



Exploración del comportamiento de la contaminación del aire y los eventos cardiorrespiratorios en la población del municipio de Bello, asociados con los incendios forestales locales del Valle de Aburrá, Antioquia, durante 2017-2019.

Ana Carolina Castrillón González

Trabajo de grado para optar al título de Administradora en Salud: Gestión
Sanitaria y Ambiental

Asesora

Sara Catalina Grisales Vargas, Magíster en Ingeniería Ambiental.

Universidad de Antioquia
Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez
Administración Ambiental y Sanitaria
Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita	Castrillón González (1)
Referencia	(1) Castrillón González AC. Exploración del comportamiento de la contaminación del aire y los eventos cardiorrespiratorios en la población del municipio de Bello, asociados con los incendios forestales locales del Valle de Aburrá, Antioquia, durante 2017-2019. [Trabajo de grado profesionalTrabajo de grado profesional]. Medellín, ColombiaMedellín, Colombia. Universidad de Antioquia; 20232023.
Estilo Vancouver/ICMJE (2018)	



Biblioteca Salud PúblicaBiblioteca Salud Pública

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos

Agradecimiento

Mis más sinceros agradecimientos a mi asesora Sara Catalina Grisales Vargas por su apoyo incondicional durante la construcción de este trabajo de grado y su confianza y empuje en el trascurso de todo el proceso.

Agradezco al Grupo de Investigación Salud y Ambiente (GISA) por el acompañamiento metodológico y técnico ofrecido durante la realización de este proyecto.

Agradezco a la Universidad de Antioquia y a la Facultad Nacional de Salud Pública, por brindarme las bases y acompañarme durante todo mi proceso académico.

También quiero agradecer a mis profesores y compañeros de estudio por su empuje y colaboración durante los últimos 5 años. A mi familia por ser mi fundamento, sostén y ayudarme a sobrellevar los momentos más difíciles.

Contenido

Lista de Tablas	7
Lista de figuras	8
Glosario	10
Siglas.....	13
Resumen	14
1. Introducción	15
1.1 Planteamiento del problema	16
1.2. Justificación	20
2. Objetivos.....	22
Marco referencial.....	23
3. Marco teórico	23
3.1. Contaminación del aire.	23
3.2. Estaciones de monitoreo.....	25
3.3. Red de monitoreo de calidad del aire del Sistema de Alertas tempranas de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA).....	26
3.4. Ciudadanos Científicos – Nubes.....	27
3.5. Incendios forestales.	28
3.6. Contaminantes emitidos por los incendios forestales	29
3.7. Efectos de los incendios forestales y la contaminación del aire sobre la salud humana.....	30
3.8. Incendios forestales en el Valle de Aburrá.....	32
3.9. El Sistema Nacional de Información Forestal - SNIF	33
3.10. Rosa de los vientos.....	34
3.11. Pruebas de normalidad.....	34

3.12. Comparación de dos grupos independientes prueba t para dos muestras independientes	36
3.13. El coeficiente de correlación.	37
3.14. Análisis de varianza no paramétrico	38
3.15. QGIS.....	38
3.16. WRPLOT View.....	39
3.17. SPSS Statistic.....	39
4. Marco Territorial.....	40
4.1. Condiciones especiales del Valle de Aburrá	40
5. Marco normativo.	44
6. Estado del Arte	47
Metodología.....	50
7. Enfoque de diseño.	50
8. Tipo de estudio.	50
9. Área de estudio.....	50
10. Población, referentes ambientales, criterios de inclusión y exclusión	51
11. Operacionalizaciones variables	52
12. Procedimientos de recolección de datos.....	54
13. Técnicas y procedimientos de procesamiento de datos.....	56
14. Técnicas y procedimientos de análisis de información	56
15. Publicación y divulgación de resultados.....	58
Consideraciones éticas.	59
Resultados.....	60
Discusión.....	91
Conclusiones.....	96

