



“Asociación entre la concentración de Material Particulado 2.5 y 10 y mortalidad en menores de 5 años asociada a Enfermedad Respiratoria Aguda en Bogotá 2014 – 2021”

Autora:

Jenny Alejandra García Contreras

Director De Tesis:

John Alexander Benavides, Médico Cirujano, PhD Salud Colectiva; Magister en Salud y Seguridad en el trabajo

Título por el que opta:

Magister en Salud Pública

Escuela de medicina y ciencias de la salud – Facultad de Medicina

Maestría en Salud Pública

Universidad del Rosario

Bogotá D.C

2024

TABLA DE CONTENIDO

Abstract / Resumen	5
Introducción	11
<i>Objetivos</i>	14
<i>Objetivo general</i>	14
<i>Objetivos específicos</i>	14
Métodos.....	14
<i>Población</i>	15
<i>Criterios de inclusión y exclusión</i>	16
<i>Variables</i>	16
<i>Plan de análisis estadístico</i>	18
<i>Plan de control de sesgos</i>	18
<i>Consideraciones éticas</i>	19
Resultados	19
<i>Capítulo 1 - Tendencias de mortalidad en menores de 5 años asociada a enfermedad respiratoria aguda (ERA) en Bogotá y sus localidades</i>	20
<i>Capítulo 2 – Análisis de tendencias de PM10 y PM2.5 en Bogotá y sus localidades</i>	
<i>PM10</i>	28
<i>PM 2.5</i>	33
<i>Capítulo 3: Asociación entre la mortalidad en menores de 5 Años asociada a enfermedad respiratoria aguda y las concentraciones de PM10 y PM2.5 en Bogotá y sus localidades 2014-2021</i>	39
Discusión	42
<i>Objetivo 1: Identificación de las tendencias de mortalidad en menores de 5 años asociada a enfermedad respiratoria aguda (ERA) en Bogotá</i>	42
<i>Objetivo 2: Descripción de las tendencias en la concentración de material particulado (2014-2021)</i>	43
<i>Objetivo 3: Correlación entre las concentraciones de PM2.5 y PM10 y la mortalidad en menores de 5 años asociada a enfermedad respiratoria aguda (ERA) 2014-2021</i>	45
Limitaciones	46
Conclusiones	47
Referencias	49

Índice de Tablas

Tabla 1.

“Media y desviación estándar de la mortalidad en menores de 5 años asociada a enfermedad respiratoria aguda (ERA) en Bogotá y sus localidades (2014-2021)”20

Tabla 2.

“Media y desviación estándar de PM10 para Bogotá y 7 localidades 2014 - 2021” 28

Tabla 3.

“Media y desviación estándar de PM2.5 para cada Bogotá y sus localidades 2014 - 2021” 33

Tabla 4.

“Correlaciones para TM en menores de 5 años asociada a ERA x 10,000 niños y Concentraciones de material particulado 10 y 2.5 entre 2014 - 2021” 39

Figuras

Figura 1. “Distribución de las estaciones Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá” ...	17
Figura 2. “Gráfica de tendencias de TM en menores de 5 años asociada a ERA en las localidades de Bogotá 2014 – 2021”	20
Figura 3 “Grafica de tendencias de PM10 en Bogotá y 7 localidades 2014 – 2021”	29
Figura 4. “Grafica de tendencias de PM2.5 en Bogotá y sus localidades 2014 – 2021”	34

“Asociación entre la concentración de Material Particulado 2.5 y 10 y mortalidad en menores de 5 años asociada a Enfermedad Respiratoria Aguda en Bogotá 2014 – 2021”

Investigadora: Jenny Alejandra García Contreras.

Nombre del tutor temático / Director de tesis: John Alexander Benavides Piracón.

Programa: Maestría en Salud Pública.

Resumen

Introducción: La contaminación del aire, que incluye contaminantes como PM_{2.5} y PM₁₀, tiene un impacto significativo en la salud respiratoria, especialmente en menores de 5 años. Estos contaminantes provienen de diversas fuentes, como emisiones industriales y combustión de biomasa, y están asociados con enfermedades respiratorias agudas (ERA) y alta mortalidad. En Bogotá, a pesar de contar con una red de monitoreo, no se han realizado estudios que correlacionen directamente la concentración de estos contaminantes con la mortalidad en menores de 5 años por ERA. Este estudio busca analizar esta asociación para entender mejor el impacto de la contaminación del aire en la salud de los menores de 5 años en la ciudad.

Métodos: Este estudio ecológico revisó los datos de mortalidad en menores de 5 años asociados a ERA y se calcularon las Tasas de Mortalidad en menores de 5 años por ERA con las bases de Datos Abiertos y estimaciones poblacionales del (DANE) estos se compararon con los niveles de contaminantes, clasificados según el Índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA) y las guías de la OMS. La investigación incluye información de 10 localidades para PM_{2.5} y 7 para PM₁₀, obtenida de estaciones de monitoreo. Se analizaron tasas de mortalidad y concentración de contaminantes utilizando SPSS y Excel, para el análisis de las tendencias se aplicaron regresiones lineales y para la correlación de las variables de concentración y TM en menores de 5 años asociada a ERA en Bogotá, fue utilizada la matriz de correlación de Pearson.

Resultados: En relación con las concentraciones de material particulado PM10 y PM2.5.

Durante el período de estudio, se identificó una tendencia general decreciente en la mortalidad infantil por ERA, con una notable reducción en 2020, atribuida a las medidas de salud pública durante la pandemia de COVID-19. Las tasas de mortalidad variaron significativamente entre localidades, con los casos más altos en San Cristóbal y Ciudad Bolívar, y los más bajos en Usaqué y Chapinero.

En cuanto a la contaminación del aire, los niveles de PM10 y PM2.5 mostraron una tendencia general a la baja, aunque con variaciones anuales significativas, posiblemente influenciadas por factores como el tráfico y las políticas ambientales. Las concentraciones más altas de PM10 se registraron en Kennedy, mientras que las de PM2.5 fueron más elevadas en Puente Aranda. El análisis de correlación reveló una asociación positiva significativa entre las concentraciones de PM10 y la mortalidad infantil por ERA en Bogotá en general, y en localidades específicas como Usme y Kennedy, aunque no todas las correlaciones fueron estadísticamente significativas. La correlación entre PM2.5 y mortalidad fue variada, destacando una relación inversa en Santa Fe.

Discusión: La Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a enfermedades respiratorias agudas (ERA) mostró fluctuaciones influenciadas por, además, del contaminante, factores socioeconómicos y acceso a servicios de salud (Datos Abiertos Bogotá, 2023), al igual que en otros lugares del mundo; las concentraciones de material particulado PM2.5 y PM10 en Bogotá variaron significativamente, con niveles más altos de PM10. Finalmente, se encontró una correlación positiva entre altos niveles de PM2.5 y PM10 y un aumento en la mortalidad infantil asociada a ERA, consistente con estudios internacionales.

Conclusiones: El estudio confirma una correlación positiva entre la contaminación por PM2.5 y PM10 y la mortalidad infantil por enfermedad respiratoria aguda (ERA), alineándose con

hallazgos internacionales. Resalta el riesgo significativo de la mala calidad del aire para la salud respiratoria infantil y sugiere la necesidad de políticas públicas y vigilancia continua. También aboga por futuras investigaciones sobre factores adicionales y fuentes de contaminación.

Palabras Clave: Síndrome de dificultad respiratoria pediátrico, Síndrome de distrés respiratorio, Material Particulado, Enfermedad Respiratoria Aguda, Neumonía, Bronquiolitis.

"Association between the concentration of PM2.5 and PM10 and mortality in children under 5 years associated with Acute Respiratory Disease in Bogota 2014 - 2021".

Researcher: Jenny Alejandra García Contreras.

Name of the Thematic Tutor / Thesis Director: John Alexander Benavides Piracón.

Program: Master in Public Health.

Abstract/Summary

Introduction: Air pollution, which includes pollutants such as PM2.5 and PM10, has a significant impact on respiratory health, especially in children under 5 years of age. These pollutants come from various sources, such as industrial emissions and biomass combustion, and are associated with acute respiratory diseases (ARDs) and high mortality. In Bogotá, despite having a monitoring network, no studies have been conducted that directly correlate the concentration of these pollutants with mortality in children under 5 years of age due to ARDs. This study seeks to analyze this association to better understand the impact of air pollution on the health of children under 5 years of age in the city.

Methods: This ecological study examined data on under-five mortality associated with ARD (Datos abiertos, 2023) and calculated under-five mortality rates for ARD based and population estimates (DANE); these were compared with the levels of pollutants, classified according to the Bogotano Air Quality Index (IBOCA) and WHO guidelines. The research includes information from 10 localities for PM2.5 and 7 for PM10, obtained from monitoring stations. Mortality rates and pollutant concentrations were analyzed using SPSS and Excel. For trend analysis, linear regressions were applied and for the correlation of pollutant concentration variables, linear regressions were used.

Results: In relation to PM10 and PM2.5 particulate matter concentrations. During the study period, a general decreasing trend in infant mortality from ARD was identified, with a notable reduction in 2020, attributed to public health measures during the COVID-19 pandemic. Mortality rates varied significantly between localities, with the highest cases in San Cristóbal and Ciudad Bolívar, and the lowest in Usaquén and Chapinero.

In terms of air pollution, PM10 and PM2.5 levels showed a general downward trend, although with significant annual variations, possibly influenced by factors such as traffic and environmental policies. The highest PM10 concentrations were recorded in Kennedy, while PM2.5 concentrations were highest in Puente Aranda. Correlation analysis revealed a significant positive association between PM10 concentrations and infant mortality from ARD in Bogotá in general, and in specific localities such as Usme and Kennedy, although not all correlations were statistically significant. The correlation between PM2.5 and mortality was varied, highlighting an inverse relationship in Santa Fe.

Discussion: The mortality rate (MR) in children under 5 years of age associated with acute respiratory diseases (ARD) showed fluctuations influenced by the pollutant, socioeconomic factors and access to health services, as in other parts of the world; concentrations of PM2.5 and PM10 particulate matter in Bogotá varied significantly, with higher levels of PM10. Finally, a positive correlation was found between high levels of PM2.5 and PM10 and an increase in infant mortality associated with ARD, consistent with international studies.

Conclusions: The study confirms a positive correlation between PM2.5 and PM10 pollution and infant mortality from acute respiratory disease (ARD), aligning with international findings. It highlights the significant risk of poor air quality for children's respiratory health and suggests the need for public policies and continued surveillance. It also advocates for future research on additional factors and sources of pollution.

Key words: Pediatric respiratory distress syndrome, Respiratory distress syndrome, Particulate Matter, Acute Respiratory Illness, Pneumonia, Bronchiolitis.

Introducción

La "contaminación del aire" es un término que abarca una amplia gama de componentes químicos y biológicos presentes en la atmósfera (Farías & Miranda, 2022). Entre los principales contaminantes se encuentran el Material Particulado 2.5 (PM2.5), el Material Particulado 10 (PM10), el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre, el monóxido de carbono, el ozono y el carbón negro. Estos contaminantes provienen de diversas fuentes, como emisiones volcánicas, polvo suspendido por actividades de construcción, labores agrícolas, productos de combustión de biomasa, fuegos artificiales, tabaco quemado, cambios atmosféricos, así como fuentes fijas y móviles, entre otras (Organización Mundial de la Salud, 2020; Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en Bogotá, 2022).

Al ingresar estos contaminantes al sistema respiratorio, generan daño tisular y activan la respuesta inflamatoria sistémica. Además, permiten la entrada de radicales libres o facilitan su formación dentro del organismo, lo que ocasiona daños en el epitelio respiratorio. Este proceso deteriora la remodelación tisular y disminuye la secreción de citocinas, esenciales para la señalización de infecciones y procesos inflamatorios. A nivel del parénquima pulmonar, estos contaminantes pueden inducir toxicidad y mutagenicidad (Grisales-Romero, Montealegre, Piñeros, Ospina, & Nieto, 2022). Los cambios celulares e inmunológicos resultantes son responsables de una variedad de enfermedades y síntomas, como irritación ocular, exacerbación de síntomas bronquiales en pacientes asmáticos, tos, rinorrea, sibilancias, neumonía, bronquiolitis (Álvarez, 2013), bronconeumonía y enfermedades cardiovasculares, lo que contribuye al aumento de la morbilidad y mortalidad diaria (Grisales-Romero, Montealegre, Piñeros, Ospina, & Nieto, 2022).

