, estas fuentes móviles no poseen motores que ayuden a la reducción de las emisiones por material particulado.

CONCLUSIONES

La metodología usada arrojó resultados positivos que permitieron realizar análisis de los cambios en cuanto a la concentración de las partículas PM₁₀ y PM_{2.5}, en el lapso de tiempo analizado, observándose una gran disminución de hasta el 37.47% de PM₁₀ y 51.57% PM_{2.5} para el segundo trimestre del año en relación a las localidades de la zona urbana de Bogotá.

Los habitantes de la ciudad de Bogotá respiraron un aire no tan perturbado en el segundo trimestre del año 2020, ya que los resultados evidenciaron reducción sustancial del material particulado PM₁₀ y Pm_{2.5} en la superficie de la zona urbana Bogotana.

Las concentraciones más altas de PM₁₀ y PM_{2.5} fueron encontradas en los 3 primeros meses del año 2020 a causa de variaciones en los parámetros meteorológicos, y el comportamiento en todas las fuentes de emisión. Las localidades con mayores valores promedio de estos contaminantes fueron Bosa, Kennedy, Tunjuelito y ciudad Bolívar.

Se identificó que la estación de monitoreo Carvajal-Sevillana ubicada en la localidad de Kennedy y en inmediaciones a la localidad y población de Tunjuelito, fue la estación que superó el máximo valor permisible de 50ug/m³ de PM₁₀ establecido por la normatividad colombiana con un valor para el primer trimestre de 62.12ug/m³ y 56.02ug/m³ para el segundo trimestre. Igualmente superó el máximo valor permisible de PM_{2.5} (25ug/m³) para el primer trimestre con un valor calculado de 32.97 ug/m³.

Se confirma que los las fuentes móviles son las que más aportan carga contaminante de material particulado, sin embargo, es la combinación de emisiones por fuentes fijas, móviles y material resuspendido, la causa más importante de que la zona sur occidente de la ciudad presente mayores concentraciones de aerosoles.

Se concluye que Bogotá como la mayoría de las capitales suramericanas presenta graves problemas de contaminación atmosférica, debido a la inclusión de zonas industriales dentro del perímetro urbano que se mezclan con zonas residenciales, lo cual se observa en las localidades de Kennedy, Tunjuelito, Bosa y Ciudad

Bolivar. Los habitantes de estas localidades sintieron un alivio y mejora en la calidad del aire respirable durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto.

RECOMENDACIONES

Dentro de los documentos y datos estudiados como base para el presente estudio se observa que ciudades con dinámicas ambientales iguales o muy parecidas a las de la ciudad de Bogotá, presentan redes mucho más densas de estaciones de monitoreo, lo cual demostraría la necesidad de la ciudad de acceder a más estaciones de este tipo dentro de sus límites y en zonas críticas.

Se recomienda la adopción de protocolos y normatividad con mayor contundencia que permitan la mitigación de la contaminación atmosférica, debido a fuentes fijas industrializadas y fuentes móviles de carga pesada.

BIBLIOGRAFÍA

- Aire—Secretaría Distrital de Ambiente.* (s. f.). Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <http://nuevo.ambientebogota.gov.co/es/web/sda/aire>
- Camacho, C. A. D., Andre, C., Castan, S., & Orjuela, E. (s. f.). *MARTHA LUCÍA OSPINA MARTÍNEZ.* 443.
- Enfermedad por el Coronavirus (COVID-19) | OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud.* (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2022, de <https://www.paho.org/es/enfermedad-por-coronavirus-covid-19>
- Equipo CODS. (s. f.). *CODS.* Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://cods.uniandes.edu.co/equipo/>
- Fischer_García_Franz_Leonard_2020.pdf.* (s. f.). Recuperado 8 de noviembre de 2021, de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/5540/Fischer_Garc%C3%ADa_Franz_Leonard_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Gaitán, M., Cancino, J., & Behrentz, E. (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería*, 26, 81-92.
- Informe Anual de Calidad del Aire Año 2020 » Observatorio Ambiental de Bogotá.* (s. f.). Observatorio Ambiental de Bogotá. Recuperado 16 de enero de

2022, de

https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=18852

Informe anual de calidad del aire de Bogotá Año 2016 » Observatorio Ambiental de

Bogotá. (s. f.). Observatorio Ambiental de Bogotá. Recuperado 8 de

noviembre de 2021, de

https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=3140

Inventario de Emisiones de Bogotá Contaminantes atmosféricos.pdf. (s. f.).