Referencias 97

Anexos 108

Lista de Tablas

Tabla 1. Subdivisión de las fuentes antropogénicas de las concentraciones atmosféricas a nivel global 2022 (41) (43).....	24
Tabla 2. Tipos de contaminantes del aire a nivel global 2022 (41)	25
Tabla 3. Numero de quemas en el Valle de Aburrá 2016-2020(38).....	33
Tabla 4. Legislación calidad del aire a nivel mundial, nacional y local 2022	44
Tabla 5. Legislación incendios forestales a nivel mundial, nacional y local 2022.....	45
Tabla 6. Variables y categorías para la investigación 2022	53
Tabla 7. Estadísticos descriptivos para las series de PM _{2.5}	63
Tabla 8. Fechas de excedencia de la estación de monitoreo BEL.FEVE	65
Tabla 9. Días atípicos del conjunto de datos de la estación BEL-FEVE	75
Tabla 10. Estadísticos de prueba de normalidad.	76
Tabla 11. Prueba U de Mann-Whitney para todas las estaciones de monitoreo.....	77
Tabla 12. Estadísticos descriptivos de PM _{2.5} los días con incendios y sin incendios....	77
Tabla 13. Estadísticos descriptivos para los casos de morbilidad y mortalidad	81
Tabla 14. Estadísticas descriptivas los días en que sí y no hubo incendios, 2017-2019	82
Tabla 15. Días atípicos de los conjuntos de datos de morbilidad y mortalidad, Bello 2017-2019.	84
Tabla 16. Días atípicos de los conjuntos de datos de morbilidad y mortalidad Bello 2017- 2019	85
Tabla 17. Análisis de correlación de los casos de morbilidad y mortalidad con relación a las variables meteorológicas	86
Tabla 18. Análisis de correlación variable P de los casos morbilidad y mortalidad, Bello 2017-2019	88
Tabla 19. Análisis bivariado de los casos morbilidad y mortalidad, Bello 2017- 2019...	90

Lista de figuras

Figura 1. Síntesis del problema y la justificación 2022	21
Figura 2. División administrativa del Valle de Aburrá 2022.....	41
Figura 3. Topografía del Valle de Aburrá 2022 (31).....	41
Figura 4. Configuración del Valle de Aburrá 2022 (31).....	42
Figura 5. Área de estudio delimitando la zona del Valle de Aburrá y el municipio de Bello 2022.....	51
Figura 6. Gráfico de columna de la ocurrencia de los incendios forestales 2017-2019	60
Figura 7. Ubicación de los Incendios Forestales en el área de estudio 2017-2019.....	61
Figura 8. Cuartiles para las series de PM2.5 de todas las estaciones analizadas.....	64
Figura 9. Días con excedencias a la norma nacional de los niveles de PM2.5.....	64
Figura 10. Días con excedencias a la norma de la OMS de los niveles de PM2.5	65
Figura 11. Gráfico de las estaciones de monitoreo PM2.5 durante la serie de tiempo 2017-2019	68
Figura 12. Ubicaciones de las estaciones de monitoreo PM2.5 utilizadas en el análisis.	69
Figura 13. Rosa de los vientos del municipio de Bello, 2017-2019.....	70
Figura 14. Ubicación rosa de los vientos y estaciones de monitoreo PM2.5, 2017-2019	71
Figura 15. Gráfico de las estaciones de monitoreo y las fechas de los incendios	73
Figura 16. Cuartiles para los conjuntos de sí y no para las concentraciones PM _{2.5}	75
Figura 17. Ubicación de las nubes con respecto a la dirección del viento dominante ..	80
Figura 18. Ubicación de estación BEL-FEVE con respecto a la dirección del viento predominante.....	80
Figura 19. Cuartiles para los conjuntos de si y no de los casos de enfermedad, Bello 2017-2019	83

Anexos

Anexo 1. Estado del arte	111
Anexo 2. Datos de incendios forestales – Área metropolitana 2017-2019	113
Anexo 3. Datos de incendios forestales en el Valle de Aburrá– Corantioquia 2017-2019	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 4. Datos de contaminación del aire del Valle de Aburrá 2017-2019	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 5. Datos de salud del Valle de Aburrá 2015-2019	117

Glosario

AMVA: El Área Metropolitana del Valle de Aburrá es una entidad administrativa de derecho público que asocia a los 10 municipios que conforman el Valle de Aburrá: Medellín es la ciudad núcleo, alrededor de la cual están conurbados los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Itagüí, Sabaneta, Envigado, La Estrella y Caldas, actúa como autoridad de transporte público metropolitano y autoridad ambiental urbana. (1)

Bello: Es un municipio colombiano, ubicado en el norte del Valle de Aburrá del departamento de Antioquia. Forma parte de la denominada Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2).

Calidad del aire: Hace referencia a la presencia o ausencia de varias sustancias y sus concentraciones, se expresa mediante la concentración o intensidad de contaminantes, la presencia de microorganismos, o la apariencia física (3).

Contaminación del aire: Se refiere a la presencia en el aire de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos en concentraciones o niveles tales que puedan constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental (4).

Contaminante criterio: Son sustancias que se liberan en grandes cantidades de gran variedad de fuentes y presentan un riesgo a la salud y bienestar humano en grandes regiones. El dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno, el monóxido de carbono, material particulado y ozono son los contaminantes criterio (5).

Cuenca atmosférica del Valle de Aburrá: Hace referencia a un espacio geográfico delimitado parcial o totalmente por elevaciones montañosas u otros atributos naturales, ocupado por un volumen de aire con características similares, que propician la concentración y reacción de gases y partículas contaminantes del aire (31).