A lo largo de los años, la Organización Mundial de la Salud (OMS) e investigadores en salud ambiental han evidenciado las graves consecuencias de la exposición a estos contaminantes, que impactan significativamente la salud cardiorrespiratoria en adultos

mayores, jóvenes y niños (OMS, 2006). En el caso de los niños menores de 5 años, se estima que, en países en desarrollo, la mortalidad a causa de enfermedades respiratorias agudas (ERA) representa el 19% de las muertes, siendo la segunda causa de fallecimiento a esta edad (Benhrooz Karimi & Shokrinezhad, 2020). Esto equivale a aproximadamente 2 millones de muertes anuales entre niños y adultos (OMS, 2006). Por ejemplo, en Lima, Perú, estudios han reportado una Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a ERA de 222 muertes por cada 100,000 niños (Pan American Health Organization, 2005). La OMS ha destacado que la contaminación del aire es un factor principal que contribuye a la reducción de la esperanza de vida al nacer en un promedio de 2.1 años. A nivel global, las enfermedades respiratorias agudas causan el 15% de las muertes anuales en menores de 5 años, asociadas con la contaminación ambiental por material particulado, principalmente en África y Asia (Hoskovec, 2022).

En 2013, un estudio realizado en Bangladesh encontró que aproximadamente el 40% de los niños presentaban una alta exposición intramural a combustibles de biomasa, lo que incrementaba significativamente la sintomatología respiratoria, especialmente en menores de 5 años (Benhrooz Karimi & Shokrinezhad, 2020). Asimismo, en Lima, Perú, entre 2011 y 2015, un análisis de series evaluó el aumento de las consultas en menores de 5 años por enfermedades respiratorias agudas (incluyendo asma, neumonía, bronquiolitis, síndrome broncoobstructivo, e infecciones respiratorias altas) en relación con la exposición a material particulado. El estudio concluyó que la exposición a concentraciones superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 se asocia con un aumento de síntomas respiratorios y hospitalizaciones. Además, una exposición prolongada a niveles de PM10 de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o más en un período de 24 horas podría estar relacionada con desenlaces mortales en un 6% a 12% de los casos (Pan American Health Organization, 2005). En Kenia en 2014, se evaluó a 7.036 niños menores de 5 años expuestos a altas concentraciones de PM2.5, concluyéndose que dicha exposición puede

aumentar el riesgo de desarrollar problemas respiratorios agudos y crónicos, como tuberculosis, asma y cuadros broncoobstructivos, debido a la inflamación epitelial generada por la exposición al material particulado, incluso después de meses o días de la inhalación (Gomes et al., 2023)

Para evaluar los niveles de concentración de contaminantes ambientales, la OMS y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible han establecido valores máximos aceptables de exposición, con el fin de reducir el impacto en la salud. En Bogotá, los parámetros de calidad del aire se comparan con los de la OMS y son vigilados por la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (Greenpeace Colombia, 2021).

En Bogotá, la "Red de Monitoreo de la Calidad del Aire" (RMCAB), gestionada por la Secretaría Distrital del Medio Ambiente, cuenta con 20 estaciones distribuidas por la ciudad. Estas estaciones monitorizan las concentraciones de contaminantes, así como cambios meteorológicos, precipitación del aire, temperatura, presión atmosférica y radiación solar (Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en Bogotá, 2022).

Dado que la exposición al material particulado es una causa significativa de enfermedades respiratorias, se ha descrito una asociación entre la mortalidad infantil en menores de 5 años por ERA y las concentraciones medias de PM_{2.5} y PM₁₀. Sin embargo, hasta la fecha, no se han realizado estudios en Bogotá que correlacionen las concentraciones de estos contaminantes con la mortalidad en esta población. Este estudio plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la asociación entre la mortalidad en menores de 5 años por ERA y las concentraciones promedio de PM_{2.5} y PM₁₀ en la ciudad de Bogotá y sus localidades?

Por esta razón, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivos.

Objetivo General.

Analizar la asociación entre mortalidad en menores de 5 años asociada a Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) con los reportes ambientales de las localidades de la ciudad de Bogotá entre los años 2014 y 2021.

Objetivos específicos.

Identificar las tendencias por tiempo y por localidad de la mortalidad en menores de 5 años asociada a ERA en Bogotá 2014-2021.

Describir las tendencias por tiempo y por localidad de La concentración del Material Particulado entre los años 2014 y 2021.

Establecer la correlación por periodos, entre las concentraciones de PM2.5 y PM10 / Mortalidad en menores de 5 años asociada a enfermedad respiratoria aguda, para la ciudad de Bogotá entre los años 2014 y 2021.

Métodos

En este estudio de tipo ecológico, se obtuvieron los resultados de los niveles de concentración de contaminantes en cada localidad fueron clasificados y comparados con los valores mínimos establecidos por el Índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA). Este índice clasifica los niveles de calidad del aire según su gravedad y el impacto en la salud de las poblaciones expuestas, y es aceptado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en sus guías de calidad del aire actualizadas en 2021 (OMS, 2020).

Población

El estudio se basa en los casos reportados de mortalidad en menores de 5 años asociada a enfermedades respiratorias agudas en Bogotá durante el período comprendido entre 2014 y 2021 (Datos abiertos, 2023). Estos datos fueron observados, descritos y analizados.

Para calcular la Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a ERA, se utilizaron las estimaciones de población proporcionadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (DANE, 2022). Posteriormente, se compararon estas tasas con la información sobre la contaminación ambiental en la ciudad y en sus localidades, obtenida a través de las estaciones de monitoreo del Visor Geográfico Ambiental (Visor Geoambiental, 2023).

Los datos de mortalidad en la población general correspondientes al período 2014-2021 fueron extraídos de la plataforma de “Datos abiertos” (Datos abiertos, 2023). De estos datos, se seleccionaron los casos de mortalidad infantil en menores de 5 años por enfermedades respiratorias agudas, que fueron organizados en una nueva tabla discriminada por localidad, régimen, diagnóstico y la Clasificación Internacional de Enfermedades, 10ª revisión (CIE-10), los códigos de las causas de muerte incluidas en la investigación fueron: A162, A169, A199, A370, A371, A378, A379, A409, A492, B012, B250, C910, G039, H664, I269, J040, J041, J042, J050, J069, J09X, J100, J110, J111, J120, J121, J122, J128, J129, J13, J13X, J150, J151, J152, J154, J156, J158, J159, J180, J181, J189, J202, J205, J208, J209, J210, J218, J219, J22, J220, J22X, J399, J46X, J677, J690, J841, J848, J849, J850, J939, J960, J969, J980, J984, J987, J989, P220, P221, P228, P229, P230, P232, P236, P239, P240, P249, P269, P271, P284, P285, P289, P351, P368, P369, P700, P984, U071, U072 y Y099.

Simultáneamente, se calcularon las tasas de mortalidad infantil para cada localidad durante el periodo observado, utilizando la información disponible en la página de datos del DANE (DANE, 2023). Para los datos de contaminación ambiental en la ciudad, se descargaron las bases de datos de la página del Visor Geográfico Ambiental (Visor Geoambiental, 2023). Estos datos se promediaron desde intervalos horarios a diarios, luego a mensuales y finalmente a anuales. Las bases de datos se consolidaron y limpiaron en Excel.

Criterios de Inclusión y Exclusión

Criterios de Inclusión:

- Casos de mortalidad en población infantil menor de 5 años asociada a enfermedad respiratoria aguda (ERA), residentes en la ciudad de Bogotá, durante los años 2014 y 2021.
- Incluye a niños con cualquier estado nutricional.

Criterios de Exclusión:

- Casos que no cumplen con los criterios de inclusión.
- Presencia de otras enfermedades respiratorias crónicas y/o congénitas.

Variables del Estudio

Variables de Salud: Causa de muerte: Clasificación según la CIE-10 (Clasificación Internacional de Enfermedades, décima revisión).

Variables Ambientales: Fecha: Año; **Estación IBOCA:** Guaymaral, Usaquén, Suba, Bolivia, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Estación Móvil 7°, Min Ambiente, Fontibón, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal - Sevillana, Tunal, San Cristóbal, El Jazmín, Usme, Bosa,

Ciudad Bolívar, Colina, Móvil Fontibón ubicadas en la **Figura 1.**; Concentración de PM2.5 promedio anual. Concentración de PM10 promedio anual.

Para garantizar la precisión de los resultados, se incluyeron en la investigación únicamente aquellas localidades que contaban con al menos el 70% de los datos disponibles sobre los niveles de concentración de material particulado. En el caso de PM2.5, se analizaron 10 de las 20 localidades de Bogotá: Kennedy, Santa Fe, Chapinero, Puente Aranda, San Cristóbal, Suba, Engativá, Ciudad Bolívar, Usme y Fontibón, las cuales corresponden a 12 de las 19 estaciones de monitoreo de calidad del aire, Carvajal-Sevillana, Las Ferias, Centro de alto rendimiento, MinAmbiente, Puente Aranda, San Cristóbal, Suba, Engativá, Tunal, Usme y Fontibón. Para PM10, se estudiaron 7 localidades: Usme, Kennedy, Fontibón, Engativá, Suba, Usaquén y Tunjuelito, que cuentan con 11 estaciones de monitoreo: Usme, Carvajal-Sevillana, Móvil Kennedy, Fontibón. Móvil Fontibón, Engativá, Suba, Usaquén y Tunal.

Figura 1.

“Distribución de las estaciones RMCAB”



#	ESTACIÓN
1	Guaymaral
2	Usaquén
3	Suba
4	Bolívia
5	Las Ferias
6	CDAR
7	Estación Móvil 7ma
8	Min Ambiente
9	Fontibón
10	Pte. Aranda
11	Kennedy
12	Carvajal-Sevillana
13	Tunal
14	San Cristóbal
15	El Jazmín
16	Usme
17	Bosa
18	Ciudad Bolívar
19	Colina
20	Móvil Fontibón

Mapa de Bogotá y Sus Localidades. Estaciones de Calidad de Aire RMBAC. *Mapa.Gif (432x283).* (s/f).
Pinterest. Recuperado el 11 de julio de 2024, de <https://co.pinterest.com/pin/603482418798672612/>

Plan de análisis estadístico.

Respecto a los datos de mortalidad, se incluyó toda la información disponible sobre mortalidad en menores de 5 años asociada a ERA durante los años 2014-2021 en la ciudad de Bogotá. Se analizaron las variables de tiempo y mortalidad en menores de 5 años por ERA, desglosadas por localidad, durante el período comprendido entre 2014 y 2021.

El análisis estadístico se realizó utilizando las plataformas SPSS y Excel, los datos ambientales fueron organizados de manera anual, y se calcularon los promedios correspondientes. Se llevó a cabo un análisis de la distribución de los datos, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, la cual mostró que la mayoría de las distribuciones seguían una normalidad. Por tanto, se utilizaron la media y la desviación estándar como medidas de resumen.

A continuación, se describieron las tendencias mediante regresiones lineales simples, utilizando la ecuación correspondiente para determinar si la tendencia era ascendente o descendente y el coeficiente de determinación (r^2) para evaluar la magnitud del crecimiento tanto de los niveles de contaminantes como de la mortalidad. Finalmente, se estableció la asociación entre la mortalidad en menores de 5 años por ERA y el promedio de concentración de PM_{2.5} y PM₁₀ en Bogotá y las localidades anteriormente mencionadas para cada contaminante respectivamente, mediante la matriz de correlación de Pearson.

Plan de control de sesgos.

Se realizó una doble tabulación de los datos, seguida de una comparación minuciosa para verificar su precisión. Las variables fueron organizadas de manera cuidadosa para minimizar el sesgo ecológico, y se excluyeron todos los casos de pacientes con enfermedades congénitas y/o crónicas.

Consideraciones éticas.