Recuperado 28 de enero de 2022, de

[https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/397082/Inventario+d](https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/397082/Inventario+de+Emisiones+de+Bogota+portal+nuevo.pdf/972994eb-7f58-42c2-a801-0f8579937919)

[e+Emisiones+de+Bogota+portal+nuevo.pdf/972994eb-7f58-42c2-a801-](https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/397082/Inventario+de+Emisiones+de+Bogota+portal+nuevo.pdf/972994eb-7f58-42c2-a801-0f8579937919)

[0f8579937919](https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/397082/Inventario+de+Emisiones+de+Bogota+portal+nuevo.pdf/972994eb-7f58-42c2-a801-0f8579937919)

Inventario_de_emisiones_2018_version_enero_2020.pdf. (s. f.). Recuperado 28

de enero de 2022, de

[https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Noticias/10-03-](https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Noticias/10-03-2020/inventario_de_emisiones_2018_version_enero_2020.pdf)

[2020/inventario_de_emisiones_2018_version_enero_2020.pdf](https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Noticias/10-03-2020/inventario_de_emisiones_2018_version_enero_2020.pdf)

Masmela_1, D. A. P. (2020, marzo 25). *COVID-19: Del simulacro de aislamiento*

en Bogotá a la cuarentena nacional [Text]. Universidad de los Andes -

Colombia - Sitio oficial. [https://uniandes.edu.co/es/noticias/salud-y-](https://uniandes.edu.co/es/noticias/salud-y-medicina/covid19-del-simulacro-de-aislamiento-en-bogota-a-la-cuarentena-nacional)

[medicina/covid19-del-simulacro-de-aislamiento-en-bogota-a-la-cuarentena-](https://uniandes.edu.co/es/noticias/salud-y-medicina/covid19-del-simulacro-de-aislamiento-en-bogota-a-la-cuarentena-nacional)

[nacional](https://uniandes.edu.co/es/noticias/salud-y-medicina/covid19-del-simulacro-de-aislamiento-en-bogota-a-la-cuarentena-nacional)

Material particulado PM10/PM2,5. (s. f.). Ayuntamiento de Valladolid. Recuperado

8 de noviembre de 2021, de

[https://www.valladolid.es/es/rccava/contaminantes/material-particulado-](https://www.valladolid.es/es/rccava/contaminantes/material-particulado-pm10-pm2-5)

[pm10-pm2-5](https://www.valladolid.es/es/rccava/contaminantes/material-particulado-pm10-pm2-5)

Objetivos—Secretaría Distrital de Ambiente. (s. f.). Transparencia. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de

<https://ambientebogota.gov.co/web/transparencia/objetivos>

PAHO/WHO | Pan American Health Organization. (s. f.). Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://www.paho.org/en>

Partículas en suspensión. (s. f.). Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/particulas.aspx>

Sanitarios, C. F. para la P. contra R. (s. f.). *Clasificación de los contaminantes del aire ambiente.* gob.mx. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <http://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>

S.A.S, E. L. R. (s. f.). *Estos son los sectores que tendrán una apertura gradual a partir de junio.* Diario La República. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://www.larepublica.co/economia/estos-son-los-sectores-que-tendran-una-apertura-gradual-a-partir-de-junio-3008217>

US EPA, O. (2018, junio 4). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente* [Overviews and Factsheets].

<https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>