Enfermedad circulatoria: Son un grupo de desórdenes del corazón y de los vasos sanguíneos (arterias, capilares, venas) de todo el organismo, tales como el cerebro, las piernas y los pulmones. "Cardio" se refiere al corazón y "vascular" al sistema de vasos sanguíneos (6).

Enfermedad respiratoria: Tipo de enfermedad que afecta los pulmones y otras partes del aparato respiratorio. Las enfermedades respiratorias se producen por infecciones, consumo de tabaco o inhalación de humo de tabaco en el ambiente, y exposición al radón, amianto u otras formas de contaminación del aire (7).

Episodio crítico de contaminación atmosférica: Es la ocurrencia de un estado de concentración de contaminantes en el aire que, dados sus valores y tiempo de duración, conlleva la declaratoria de medidas de contingencia por parte de la autoridad ambiental ante alguno de los niveles de contaminación superiores a lo normal (8).

Estabilidad atmosférica: Es una condición de la atmósfera que se opone al desarrollo de nubes de los géneros cúmulo y cumulonimbos. Se caracteriza por estados del cielo despejados o con presencia de nubes estratiformes (9).

Estación de monitoreo de calidad del aire: Corresponde a diversos equipos destinados a medir las concentraciones de uno o más contaminantes en el aire y ciertos parámetros meteorológicos. Pueden clasificarse de acuerdo con su tecnología en estaciones manuales, automáticas o mixtas y su movilidad en estaciones fijas o indicativas (10).

Fuente de emisión de contaminantes: El aire que respiramos se contamina cuando se introducen sustancias distintas a las que lo componen naturalmente, o bien, cuando se modifican las cantidades de sus componentes. La contaminación se puede dar debido a factores naturales (erupción de volcanes, incendios forestales, entre otros) o derivarse de las actividades del ser humano (uso de vehículos, procesos industriales, entre otros) (43)

Incendios forestales: Son incendios grandes, incontrolados y potencialmente destructivos que pueden afectar tanto a las áreas rurales como a las urbanas. Pueden

extenderse rápidamente, cambiar de dirección e incluso 'saltar' a grandes distancias cuando el viento lleva las brasas y las chispas. La propagación de un incendio forestal depende de la disposición del terreno, el combustible disponible (vegetación o madera muerta) y las condiciones climáticas (viento y calor) (11).

Inestabilidad atmosférica: Se determina a partir de las diferencias de temperatura entre una parcela de aire y el aire circundante. Si la temperatura de la parcela es menor a la del ambiente, tenderá a subir, y por tanto apoyar los movimientos ascendentes y de transporte de humedad (12).

Material Particulado PM_{2.5}: Partículas inhalables finas que tienen diámetros de 2,5 micrómetros y menores (13).

Morbilidad: Se refiere a la presentación de una enfermedad o síntoma de una enfermedad o a la proporción de enfermedad en una población (14).

Mortalidad: Se usa para referirse a la tasa de muertes, tasa de mortalidad o el número de defunciones en cierto grupo de personas en determinado período. Es posible notificar la mortalidad de personas con cierta enfermedad, que viven en un área del país o que son de determinado sexo, edad o grupo étnico (15).

El Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá - SIATA: Es un proyecto de Ciencia y Tecnología en gestión del riesgo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGRD) y la Alcaldía de Medellín (16).

Siglas

AMVA: Área Metropolitana del Valle de Aburrá

BEL.FEVE: Estación de monitoreo Liceo Fernando Vélez

CIE-10: Clasificación internacional de enfermedades, 10.^a edición

EPOC: Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

GBD: *The Global Burden of Disease*

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

INS: El Instituto Nacional de Salud de Colombia

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

PM_{2.5}: Material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros

SCVA: Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire

SIATA: Sistema de Alertas Tempranas del Valle de Aburrá

SNIF: Sistema Nacional de Información Forestal

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

µm: Micrómetros

Resumen

Objetivo: Explorar el comportamiento de los niveles del PM_{2.5} y los eventos cardiorrespiratorios en la población del municipio de Bello, asociados con incendios forestales locales en el Valle de Aburrá, Antioquia, durante 2017-2019.

Métodos: Usando un enfoque cuantitativo de tipo ecológico y exploratorio, con el fin de analizar los datos de los incendios y su relación con la contaminación con PM_{2.5}, se realizó la prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov; igualmente, se procedió hacer uso de la prueba U de Mann-Whitney (no paramétrico), para determinar si es posible afirmar la hipótesis definida. Para establecer la relación entre los datos de morbi-mortalidad y los incendios forestales, se procedió a utilizar la prueba Kruskal-Wallis para datos no paramétricos, buscando rechazar o aceptar la hipótesis, y se efectuó un análisis de correlación entre las diferentes variables definidas para el estudio.