El estudio se realizó dentro de los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos según la Declaración de Helsinki - 64ª Asamblea General, Fortaleza, Brasil, octubre 2013. Se tuvo en cuenta las regulaciones locales del Ministerio de Salud de Colombia Resolución 8430 de 1993 en lo concerniente al Capítulo I “De los aspectos éticos de la investigación en seres humanos”

La presente investigación es clasificada dentro de la categoría Sin riesgo.

Se limitará el acceso de los instrumentos de investigación únicamente a los investigadores según Artículo 8 de la Resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud.

Todos los integrantes del grupo de investigación estarán prestos a dar información sobre el estudio a entes organizados, aprobados e interesados en conocerlo siempre y cuando sean de índole académica y científica, preservando la exactitud de los resultados y haciendo referencia a datos globales y no a pacientes o instituciones en particular.

Se mantendrá absoluta confidencialidad y se preservará el buen nombre institucional profesional.

El estudio se realizará con un manejo estadístico imparcial y responsable.

No existe ningún conflicto de interés por parte de los autores del estudio que deba declararse.

Resultados.

Capítulo 1 - Tendencias de mortalidad en menores de 5 años asociada a enfermedad respiratoria aguda (ERA) en Bogotá y sus localidades.

Tabla 1

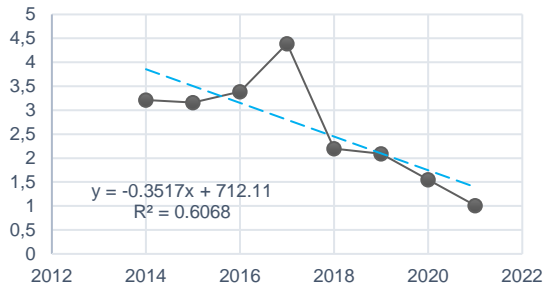
“Media y Desviación Estándar de la Mortalidad en Menores de 5 Años asociada a ERA en Bogotá y sus Localidades 2014-2021”

	Media	Desviación estándar
Bogotá	2.56	0.70
Fontibón	2.19	1.68
San Cristóbal	3.32	1.60
Usme	3.41	0.76
Puente Aranda	2.26	1.55
Ciudad Bolívar	3.38	1.47
Chapinero	2.11	1.60
Engativá	2.31	0.91
Santa Fe	1.86	1.59
Suba	1.92	0.75
Kennedy	2.62	1.10
Tunjuelito	2.57	1.91
Usaquén	1.51	1.46
Bosa	2.48	1.71
Mártires	3.54	3.13
Barrios Unidos	1.81	2.79
Antonio Nariño	3.29	7.39
La Candelaria	5.35	1.01
Rafael Uribe	2.31	2.05
Teusaquillo	2.30	2.05
Sumapaz	0	0

Figura 2.

“Grafica de tendencias de TM en menores de 5 años asociada a ERA en las localidades de Bogotá 2014 – 2021”

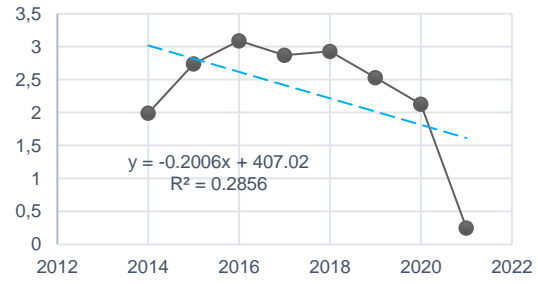
KENNEDY



Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes

X = Año

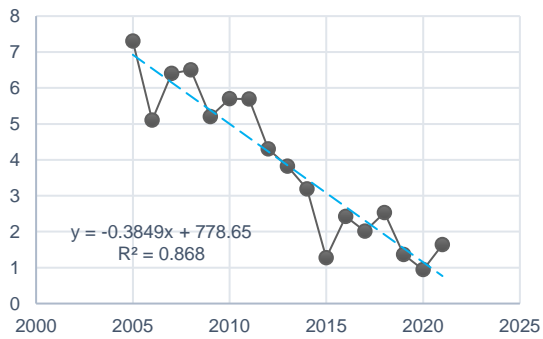
ENGATIVA



Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes

X = Año

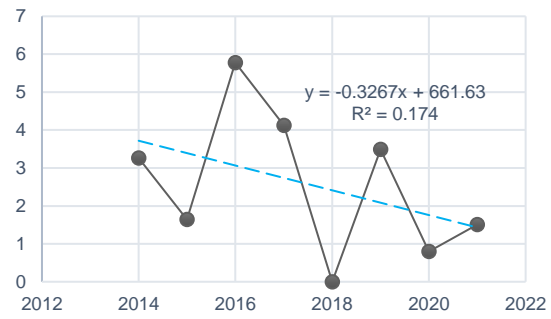
SUBA



Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes

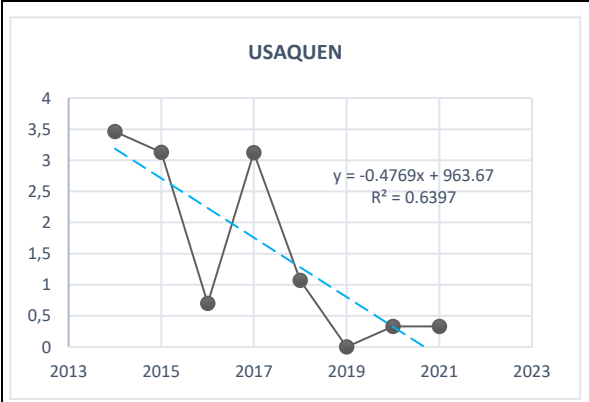
X = Año

TUNJUELITO

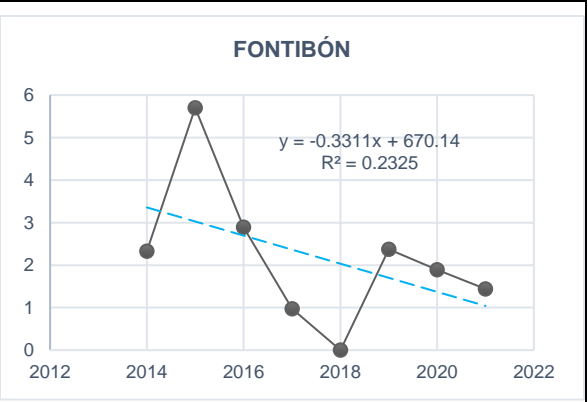


Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes

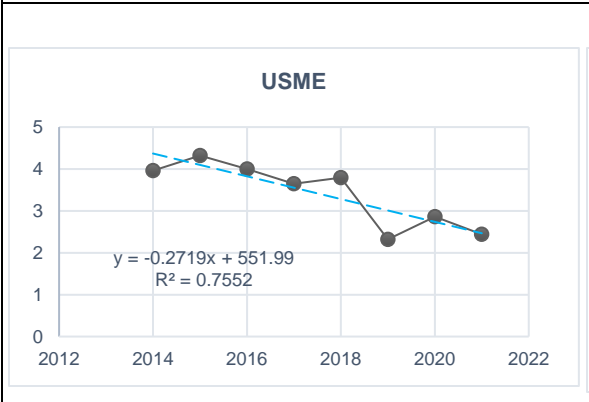
X = Año



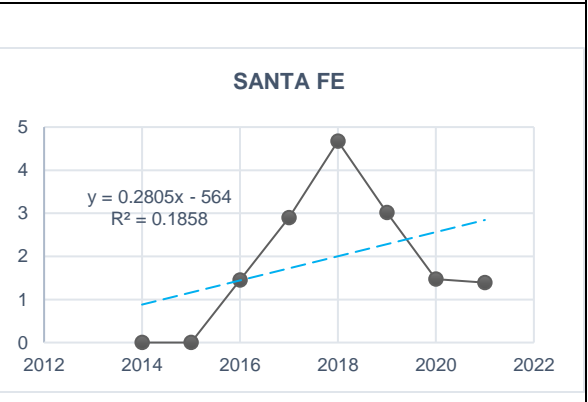
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año



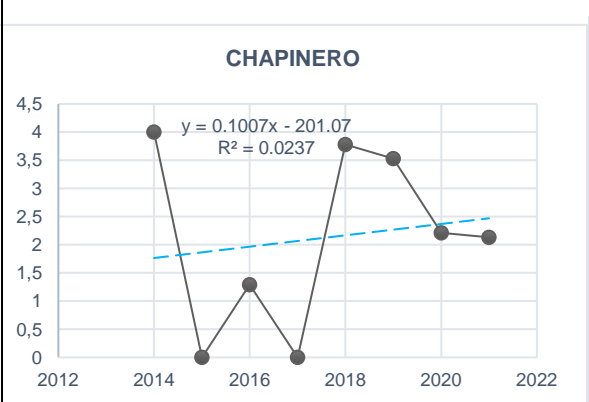
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año



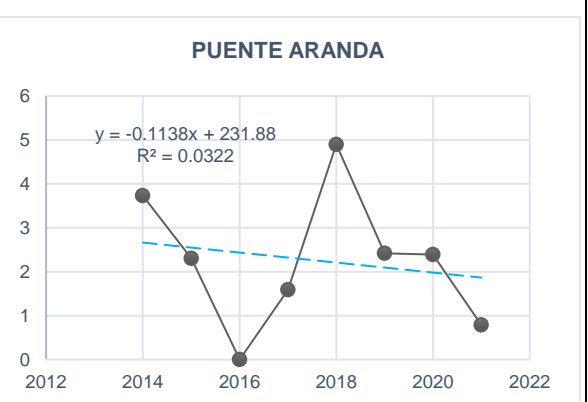
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año



Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

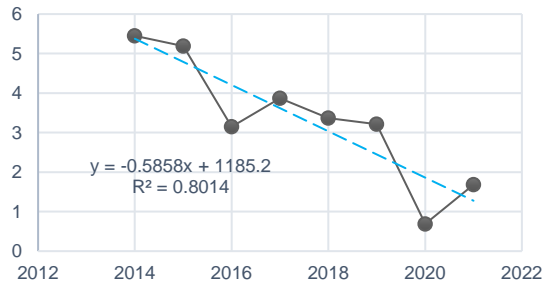


Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año



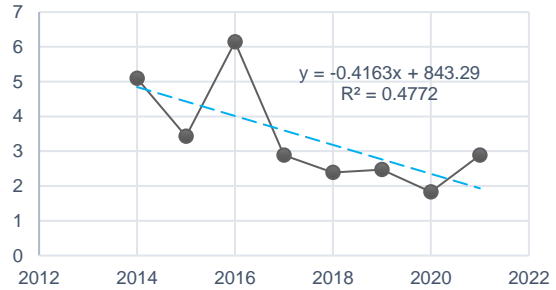
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

SAN CRISTOBAL



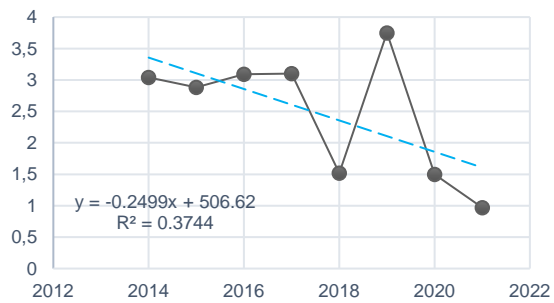
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

CIUDAD BOLIVAR



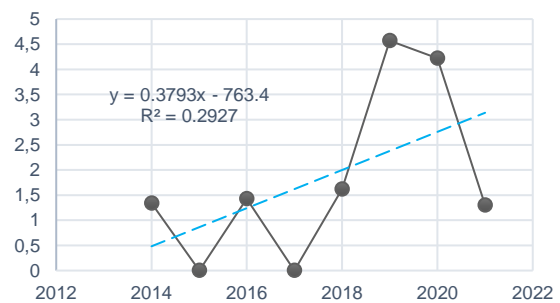
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