Resultados: La mediana entre los días con incendios forestales en el Valle de Aburrá y los niveles de PM_{2.5} en el municipio de Bello durante la serie de tiempo 2017-2019, establece el valor p en 0,046, según la prueba Kruskal-Wallis, afirmando una diferencia estadísticamente significativa entre los conjuntos de datos. Para los casos de morbilidad por enfermedades circulatorias y respiratorias en el municipio de Bello y su relación con los incendios forestales se encontró un valor p de 0,038 y 0,032 respectivamente, así mismo, para los casos de mortalidad por estas mismas causas se encontró un valor p de 0,037 para enfermedades respiratorias y 0,048 para enfermedades circulatorias, estableciendo igualmente una diferencia entre todos los conjuntos de datos analizados.

Conclusión: Los resultados de este estudio sugieren la posibilidad de que exista una afectación en las concentraciones diarias de PM_{2.5} y los casos de morbilidad y mortalidad en el municipio de Bello, por causa de los incendios forestales en el Valle de Aburrá. Fenómeno que se puede ver incrementado por las características geográficas y meteorológicas del territorio.

Palabras clave: Contaminación del aire, incendios forestales, material particulado, morbilidad, mortalidad.

1. Introducción

En este trabajo se realizó una exploración inicial del comportamiento de la contaminación del aire y los eventos cardiorrespiratorios en la población del municipio de Bello, asociados con los incendios forestales locales del Valle de Aburrá, durante 2017-2019, por medio del análisis de los datos obtenidos de una variedad de fuentes como: Corantioquia, el Área Metropolitana y el Grupo de Investigación Salud y Ambiente (GISA). Se identificaron las variables de cantidad, duración y ubicación de los incendios forestales ocurridos en el Valle de Aburrá, en este periodo de tiempo; además, se estableció la concentración de $PM_{2.5}$ durante todo el periodo de análisis, también se utilizaron cinco variables meteorológicas: precipitación, humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento, con el fin de construir una rosa de viento y calcular la correlación entre los datos ambientales. Igualmente, se definieron como variables la morbilidad y mortalidad por enfermedades circulatorias (ICD-10 códigos I00-I99) y respiratorias (ICD-10 códigos J00-J99), presentadas en personas mayores de 65 años y menos de 5 años, poblaciones que son estadísticamente más vulnerables a sufrir los efectos resultantes de factores ambientales como los incendios.

La metodología y los resultados fueron divididos de la siguiente manera: Primero se realizó el análisis de los incendios forestales, luego se examinaron las concentraciones de $PM_{2.5}$ provenientes de las estaciones de monitoreo del municipio de Bello y se elaboró una rosa de vientos identificando la dirección predominante del viento y se examinó la relación de esta variable con los incendios, por último, se analizaron los datos de morbilidad y mortalidad por enfermedades respiratorias y circulatorias de la población del municipio de Bello, y se evaluó la posible relación entre los casos determinados por estas patologías y la presencia de incendios forestales.

1.1 Planteamiento del problema

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo (17). El estudio de la carga de enfermedad global (GBD) realizó un análisis sobre el impacto en la carga de la enfermedad atribuible a la contaminación del aire, en el año 2019, donde reportó que la contaminación del aire puede considerarse como el cuarto factor de riesgo para la salud de la población mundial, y estimó que la exposición a material particulado menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$) explica 6,7 millones de muertes anuales (11,3% y 12,2% del total de muertes de mujeres y hombres en el mundo, respectivamente). La mayor parte de la carga de morbilidad atribuible a la contaminación del aire (82%) proviene de enfermedades crónicas no transmisibles, particularmente por enfermedades pulmonares y enfermedades cardiorrespiratorias (18).

El aire que respiramos se contamina cuando se introducen sustancias distintas a las que lo componen naturalmente, o bien, cuando se modifican las cantidades de sus componentes. La contaminación se puede dar debido a factores naturales (erupción de volcanes, incendios forestales, entre otros) o derivarse de las actividades del ser humano (uso de vehículos, procesos industriales, entre otros) (19).

Los incendios forestales son una fuente contaminante importante que debe ser considerada, pues tiene incidencia directa sobre el aumento del material particulado y contaminantes como el CO_2 , SO_x , NO_x , CH_4 y N_2O , estos son considerados como procesos de combustión natural de gran potencia que consumen los diferentes estados, tamaños y tipos de vegetación en un área geográfica determinada (20). Además de las perturbaciones ecológicas que producen los incendios forestales, suponen un problema de salud pública con una cuota mundial de 339.000 muertes al año por inhalación de humo (21).