BOSA



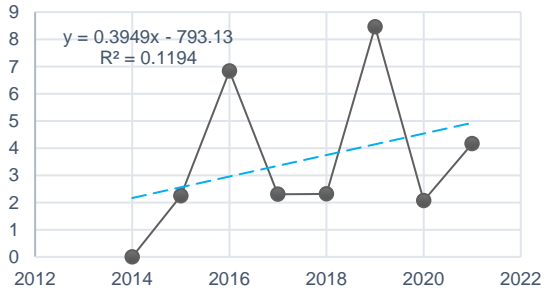
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

BARRIOS UNIDOS



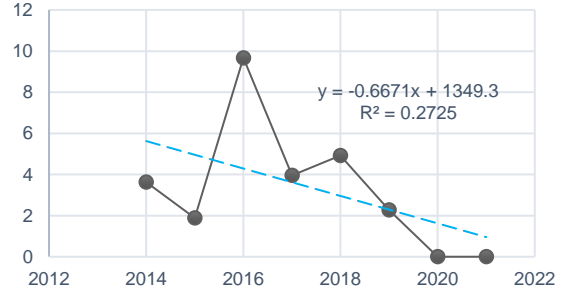
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

LOS MARTIRES



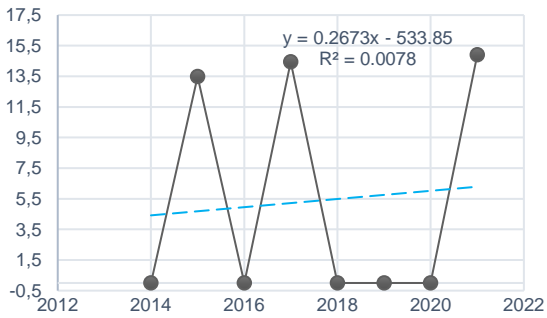
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

ANTONIO NARIÑO



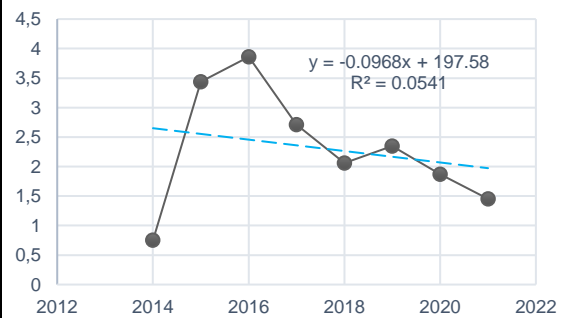
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

LA CANDELARIA



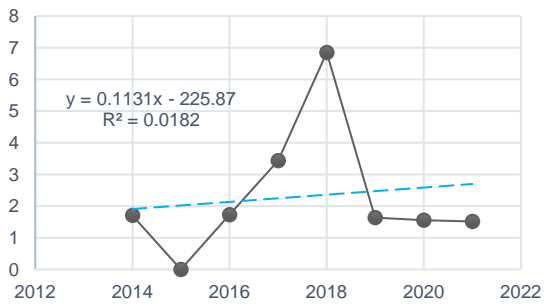
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

RAFAEL URIBE



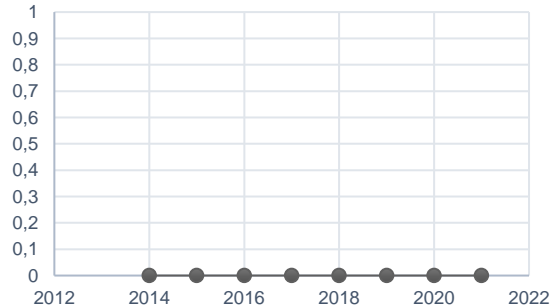
Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

TEUSAQUILLO

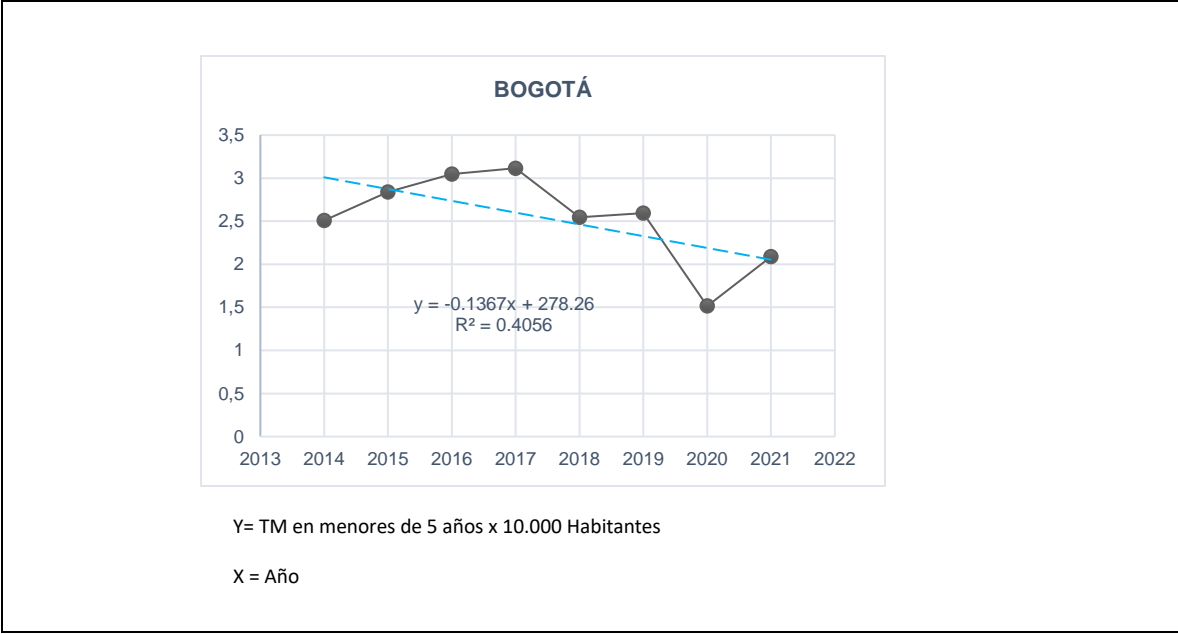


Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año

SUMAPAZ



Y= TM en menores de 5 años x 10.000 Habitantes
X = Año



Curvas de regresión para la TM en menores de 5 años asociadas a ERA en distintas localidades de Bogotá, así como para la ciudad en su conjunto, en relación con el tiempo durante el período 2014-2021

Durante el período de estudio comprendido entre 2014 y 2021, se registraron 1,277 casos de mortalidad en menores de 5 años por enfermedad respiratoria aguda (ERA) en Bogotá. Entre 2014 y 2019, esta tasa fluctuó entre 2.5 y 3.1 por cada 10,000 niños menores de 5 años en el año 2020, esta última, posiblemente atribuida a las medidas de salud pública durante la pandemia de COVID-19, que redujeron tanto la exposición a contaminantes como la incidencia de enfermedades respiratorias, con posterior pico en el 2021 (**Figura 1**). La tendencia en los datos observados en la ciudad de Bogotá muestran una tendencia a la disminución promedio de 0.13 unidades anuales en la tasa de mortalidad, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.40.

A nivel local, se identificaron diversas tendencias en las tasas de mortalidad en menores de 5 años por ERA (**Tabla 2; Figura 1**):

- **Kennedy:** Mostró una gran variabilidad sin una tendencia clara a lo largo del período. La tasa de mortalidad en menores de 5 años disminuye en promedio 0.35 unidades anualmente, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.60, lo que indica que el 60% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo de regresión.
- **Engativá:** La tasa fluctuó entre 2014 y 2021, aumentando de 1.99 en 2014 a un pico de 3.09 en 2016, seguido de una disminución gradual hasta 0.25 en 2020. La tasa de mortalidad en menores de 5 años disminuye en promedio 0.2 unidades por año, con un R^2 de 0.28, lo que indica que el 28% de la variabilidad es explicada por el modelo de regresión.
- **Tunjuelito:** Se observó un pico en 2016 con la tasa más alta (5.78), seguida de una disminución a 0 en 2018 y fluctuaciones posteriores, alcanzando 3.49 en 2019. La gráfica de regresión muestra una disminución promedio de 0.32 unidades anuales, con un R^2 de 0.17.
- **Usaquén:** Las tasas fluctuaron, mostrando una tendencia a la baja entre 2014 y 2019, y alcanzaron 0.33 en 2020-2021. La tasa de mortalidad en menores de 5 años disminuye anualmente en promedio 0.47 unidades, con un R^2 de 0.63, indicando que el 63% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.
- **Fontibón:** Registró un pico en 2014 (5.70) seguido de una tendencia a la baja, alcanzando 0 en 2018.
- **Usme:** Mostró una tendencia general a la baja, con la tasa más alta en 2015 (4.32) y la más baja en 2019 (2.32). La tasa de mortalidad en menores de 5 años disminuye en promedio 0.46 unidades por año, según el modelo de regresión $y = -0.2719x + 551.99$, con un R^2 de 0.75, lo que indica que el 75% de la variabilidad es explicada por el modelo.
- **Santa Fé:** No presentó un patrón claro debido a la alta variabilidad. La mortalidad infantil asociada a ERA aumentó a partir de 2016, con un pico en 2018 (4.67) y un

descenso notable en 2020-2021. La tasa de mortalidad disminuye en promedio 0.8 unidades por año, con un modelo de regresión $y = 0.2805x - 564$ y un R^2 de 0.1858, sugiriendo que el 18,5% de la variabilidad es explicada por la regresión.

- **Chapinero y Puente Aranda:** Ambas localidades mostraron fluctuaciones en las tasas de mortalidad asociadas a ERA, reflejando la influencia de múltiples factores.
- **San Cristóbal:** Mostró una tendencia a la baja entre 2014 (5.45) y 2016 (3.15), con una reducción a 0.69 en 2020. La tasa de mortalidad en menores de 5 años disminuye en promedio 0.62 unidades por año, de acuerdo con el modelo de regresión $y = -0.5858x + 1185.2$ con un R^2 de 0.8, indicando que el 80% de la variabilidad es explicada por el modelo.
- **Ciudad Bolívar:** La tasa fluctuó, alcanzando su punto más alto en 2014 (5.45) y su punto más bajo en 2020 (0.69). La TM en menores de 5 años disminuye $0.4163x + 843.29$ con R^2 de 0.47, indicando que el 47% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.
- **Bosa:** La localidad presentó una TM en menores de 5 años media de 2.48 x cada 10.000 habitantes. La tasa de mortalidad en menores de 5 años disminuye anualmente en promedio 0.24 unidades, con un R^2 de 0.374, indicando que el 37,4% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.
- **Barrios Unidos:** La localidad presentó una TM en menores de 5 años media de 1.81 x cada 10.000 habitantes. La tasa de mortalidad en menores de 5 años aumenta anualmente en promedio 0.37 unidades, con un R^2 de 0.292, indicando que el 29.2% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.
- **Antonio Nariño:** La localidad presentó una TM en menores de 5 años media de 3.29 x cada 10.000 habitantes. La tasa de mortalidad en menores de 5 años disminuye anualmente en promedio 0.66 unidades, con un R^2 de 0.27, indicando que el 27% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.

- **Los Mártires:** La localidad presentó una TM en menores de 5 años media de 3.55 x cada 10.000 habitantes. La tasa de mortalidad en menores de 5 años aumenta anualmente en promedio 0.39 unidades, con un R^2 de 0.119, indicando que el 11.9% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.
- **La Candelaria:** Presentó durante el periodo observado una TM en menores de 5 años media de 5.35 x cada 10.000 habitantes. La tasa de mortalidad en menores de 5 años aumenta anualmente en promedio 0.26 unidades, con un R^2 de 0.007, indicando que el 0.7% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.
- **Rafael Uribe:** Presentó durante el periodo observado una TM en menores de 5 años media de 2.31 x cada 10.000 habitantes. La tasa de mortalidad en menores de 5 años disminuye anualmente en promedio 0.09 unidades, con un R^2 de 0.05, indicando que el 5% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.
- **Teusaquillo:** En Teusaquillo, durante el período observado, la tasa de mortalidad (TM) en menores de 5 años fue de 2.3 por cada 10.000 habitantes en promedio. Anualmente, la TM en esta población aumentó en promedio 0.11 unidades. Sin embargo, el modelo de regresión presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0,018, lo que indica que solo el 1,8% de la variabilidad en las tasas de mortalidad puede ser explicado por este modelo.
- En la localidad de Sumapaz en los años observados la TM en menores de 5 años asociada a ERA fue 0,0000.

Capítulo 2 – Análisis de Tendencias de PM10 y PM2.5 en Bogotá y sus Localidades.

Materia Particulado 10 (PM10)

Tabla 2.

“Media y desviación estándar de PM10 para Bogotá y 7 localidades 2014 – 2021”

	Media	Desviación estándar
Bogotá	38.75	6.43
Fontibón	40.88	8.94
Usme	39.38	4.37
Engativá	33.88	5.57
Suba	31.88	7.59
Kennedy	52.38	11.46
Tunjuelito	32.00	10.58
Usaquén	40.38	8.02

Concentraciones promedio y desviación estándar de PM10 en Bogotá

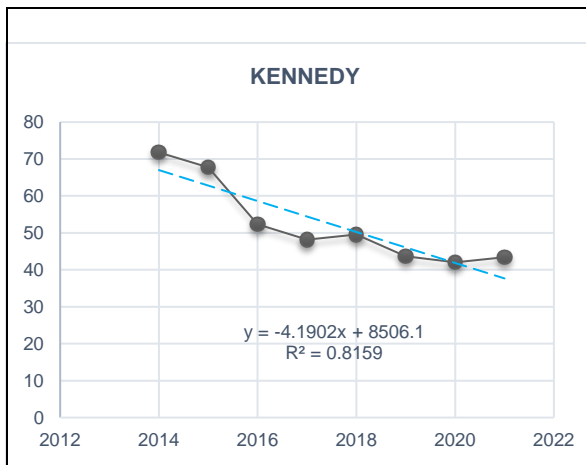
Las localidades incluidas en el estudio son Kennedy, Usaquén, Tunjuelito, Engativá, Fontibón, Usme y Suba mencionadas en la **Tabla 2**.

El análisis de los datos revela una tendencia general a la baja en los niveles de PM10 en todas las localidades durante el período estudiado, lo que sugiere una mejora en la calidad del aire. Sin embargo, se observaron variaciones anuales en algunas localidades, que podrían atribuirse a factores como cambios meteorológicos, actividades industriales, fluctuaciones en el tráfico y la implementación de políticas ambientales.

La concentración promedio de PM10 para los datos generalizados en la ciudad de Bogotá, disminuye anualmente en $1.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El modelo de regresión utilizado y observado en la **Figura 3**, que tiene un coeficiente de determinación (R^2) de 0.80, indica que el 80% de la variabilidad en la concentración de PM10 puede ser explicado por el modelo.

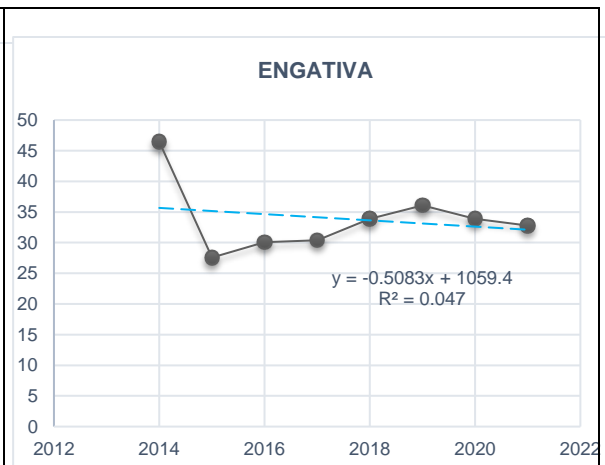
Figura 3.

“Grafica de tendencias de PM10 en Bogotá y 7 localidades 2014 – 2021”



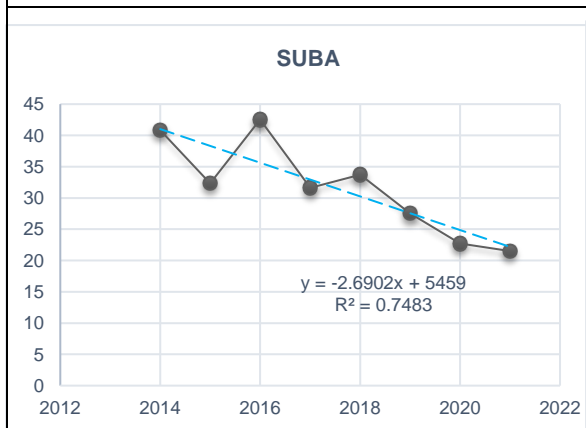
Eje X: Años

Eje y: Concentración promedio PM10



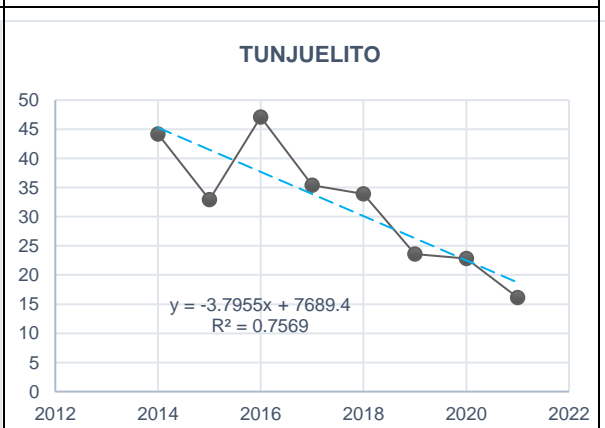
Eje X: Años

Eje y: Concentración promedio PM10



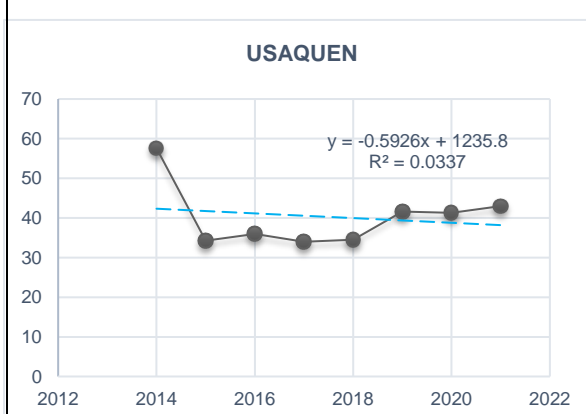
Eje X: Años

Eje y: Concentración promedio PM10



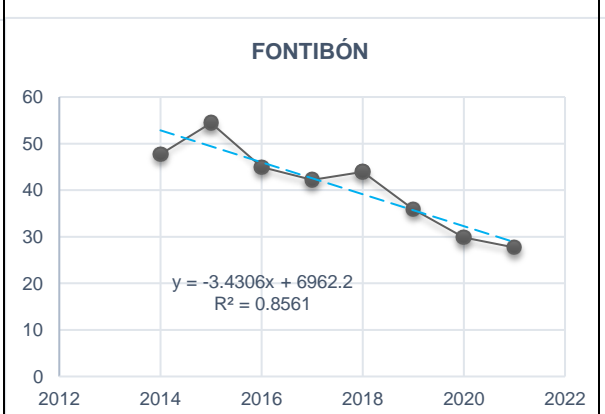
Eje X: Años

Eje y: Concentración promedio PM10



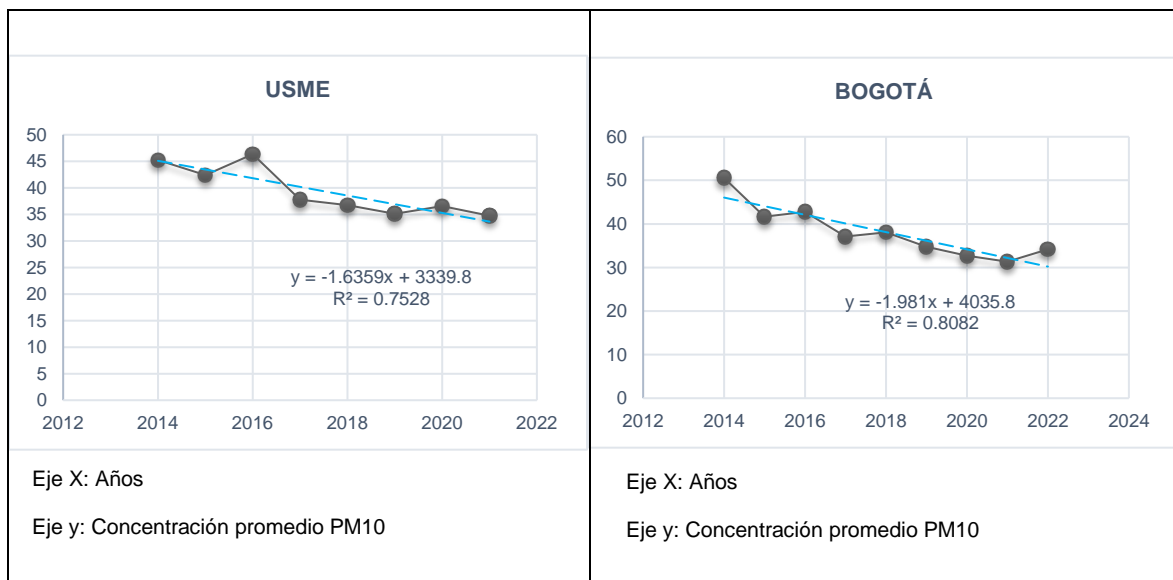
Eje X: Años

Eje y: Concentración promedio PM10



Eje X: Años

Eje y: Concentración promedio PM10



Curvas de regresión que muestran la evolución temporal del promedio de concentración de PM10 en Bogotá y las localidades analizadas durante el período 2014-2021.

Según lo observado y analizado en la **Tabla 2** y **Figura 3**, En la localidad de Engativá, que dispone de tres estaciones de monitoreo (Bolivia, Centro de Alto Rendimiento y Las Ferias), las concentraciones de PM10 variaron entre 26 y 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el período 2014-2021. Según el modelo de regresión $y = -0.5083x + 1059.4$, la concentración promedio de PM10 disminuye anualmente en 0.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, el coeficiente de determinación (R^2) de 0.04 indica que solo el 4% de la variabilidad en la concentración de PM10 puede ser explicada por este modelo.

En Suba, donde se encuentran las estaciones Guymaral, Suba y Colina, se registró una reducción en la concentración de PM10 de 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el mismo período. El modelo de regresión $y = -2.6902x + 5459$ muestra una disminución anual promedio de 2.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este modelo tiene un coeficiente de determinación (R^2) de 0.74, indicando que el 74% de la variabilidad en la concentración de PM10 puede ser explicada por la regresión.

En Tunjuelito, la estación RMCAB Tunal mostró una tendencia decreciente, con concentraciones que pasaron de $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2014 a $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2022. De acuerdo con el modelo de regresión $y=-3.7955x+7689.4$ la concentración promedio de PM10 disminuye en $3.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anualmente. El coeficiente de determinación (R^2) de 0.75 indica que el 75% de la variabilidad en la concentración de PM10 puede ser explicada por este modelo.

En Usaquén, se observaron fluctuaciones múltiples a lo largo de los años analizados, con una tendencia polinómica de sexto grado que sugiere la influencia de diversos factores en los niveles de contaminación. La concentración promedio de PM10 disminuye en $0.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por año, según el modelo de regresión $y=-0.5926x+1235.8$. Con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.03, el modelo explica solo el 3% de la variabilidad en la concentración de PM10.

En Fontibón, con dos estaciones de monitoreo (Fontibón y Móvil Fontibón), se observó una reducción en la concentración de PM10 de 2014 a 2021, con una disminución anual promedio de $3.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En Usme, también se evidenció una tendencia a la baja en la concentración de PM10. El modelo de regresión $y=-3.4306x+6962.2$ indica una disminución anual de $3.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.85, lo que significa que el 85% de la variabilidad en la concentración de PM10 puede ser explicada por el modelo.

Las estaciones con mayores niveles promedio de PM10 fueron Móvil Fontibón ($41.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Fontibón ($40.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Usaquén ($39.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Usme ($39 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Por otro lado, las estaciones con menores promedios de concentración fueron Guaymaral ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Suba ($30.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Las Ferias ($31 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Tunal ($31.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En la localidad de Kennedy, las estaciones de Carvajal-Sevillana y Kennedy mostraron picos altos en la concentración de PM10, especialmente durante los meses de enero y diciembre.