De manera reciente se han llevado a cabo estudios con series de datos que han proporcionado evidencia creciente del aumento significativo en la mortalidad. Un estudio en el que se consideraron datos de 13,5 años con 48 días clasificados como afectados por el fuego en Sídney, Australia, demostró un incremento significativo en la mortalidad

asociada a estos días. Un metaanálisis de datos en 10 ciudades del sur de Europa también encontró incrementos de la mortalidad cardiovascular asociada con PM_{10} y $PM_{2.5}$, que fueron mayores los días afectados por el humo que los días clasificados como no afectados (22).

Un factor que ha aumentado el riesgo de incendios forestales ha sido la cada vez mayor disminución de las áreas entre la tierra con vegetación y las áreas urbanas como resultado del crecimiento de las zonas residenciales, especialmente donde las ciudades limitan con las áreas forestales. Factores como la densidad, las características de la vegetación, el aislamiento de las áreas urbanas de otras áreas urbanas y servicios como el transporte aumentan el riesgo (23).

Unos pocos estudios han informado los efectos adversos para la salud de los incendios forestales en áreas metropolitanas. Un análisis realizado en Atenas, Grecia indicó efectos en la salud de los incendios forestales que ocurren cerca de áreas densamente pobladas (8). Otros estudios realizados en lugares con condiciones semejantes encontraron un incremento en las visitas al hospital por exacerbación de enfermedades respiratorias y en la frecuencia de los síntomas respiratorio, además definió una importante presencia de concentración de contaminantes atmosféricos durante los fenómenos naturales mencionados (24).

En América Latina se calcula que cada año mueren alrededor de 35.000 personas por la contaminación del aire intraurbano y 276.000 años de vida se pierden por la misma causa (25), siendo Brasil, Argentina, México, Colombia, Chile, Perú, Bolivia, Paraguay y Venezuela los nueve países latinoamericanos con mayor cantidad de muertes atribuibles a la contaminación del aire y también los países que exhiben las mayores poblaciones urbanas (26). En la región se ha analizado el efecto de los incendios forestales y, se ha encontrado que las emisiones producidas en los incendios forestales son transportadas a través del aire a distintas zonas y por grandes distancias, causando aumento en las concentraciones de los distintos contaminantes y efectos adversos en la salud (20). En Brasil, por ejemplo, un estudio identificó una asociación significativa de $PM_{2.5}$ relacionado con oleadas de incendios forestales con admisiones hospitalarias respiratorias y

circulatorias con un aumento del 23 % en los ingresos hospitalarios respiratorios y del 21 % en los ingresos hospitalarios circulatorios (27).

En Colombia, el 74% de la población identifica a la contaminación del aire como uno de los problemas más serios en el país, porque afecta directamente a la población de bajos recursos (28). El último informe de carga de la enfermedad ambiental de Colombia, realizado por el Instituto Nacional de Salud (INS) encontró que la contaminación del aire es uno de los dos principales factores de riesgo ambiental que genera más pérdidas de vida saludable, en este caso con 15.681 muertes atribuibles, donde el 13,9% de las muertes fueron por enfermedad isquémica del corazón y el 17,6% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica (29). Según el estudio de carga mundial de la enfermedad Colombia se ha ubicado entre las naciones donde las muertes atribuidas al PM_{2.5} representan cerca del 5% de las muertes por todas las causas (30). De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) a nivel nacional, las zonas que mayor afectación presentan por importantes niveles de contaminación del aire son: el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), tres localidades en la ciudad de Bogotá, el municipio de Ráquira en Boyacá y la zona industrial de ACOPI en el municipio de Yumbo en el Valle del Cauca (19).

El Valle de Aburrá ubicado en el departamento de Antioquia cuenta con ciertas condiciones especiales que pueden incrementar la contaminación del aire en la región. Está ubicado en un entorno montañoso lo que constituye una condición geográfica adversa para la circulación horizontal de las masas de aire, lo que, sumado a condiciones de ventilación escasa, favorece la acumulación de contaminantes y dificulta su remoción. Las transiciones de temporadas (marzo / abril y octubre /noviembre) se caracterizan por la presencia de capas de nubes de baja altura que ocasionan la acumulación de contaminantes en la atmósfera, este fenómeno se denomina estabilidad atmosférica y se registran las concentraciones más altas de material particulado del año (PM₁₀ y PM_{2.5}) (31). De acuerdo con los registros históricos, el PM_{2.5} (partículas de 2.5 micras o micrómetros -la millonésima parte de un metro-) es el contaminante que más deteriora la calidad del aire en el área y el que más daño puede causar a la salud humana debido a su tamaño microscópico (32).

Un estudio realizado en la Universidad de Antioquia encontró que durante los episodios de $PM_{2.5}$ ocurridos en 2015 en la ciudad de Medellín, en la ventana de observación del trimestre febrero-abril, incrementaron desde el primer día de exposición, el riesgo de defunciones por causas respiratorias en la población general y en los adultos con 65 o más años (33). En este mismo año se dio el mayor número de incendios registrados (34), se presentaron aproximadamente 1.040 incendios forestales en el Valle de Aburrá (35).