Material Particulado 2.5 (PM2.5)

Tabla 3.

“Media y desviación estándar de PM2.5 para cada Bogotá y sus localidades 2014 - 2021”

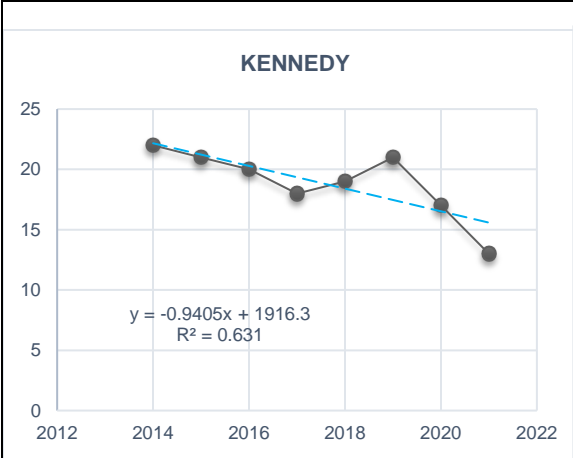
	Media	Desviación estándar
Bogotá	17.75	1.91
Fontibón	17.00	3.46
San Cristóbal	15.62	1.18
Usme	18.87	5.84
Puente Aranda	20.00	6.00
Ciudad Bolívar	16.37	4.50
Chapinero	14.75	1.98
Engativá	18.00	2.61
Santa Fe	19.50	6.94
Suba	17.50	3.62
Kennedy	18.87	2.90

Concentraciones promedio y desviación estándar de PM2.5 en Bogotá

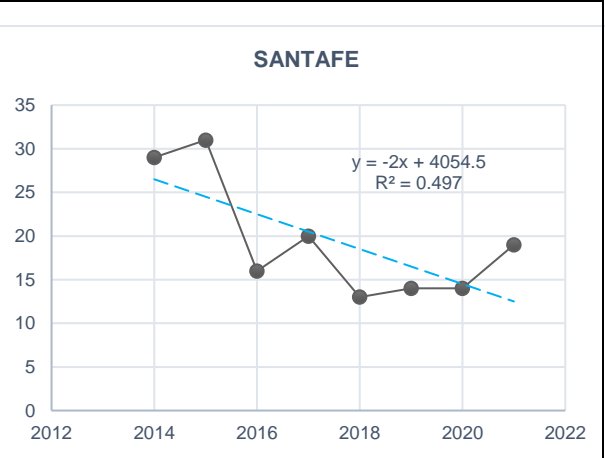
En la evaluación de la contaminación ambiental por material particulado PM2.5 en Bogotá (**Tabla 3** y **Figura 4**), se encontró que la mayoría de las mediciones se ubicaron dentro del rango de calidad moderada, que varía entre 12.1 y 35.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 4.

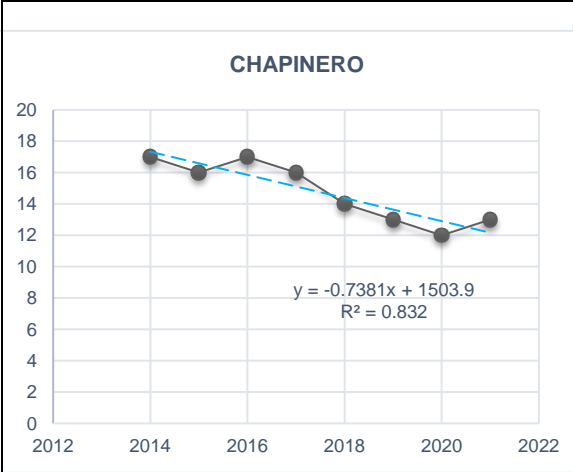
“Gráfica de tendencias de PM2.5 en Bogotá y 10 localidades 2014 – 2021”



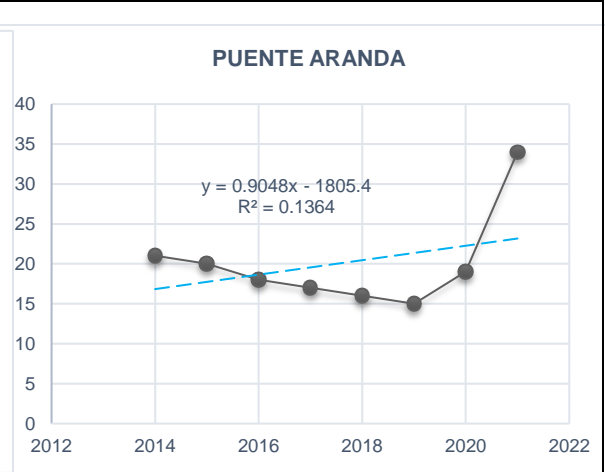
Eje X: Años
Eje y: Concentración promedio PM2.5



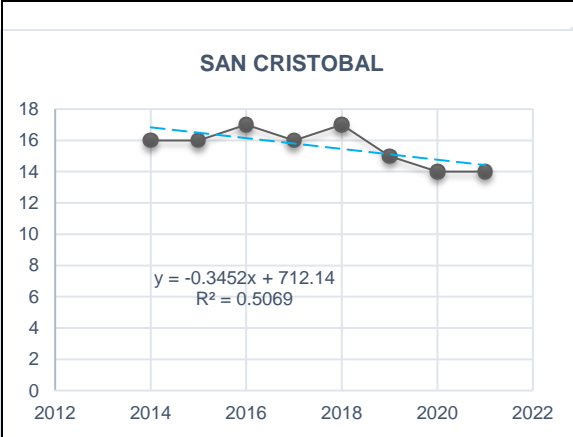
Eje X: Años
Eje y: Concentración promedio PM2.5



Eje X: Años
Eje y: Concentración promedio PM2.5

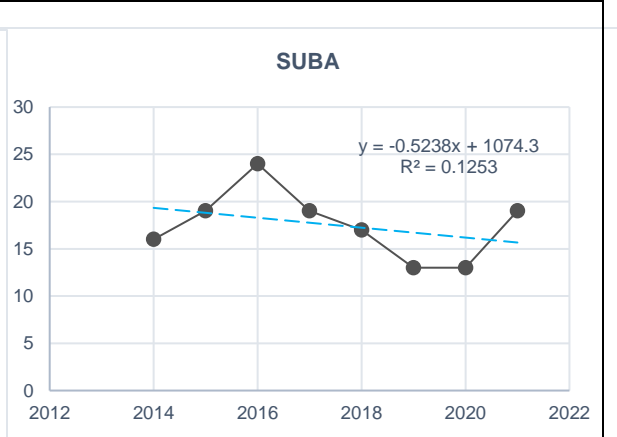


Eje X: Años
Eje y: Concentración promedio PM2.5



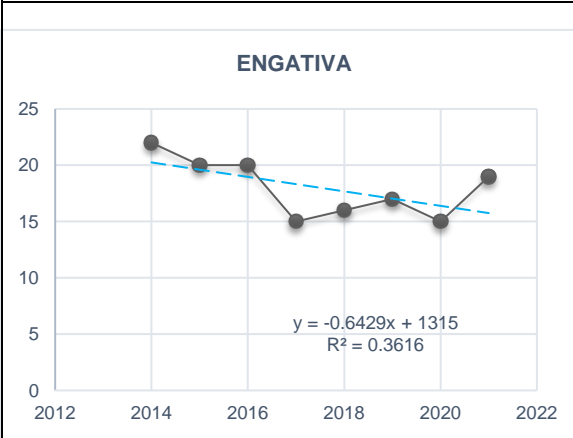
Eje X: Años

Eje y: Concentración promedio PM2.5



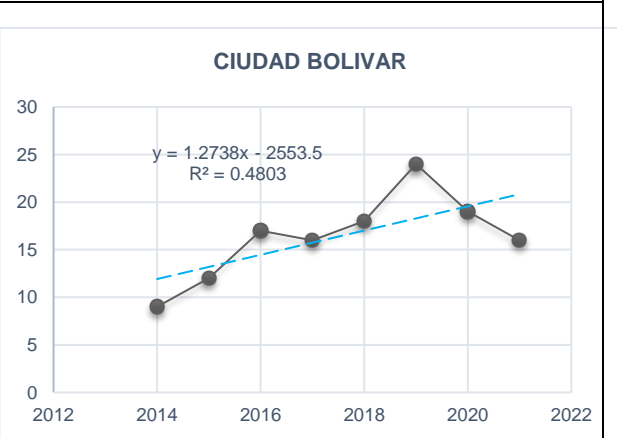
Eje X: Años

Eje y: Concentración promedio PM2.5



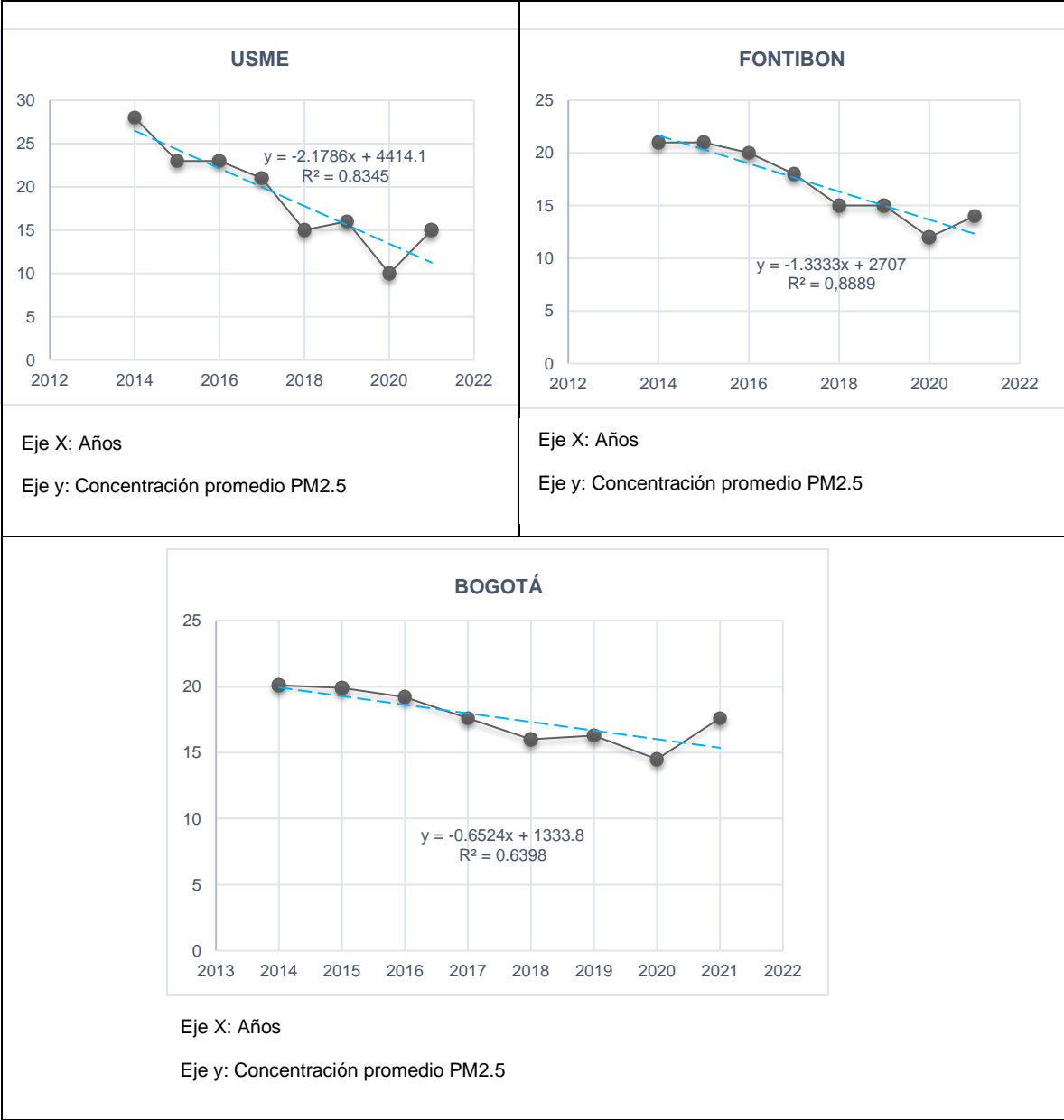
Eje X: Años

Eje y: Concentración promedio PM2.5



Eje X: Años

Eje y: Concentración promedio PM2.5



Curvas de regresión que muestran la evolución temporal del promedio de concentración de PM2.5 en Bogotá y las localidades analizadas durante el período 2014-2021.