Cabe mencionar que el 2020 es una época de difícil análisis en relación con la asociación entre impactos ambientales y de salud, debido principalmente a las condiciones de pandemia y aislamiento vividas en este periodo de tiempo. Sin embargo, se sabe que estuvo caracterizado por el gran impacto que tuvieron los incendios a nivel regional sobre la calidad del aire del Valle de Aburrá. Durante dichas épocas la frecuente ocurrencia de incendios locales y regionales, propicio el aumento y transporte de contaminantes provenientes del nororiente hacia Antioquia. Dicho impacto producido por los incendios y las condiciones de circulación regional se reflejó en un aumento significativo en la concentración de contaminantes por $PM_{2.5}$ en las estaciones oficiales de medición del Valle de Aburrá. Estos acontecimientos evidenciaron con mayor fuerza el posible vínculo entre los factores de salud y contaminación del aire en relación con la incidencia de incendios forestales (36).

En el Valle de Aburrá se ha observado un incremento sustancial presentado en la magnitud de incendios forestales en los últimos años (35), considerando las características especiales de la región principalmente urbana, esta fuente de emisión de contaminación puede llegar a presentar un alto riesgo para la salud pública y ambiental de la población (31). Con el objetivo de generar más información, así como un primer acercamiento en la relación epidemiológica y ambiental de estos factores que favorezcan a futuras investigaciones en la zona, teniendo presente la falta de estudios ejecutados y solo uno en proceso de construcción (Grupo Salud y Ambiente - Universidad de Antioquia) en correspondencia a este tema, este estudio pretende responder la pregunta:

¿Cuál es el comportamiento de los niveles del PM_{25} y los eventos cardiorrespiratorios en el municipio de Bello, asociados con incendios forestales locales en el Valle de Aburrá, Antioquia, durante 2017-2019?

1.2. Justificación

Los incendios forestales son una preocupación creciente, ya que se prevé que el cambio climático aumente su frecuencia, intensidad y velocidad de propagación (37). Se sabe que los incendios, dependiendo de las características de la región, pueden generar emisiones contaminantes críticas y se distingue que, según datos arrojados por la Organización Mundial de la Salud, existe un vínculo estrecho entre las exposiciones de largo y corto plazo a la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias (17).

Teniendo en cuenta que estos riesgos y efectos en la salud no están distribuidos equitativamente en la población, siendo las personas más susceptibles para sufrir condiciones de salud causada por la contaminación del aire aquellas con enfermedades previas o crónicas, los niños menores de 5 años, los adultos mayores y personas de que viven la vulnerabilidad social (38) y que las características especiales del territorio pueden aumentar el riesgo a la salud y al medio ambiente por esta causa, llama la atención que en el Valle de Aburrá, solo se encuentre un estudio en desarrollo que busque una posible situación de causa y efecto.

Este estudio se considera pertinente porque dado el poco conocimiento actual sobre este tema en el territorio, la información que se obtenga puede ayudar a respaldar la toma de decisiones de los diferentes actores en el territorio, implementar programas y proyectos de gestión y control de riesgo durante estos episodios, con el fin de proteger a las poblaciones más vulnerables a las posibles consecuencias que puede acarrear la suma de los elementos mencionados e incentivar a la realización de nuevas investigaciones que analicen esta posible relación y cómo están afectando los incendios que se presentan en el Valle de Aburrá a la población y al medio ambiente." Ver figura 1

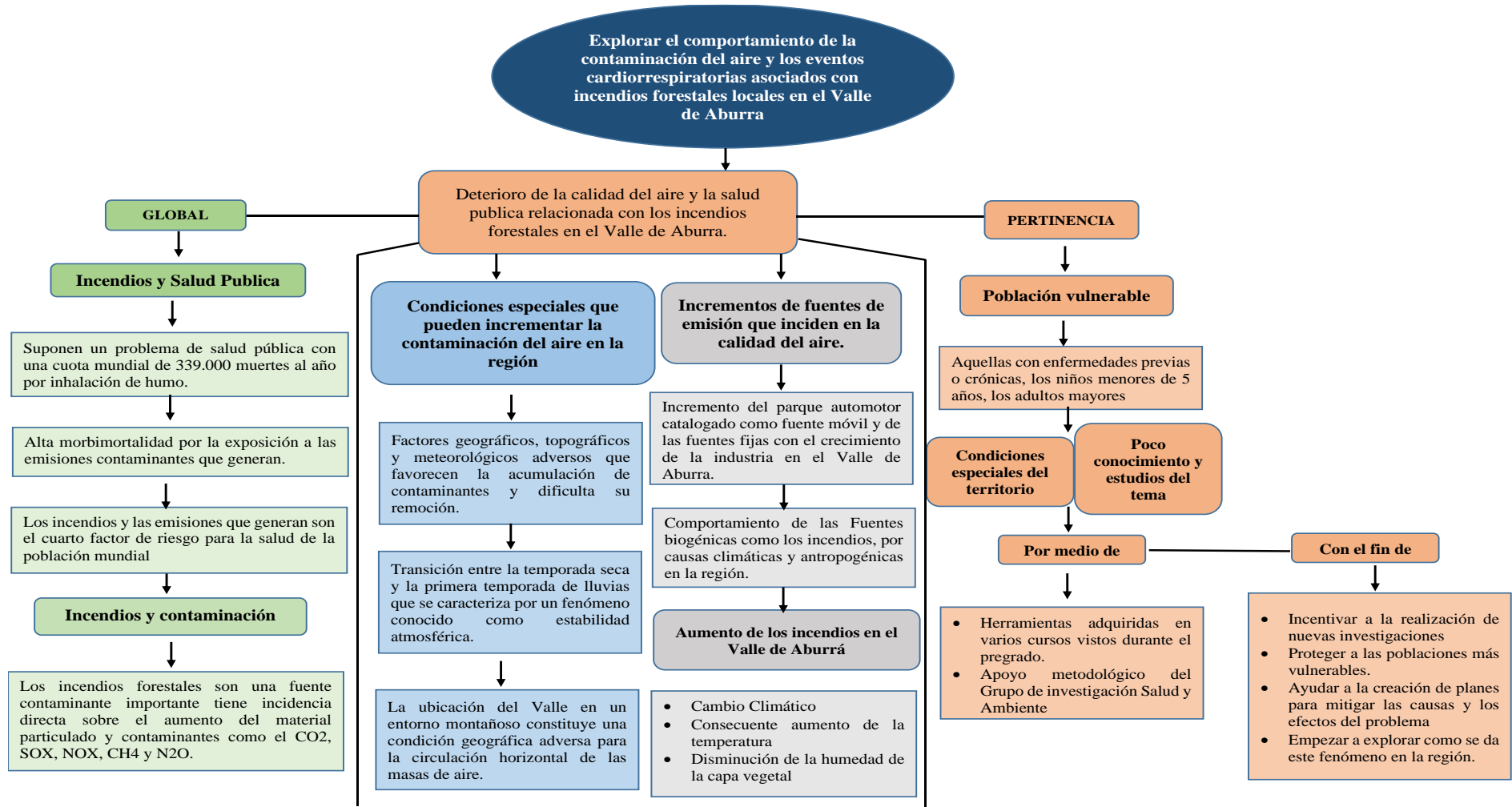


Figura 1. Síntesis del problema y la justificación 2022

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Explorar el comportamiento de los niveles del $PM_{2.5}$ y los eventos cardiorrespiratorios en la población del municipio de Bello, asociados con incendios forestales locales en el Valle de Aburrá, Antioquia, durante 2017-2019.

2.2. Objetivos específicos

1. Identificar la cantidad, duración y ubicación geográfica de los incendios forestales ocurridos durante el periodo 2017-2019 en el Valle de Aburrá.
2. Analizar las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el municipio de Bello, durante los episodios de incendios forestales locales en el Valle de Aburrá.
3. Establecer el comportamiento de la morbilidad y la mortalidad por eventos cardiorrespiratorios en la población mayor de 65 y menor de 5 años del municipio de Bello, durante los episodios de incendios forestales en el Valle de Aburrá.

Marco referencial

3. Marco teórico

3.1. Contaminación del aire.

Se considera que el aire está contaminado cuando contiene impurezas en forma de humos, gas, vapores, cenizas, polvos, partículas en suspensión, bacterias patógenas, elementos químicos extraños y partículas radiactivas, durante lapsos prolongados y en cantidades que rebasen los grados de tolerancia permitidos, y que además resultan dañinos a la salud humana, a sus recursos o a sus bienes (39). La contaminación atmosférica o contaminación del aire es, por consiguiente, una de las formas principales en que puede ser degradado o afectado parte del ambiente. Algunos autores lo describen como “la emisión al aire de sustancias peligrosas a una tasa que excede la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos y depositarlos o diluirlos por medio del viento y el movimiento del aire” (40).

La preocupación por la contaminación del aire viene de muchos años atrás. Está directamente relacionada con nuestros estilos de vida modernos, de cómo se construyen y planifican las ciudades, de la ineficiencia en la producción de los productos que consumimos y de los servicios que requerimos para nuestro confort, de las formas en que nos transportamos de un lugar a otro y de las fuentes energéticas que empleamos para calefaccionar e iluminar nuestros hogares y trabajos (41).