Según lo observado y analizado en las **Figura 3** y **Tabla 4**, se evidenció una tendencia general a la baja en los niveles de PM2.5 en la mayoría de las localidades incluidas en el estudio. Sin embargo, se observaron variaciones anuales significativas. fórmula de regresión y $= -0.6524x + 1333.8$ con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.63 indica que, en promedio,

la concentración de PM2.5 tiende a disminuir en aproximadamente $0.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por año, el 65% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.

En Puente Aranda, que cuenta con las estaciones de monitoreo: “Puente Aranda” y “Jazmín”, se observó una disminución en la concentración promedio de PM2.5 desde 2014 ($21 \mu\text{g}/\text{m}^3$) hasta 2019 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, esta tendencia se invirtió en 2020 ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y alcanzó su valor más alto en 2021 ($34 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La fórmula de regresión $y = 0.9048x - 1805.4$ con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.13 indica que, en promedio, la concentración de PM2.5 tiende a aumentar en aproximadamente $0.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por año, aunque solo el 13.64% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.

En Kennedy, la concentración promedio de PM2.5 mostró una tendencia descendente, pasando de $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2014 a $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2022. La fórmula $y = -0.9405x + 631$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.63, indica una disminución anual de aproximadamente $-0.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En Santa Fe, con una sola estación de monitoreo, se registró una mejora notable en la calidad del aire. La concentración de PM2.5 disminuyó de $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2014 a $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2022. La fórmula de regresión $y = -2x + 4054.5$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.49, muestra una disminución anual de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de PM2.5, indicando que el 49% de la variabilidad puede ser explicada por el modelo.

Chapinero, que también cuenta con una sola estación de monitoreo, mostró una tendencia decreciente con una pendiente de -0.73 , indicando una disminución anual de aproximadamente $0.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de PM2.5.

San Cristóbal presentó concentraciones estables de PM2.5 entre 14 y $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a lo largo del período, con una disminución en los últimos dos años. La pendiente negativa de

-0.34, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.5, sugiere una reducción anual en las concentraciones de PM2.5, explicando el 50% de la variabilidad.

En Suba, con tres estaciones de monitoreo, las concentraciones promedio de PM2.5 mostraron fluctuaciones, alcanzando un máximo de $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2016 y luego disminuyendo. La fórmula de regresión $y = -0.5238x + 1074.3$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.12, indica que la concentración promedio de PM2.5 disminuye anualmente en $0.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, explicando solo el 12% de la variabilidad en las concentraciones.

Engativá presentó una tendencia decreciente en las concentraciones de PM2.5, pasando de $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2014 a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2017, seguida de fluctuaciones. La fórmula $y = -0.6429x + 1315$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.36, indica que la concentración promedio de PM2.5 disminuye anualmente en $0.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$, explicando el 36% de la variabilidad.

En Ciudad Bolívar, la tendencia en las concentraciones de PM2.5 mostró variabilidad, con un aumento desde un promedio de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2019. Usme, por otro lado, registró una tendencia general a la baja en las concentraciones de PM2.5, disminuyendo de $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2014 a $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2022, con una disminución anual aproximada de $2.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según el modelo de regresión $y = -2.1786x + 4414$ y un coeficiente de determinación (R^2) de 0.83.

Finalmente, en Fontibón, que cuenta con una estación fija y una móvil, las concentraciones promedio anuales de PM2.5 mostraron variabilidad. Los valores más altos se registraron en 2014 y 2015, con concentraciones constantes de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La fórmula de regresión $y = -1.3333x + 2707$, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.88, indica que la concentración promedio de PM2.5 disminuye anualmente en $1.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, explicando el 88% de la variabilidad en la concentración de PM2.5.

Capítulo 3 – Asociación entre la mortalidad en menores de 5 Años asociada a enfermedad respiratoria aguda y las concentraciones de PM10 y PM2.5 en Bogotá y sus localidades 2014-2021.

Tabla 4.

“Correlaciones para TM en menores de 5 años asociada a ERA x 10.000 niños y Concentraciones de material particulado 10 y 2.5 entre 2014 - 2021”

		Índice de correlación	P
PM10	<i>Bogotá</i>	0.82*	0.01
	<i>Fontibón</i>	0.35	0.20
	<i>Usme</i>	0.80*	0.01
	<i>Engativá</i>	-0.46	0.21
	<i>Suba</i>	0.55	0.13
	<i>Kennedy</i>	0.24	0.53
	<i>Tunjuelito</i>	0.55	0.13
	<i>Usaquén</i>	-0.13	0.73
PM2.5	<i>Bogotá</i>	0.65	0.08
	<i>Fontibón</i>	0.57	0.14
	<i>Usme</i>	0.73*	0.03
	<i>San Cristóbal</i>	0.63	0.07
	<i>Ciudad Bolívar</i>	-0.47	0.20
	<i>Chapinero</i>	-0.02	0.96
	<i>Engativá</i>	-0.38	0.30
	<i>Santa Fe</i>	-0.71*	0.03
	<i>Suba</i>	0.08	0.84
	<i>Kennedy</i>	0.67*	0.05

Matriz de correlación de Pearson para la TM en menores de 5 años asociada a enfermedad respiratoria aguda (ERA) y Promedio de concentración de PM2.5 y PM10 en Bogotá y sus localidades 2014 – 2021

(*) Correlaciones con significancia estadística.

En la **Tabla 4** se observan las correlaciones entre las concentraciones de contaminantes PM2.5 y PM10 y la TM en menores de 5 años asociadas a ERA en varias localidades de Bogotá, se encontraron diversas relaciones. En el cálculo de la correlación en Bogotá en general, se observó una correlación positiva de 0.82 para PM10 $p=0.01$ en cuanto a la mortalidad en menores de 5 años asociada a ERA en Bogotá, y 0.65 para PM2.5 $p=0.082$.

En cuanto a las localidades en la **Tabla 4** se observaron resultados con correlaciones positivas y estadísticamente significativas, Usme mostró una correlación positiva y estadísticamente significativa entre las concentraciones de PM10 y PM2.5 y la Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a ERA, con valores de 0.73 y 0.80 respectivamente (PM2.5 $p=0.02$; PM10 $p=0.01$). Asimismo se observa en la localidad de Kennedy.

Por otro lado, en varias localidades se observaron correlaciones positivas que fueron estadísticamente significativas. En Fontibón, la correlación entre la concentración de contaminantes y la TM en menores de 5 años por ERA fue positiva, con valores de 0.51 y 0.54 para PM2.5 y PM10 respectivamente, pero no resultaron estadísticamente significativas (PM2.5 $p=0.14$; PM10 $p=0.19$). En San Cristóbal, la correlación entre PM2.5 y la TM mostró un valor positivo de 0.63, aunque no fue estadísticamente significativa ($p=0.06$). En Tunjuelito, la correlación entre PM10 y la TM fue positiva (0.54), aunque no estadísticamente significativa ($p=0.13$). En Suba, las correlaciones entre las concentraciones de PM2.5 y PM10 y la Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a ERA, fueron positivas (0.08 y 0.54 respectivamente), pero no estadísticamente significativas (PM2.5 $p=0.84$; PM10 $p=0.13$).

En cuanto a las correlaciones negativas no significativas, Ciudad Bolívar mostró una correlación negativa entre la concentración de PM2.5 y la Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a ERA de -0.47, indicando una relación inversa entre ambas variables, pero

no fue estadísticamente significativa ($p=0.19$). En Chapinero, se observó una correlación negativa de -0.021 entre $PM_{2.5}$ y la Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a ERA, sin significancia estadística ($p=0.96$). En Engativá, las correlaciones entre las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} y la Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a ERA, fueron negativas (-0.39 y -0.46 respectivamente), aunque no estadísticamente significativas ($PM_{2.5} p=0.30$; $PM_{10} p=0.21$). En Usaquén, la correlación entre PM_{10} y la Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a ERA, fue negativa (-0.13), sin significancia estadística ($p=0.73$). En Puente Aranda, la correlación entre la concentración de $PM_{2.5}$ promedio y la TM en menores de 5 años por ERA x 10.000 niños en la localidad fue negativa (-0.43), aunque no estadísticamente significativa ($PM_{2.5} p=0.25$).

Finalmente, en la localidad de Santa Fe, se encontró una correlación negativa y estadísticamente significativa entre el promedio anual de la concentración de $PM_{2.5}$ y la TM en menores de 5 años asociada a ERA (-0.71 ; $p=0.03$). Esto sugiere que, aunque hay una relación inversa entre estas variables, otros factores podrían estar influyendo en la mortalidad infantil por ERA en esta localidad.

Discusión

Esta discusión aborda los tres objetivos propuestos en la investigación, analizando la mortalidad infantil en Bogotá y su relación con la contaminación del aire, las tendencias de concentración de material particulado, y la correlación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} con la Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a ERA.

Objetivo 1: Identificación de las tendencias de mortalidad en menores de 5 años asociada a ERA en Bogotá.

En los últimos años, las tasas de mortalidad en menores de 5 años han mostrado variaciones significativas en Bogotá, reflejando tanto progresos como desafíos persistentes en

la salud infantil. La información de Datos Abiertos (2023) indica que las tasas de mortalidad infantil han fluctuado considerablemente, con picos que a menudo corresponden a períodos específicos de crisis sanitaria o cambios en las políticas de salud. Este patrón destaca la necesidad de un monitoreo continuo y una respuesta adaptativa para mejorar la salud infantil en la ciudad.

Los estudios también muestran que, a nivel global, las tasas de mortalidad infantil han sido objeto de análisis en diversos contextos. Hoskovec, Martenies y Burket (2021) han revisado cómo diferentes factores pueden afectar la mortalidad en menores de 5 años, aunque su enfoque principal está en la severidad de enfermedades en general, sus hallazgos aportan perspectivas valiosas sobre la importancia de gestionar eficazmente los riesgos para la salud infantil. Las fluctuaciones en las tasas de mortalidad pueden estar relacionadas con múltiples factores que varían entre regiones y épocas.

Por otro lado, el análisis de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (2023) proporciona información detallada sobre las tasas de mortalidad infantil en la ciudad, resaltando tendencias y patrones específicos. Este informe muestra cómo las tasas de mortalidad han cambiado en respuesta a diversas intervenciones de salud pública y eventos sanitarios, proporcionando una visión integral sobre el impacto de estas medidas a lo largo del tiempo. La evaluación de estas tendencias es crucial para entender mejor los factores que influyen en la mortalidad infantil y para desarrollar estrategias efectivas.

Finalmente, al considerar los datos sobre la mortalidad infantil, es importante destacar que las tasas no solo reflejan la efectividad de las intervenciones de salud pública, sino también la evolución de las condiciones de vida y la respuesta a emergencias sanitarias. La continuidad en la recopilación de datos y el análisis de las tendencias a lo largo del tiempo son esenciales para ajustar las políticas y asegurar que se aborden adecuadamente los desafíos en la salud

infantil, con el objetivo de reducir las tasas de mortalidad y mejorar la calidad de vida de los menores en Bogotá.

Objetivo 2: Descripción de las Tendencias en la Concentración de Material Particulado (2014-2021).

En general, los niveles de PM10 tienden a ser más altos que los de PM2.5, especialmente durante los meses secos y en áreas con alta actividad industrial y tráfico vehicular. En 2021, las concentraciones promedio de PM10 alcanzaron picos superiores a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que los niveles de PM2.5 fluctuaron entre 30 y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, 2022). Esta variabilidad refleja la influencia de factores estacionales y geográficos en la dispersión y acumulación de material particulado en la ciudad.

Comparando estos datos con estudios internacionales, se observa que la tendencia en Bogotá es consistente con patrones reportados en otras grandes ciudades. En Beijing, China, los niveles de PM10 también tienden a ser más altos que los de PM2.5, alcanzando concentraciones superiores a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los meses de invierno (Tabaku, Bejtja, Bala, Toci, & Resuli, 2011). En Nueva Delhi, India, los niveles de PM2.5 y PM10 han mostrado tendencias fluctuantes con picos significativos durante ciertos períodos, lo cual está asociado con una mayor incidencia de problemas de salud (Benhrooz Karimi & Shokrinezhad, 2020). Estos hallazgos destacan la relevancia de las condiciones locales en la variabilidad de los niveles de material particulado y su impacto en la salud.

Por otro lado, el estudio realizado en Nairobi, Kenia, indica que los niveles de PM10 pueden superar los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en áreas con alta contaminación, mientras que en Bogotá los niveles extremos no alcanzan esos valores (Hoskovec, et al., 2021). A pesar de estas diferencias, el patrón de alta concentración durante períodos específicos y en áreas con intensa actividad económica y vehicular es un denominador común en las ciudades estudiadas.

Además, los resultados en Bogotá son consistentes con estudios realizados en Sao Paulo, Brasil, donde el tráfico vehicular intenso y las actividades industriales se asocian con una tendencia similar en la concentración de PM10 y PM2.5, favoreciendo la aparición de enfermedades respiratorias (Abe & Miraglia, 2016). En Río de Janeiro, Brasil, también se evidencia un comportamiento similar de los contaminantes, especialmente durante ciertos meses del año, lo que se correlaciona con una mayor incidencia de enfermedades respiratorias (Ventura, Lessi de Almeida, Ramos, D'agosto, & Gioda, 2022). Esta comparación internacional refuerza la idea de que, aunque las concentraciones exactas pueden variar, la tendencia general de altos niveles de material particulado y su impacto en la salud es un fenómeno global que requiere atención continua y medidas efectivas para mitigar sus efectos adversos (Hasan et al., 2019).

Objetivo 3: Correlación entre las concentraciones de PM2.5 y PM10 y la mortalidad en menores de 5 años asociada a enfermedad respiratoria aguda (ERA) 2014-2021.

Entre 2014 y 2021, los datos de monitoreo de la calidad del aire en Bogotá han revelado una variabilidad significativa en las concentraciones de material particulado PM10, mientras que para PM2.5 la correlación es positiva más no estadísticamente significativa, comparable con hallazgos globales. La correlación con PM10 indica que los niveles elevados de contaminación del aire tienen un impacto negativo considerable en la salud respiratoria de los menores de cinco años.

A nivel internacional, se han documentado patrones similares. En Beijing, China, se encontró que cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 está asociado con un incremento del 15% al 20% en las tasas de hospitalización por enfermedades respiratorias y un aumento en la mortalidad infantil (Tabaku, Bejtja, Bala, Toci, & Resuli, 2011). Estos resultados destacan la alta sensibilidad de los niños a las concentraciones de material particulado, una tendencia que se

refleja en los datos de Bogotá, donde se reporta una correlación positiva entre las concentraciones de PM2.5 y PM10 y la TM en menores de 5 años asociada a ERA.

En Lima, Perú, un estudio reveló que cada incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 se asocia con un aumento del 8% al 10% en la mortalidad infantil por ERA (Burns et al., 2020). Este hallazgo subraya la consistencia de la relación entre el material particulado y la mortalidad en menores de 5 años asociada a ERA en diversos contextos geográficos. De manera similar, en Nueva Delhi, India, cada aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 se asocia con un incremento del 7% en la mortalidad en menores de 5 años por causas respiratorias (Benhrooz Karimi & Shokrinezhad, 2020).

Además, en Nairobi, Kenia, se reportó un aumento del 10% en la mortalidad de los menores de 5 años por ERA asociado a altos niveles de PM10 (Hoskovec, et al., 2021). Estos estudios reflejan la gravedad del impacto del material particulado en la salud respiratoria de la población pediátrica, alineándose con las observaciones realizadas en Bogotá.

Limitaciones del Estudio

Durante la realización del estudio, se identificaron varias limitaciones relacionadas con la disponibilidad y cobertura de los datos de monitoreo de contaminantes. En particular, se observó una carencia de información en varias estaciones de la RMCAB. Algunas estaciones están operativas desde 2013, mientras que otras se han instalado de manera gradual. Esta situación limitó una comparación exhaustiva de los datos en todas las localidades. Además, ciertas áreas de la ciudad, como La Candelaria, Santa Fe, Mártires y Sumapaz, no cuentan con estaciones de monitoreo, lo que impidió evaluar las concentraciones de contaminantes en estas zonas.

En ocasiones, los datos de las estaciones de monitoreo se concentran en áreas específicas y estos datos se han generalizado para representar las localidades en lugar de

ofrecer información detallada. La falta de datos georreferenciados sobre las mortalidades y las características de las viviendas también limita la capacidad para analizar las condiciones ambientales y de contaminación en áreas específicas. Estos aspectos sugieren la necesidad de estudios futuros que aborden estas deficiencias y proporcionen una visión más detallada de las condiciones locales y sus implicaciones.

Adicionalmente, la información sobre mortalidad en menores a 5 años asociada a ERA, se presenta de forma anual, sin datos mensuales específicos sobre los casos de mortalidad. Esta limitación impidió una evaluación detallada del comportamiento de las variables a lo largo del tiempo, lo cual sería útil para identificar patrones estacionales o tendencias mensuales en la mortalidad infantil.

Finalmente, aunque los resultados del estudio son importantes, es fundamental reconocer las limitaciones inherentes a los estudios ecológicos. Estos estudios pueden enfrentar desafíos como la confusión por variables no medidas que podrían influir en los resultados. Además, la calidad y disponibilidad de los datos sobre mortalidad y contaminación del aire pueden variar, lo que puede afectar la precisión y la interpretación de los hallazgos.

Conclusiones.

Este estudio proporciona evidencia robusta sobre la asociación entre la contaminación del aire por material particulado y la mortalidad en menores de 5 años asociada a enfermedad respiratoria aguda (ERA). Los resultados obtenidos están en concordancia con investigaciones internacionales que evidencian el impacto adverso de la exposición a PM_{2.5} y PM₁₀ en la salud respiratoria de los niños. Se observa una correlación positiva moderada entre las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ y la Tasa de Mortalidad (TM) en menores de 5 años asociada a ERA, expresada en 10,000 habitantes; Esto subraya que la calidad del aire representa un factor de riesgo significativo para la salud respiratoria en este grupo etario. Las

correlaciones encontradas en este estudio podrían contribuir en la implementación de futuras políticas públicas efectivas para controlar la contaminación del aire y proteger la salud de los niños.

El síndrome de dificultad respiratoria se ha identificado como el diagnóstico más prevalente en los casos de mortalidad infantil asociados con la exposición a PM10 y PM2.5. Además, la investigación confirma la importancia de mantener una vigilancia continua de la calidad del aire y su impacto en la salud pública. Es fundamental conservar, mejorar e incluir nuevas fuentes de monitoreo ambiental para obtener datos más precisos y realizar observaciones más detalladas.

Finalmente, este estudio indica la necesidad de llevar a cabo investigaciones futuras que profundicen en los factores adicionales que influyen en los decesos por causas respiratorias agudas. También es crucial explorar otras afecciones secundarias asociadas a la inhalación de material particulado, así como identificar elementos de contaminación provenientes de fuentes fijas y móviles y su impacto en la salud de los niños y otros grupos poblacionales.

Referencias

- Abe, K. C., & Miraglia, S. G. (2016). Health impact assessment of air pollution in São Paulo, Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(7), 694. <https://doi.org/10.3390/ijerph13070694>
- Álvarez Miño, L., & Salazar Ceballos, A. (2013). Síntomas respiratorios y función pulmonar en niños de 6 a 14 años de edad y su relación con la contaminación por material particulado PM10 en Santa Marta-Colombia. *Revista Española de Salud Pública*, 87(3), 239–246. <https://doi.org/10.4321/s1135-57272013000300003>
- Behrooz Karimi, B., & Shokrinezhad, B. (2020). Air pollution and mortality among infants and children under five years: A systematic review and meta-analysis. *Atmospheric Pollution Research*, 11(6), 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.02.006>
- Burns, J., Boogaard, H., Polus, S., Pfadenhauer, L. M., Rohwer, A. C., van Erp, A. M., Turley, R., & Rehfuss, E. A. (2020). Interventions to reduce ambient air pollution and their effects on health: An abridged Cochrane systematic review. *Environmental International*, 135, 105400. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105400>
- Datos Abiertos Bogotá. (2023). Mortalidad en Bogotá D.C. Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/mortalidad-en-bogota-d-c>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). Proyecciones de población. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Gomes, A. C. dos S., Spyrides, M. H. C., Lúcio, P. S., & Lara, I. A. R. de. (2023). The association between air pollution and the mortality of elderly people due to acute myocardial infarction in São Paulo, SP, Brazil. *Revista Brasileira de Climatologia*. ISSN:

2237-8642. <https://repositorio.usp.br/directbitstream/69338b29-9802-4c26-9ae2-b3cf00925f68/2966171-The%20association%20between%20air%20pollution%20and%20the%20mortality%20of...pdf>

Greenpeace Colombia. (2021, septiembre 22). Según nuevos parámetros de la OMS, Bogotá necesita aire limpio ¡ya! Greenpeace Colombia.

<https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/uncategorized/segun-nuevos-parametros-de-la-oms-bogota-necesita-aire-limpio-ya/>

Grisales-Romero, H., Montealegre, N., Piñeros, J. G., Ospina, D., & Nieto, E. (2022). Relación de PM_{2,5} y enfermedad respiratoria aguda en un territorio de Colombia: Modelos aditivos generalizados. *Universitas Salud*, 24(1), 45-54.

<https://doi.org/10.22267/rus.222401.256>

Hasan, M., Tasfina, S., Haque, S. M. R., Saif-Ur-Rahman, K. M., Khalequzzaman, M., Bari, W., & Islam, S. S. (2019). Association of biomass fuel smoke with respiratory symptoms among children under 5 years of age in urban areas: Results from Bangladesh Urban Health Survey, 2013. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 24(1), 65.

<https://doi.org/10.1186/s12199-019-0827-3>

Hoskovec, L., Martenies, S., Burket, T. L., Magzamen, S., & Wilson, A. (2022). Association between air pollution and COVID-19 disease severity via Bayesian multinomial logistic regression with partially missing outcomes. *Environmetrics*, 33(6), e2751.

<https://doi.org/10.1002/env.2751>

Organización Mundial de la Salud. (2020). Guías de calidad del aire 2021.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf>

- Pan American Health Organization. (2005). An assessment of health effects of ambient air pollution in Latin America and the Caribbean. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55274>
- Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. (2022). Informe mensual febrero 2022. <http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/informe%20mensual%20febrero%2020222.pdf>
- Salazar Ceballos, A., & Álvarez Miño, L. (2013). Síntomas respiratorios y función pulmonar en niños de 6 a 14 años de edad y su relación con la contaminación por material particulado PM10 en Santa Marta-Colombia. *Revista Española de Salud Pública*, 87(3), 239–246. <https://doi.org/10.4321/s1135-57272013000300003>
- Salud Capital. (2023). Salud a mi barrio. <https://www.saludcapital.gov.co/DSP/Paginas/Salud-a-mi-barrio.aspx>
- Tabaku, A., Bejtja, G., Bala, S., Toci, E., & Resuli, J. (2011). Efectos de la contaminación del aire en la salud pulmonar de los niños. *Atmospheric Environment*, 45(40), 7540–7545. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.07.033>
- Ventura, L. M. B., Lessi de Almeida, I. R. P., Ramos, M. B., D'agosto, M. de A., & Gioda, A. (2022). Impact of the Transport System on Air Quality: The Case of Rio de Janeiro, Brazil. *Unb.Br.* <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/44993/35543>
- Visor Geográfico Ambiental. (2023). Visor geográfico ambiental. Datos Abiertos. <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/?lon=-74.088180&lat=4.661370&z=11&l=5:1>