Debido a los niveles de emisión, las concentraciones atmosféricas, los efectos en la salud y el ambiente, en Colombia y el mundo se han establecido como referencia de los problemas de contaminación atmosférica los niveles de emisión e inmisión del material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), del dióxido de azufre (SO_2), del dióxido de nitrógeno (NO_2), del ozono troposférico (O_3) y del monóxido de carbono (CO), también conocidos como contaminantes criterio (19). Estos contaminantes en el aire son monitoreados por las Autoridades Ambientales mediante Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire – SVCA, diseñados y operados conforme a los criterios que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha definido (42).

La contaminación del aire se puede clasificar de diferentes maneras:

- Según la naturaleza de la fuente emisoras:

Fuentes biogénicas, corresponden a los eventos de contaminación producidos por fenómenos propios de la naturaleza. Entre éstos se encuentran las erosiones, los incendios forestales, las erupciones volcánicas, la descomposición de la vegetación y tormentas de polvo (41).

Fuentes antropogénicas, estas corresponden a actividades o intervenciones que realizan las personas, siendo la principal causa la combustión de materiales, sea ésta originada por las industrias, los vehículos o en el hogar. Como se observa en la tabla 1, esta clasificación tiene a su vez una subdivisión en tres grupos: las fuentes fijas, las fuentes móviles y las fuentes fugitivas (41). Ver tabla 1

Tabla 1. Subdivisión de las fuentes antropogénicas de las concentraciones atmosféricas a nivel global 2022 (41) (43)

Fuentes fijas	Fuentes móviles	Fuentes fugitivas
Ubicación inmóvil o instalación fija desde donde se descargan contaminantes (43)	Todo tipo de fuente de contaminación atmosférica que pueda desplazarse de un sitio a otro (43)	Comprenden emisiones que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior (43)

- Según el tipo de contaminante:

De acuerdo al origen de los contaminantes, éstos pueden clasificarse en dos grandes grupos -los primarios y los secundarios-, para así estudiar mejor su origen, distribución y tratamiento o prevención.

- Contaminantes primarios: Son aquellos que proceden directamente de las fuentes de emisión, tales como artefactos de calefacción domiciliarios, chimeneas industriales y tubos de escape de automóviles (41).

Contaminantes secundarios: Son aquellos que se originan en el aire a raíz de reacciones químicas que pueden ocurrir entre dos o más contaminantes primarios, o entre contaminantes primarios y elementos propios de la atmósfera. En la tabla 2, se

puede identificar los diferentes tipos de contaminantes, según su clasificación (41).
Ver tabla 2

Tabla 2. Tipos de contaminantes del aire a nivel global 2022 (41)

Contaminantes primarios	Contaminantes secundarios
Óxidos de carbono (CO)	O ₃ (troposférico)
Compuestos nitrogenados (NO _x , NH ₃ , N ₂ O)	Hidrocarburos oxidados
Compuestos azufrados (SO _x , SO ₂)	Aerosoles orgánicos secundarios
Material particulado (PM ₁₀ y PM _{2,5})	Sulfatos
Hidrocarburos	Nitratos
Metales	Material particulado secundario

3.2. Estaciones de monitoreo.

Las estaciones de monitoreo son aquellas que miden los principales contaminantes atmosféricos mediante equipos automáticos, semiautomáticos y manuales. Su distribución geográfica y la instrumentación de cada estación se han venido adaptando siguiendo los criterios definidos en el estudio de optimización de la red, con el apoyo de las entidades integrantes del convenio marco de cooperación científica y tecnológica, Redaire y la normatividad vigente. A continuación, se presentan la clasificación de las estaciones (44)

- Clasificación de estaciones según el tipo de área:

Urbana: Área totalmente urbanizada. Un área edificada no estará mezclada con áreas no urbanizadas, con la excepción de los parques urbanos (44)

Suburbana: Área en gran parte urbana edificada, pero las áreas edificadas estarán mezcladas con áreas no urbanizadas (por ejemplo, con áreas agrícolas, lagos, bosques, grandes zonas verdes, etc.) (44)

Rural: Se define como áreas rurales todas aquellas que no satisfagan los criterios (44).

Según el tipo de muestreo:

Busca establecer la representatividad de los datos en la escala de tiempo. Se define dos posibles tipos (44).

Fija: Que pertenece un periodo de tiempo superior a un año en un punto fijo (44).

Indicativa: Permanece en un punto en periodos de tiempo inferiores a un año (44).

- Clasificación de estaciones según las emisiones dominantes.

Respecto a este tercer nivel, la clasificación determina el tipo de estación dependiendo de su localización dentro de un área, particularmente en relación con la influencia que sobre ellas tienen los diferentes tipos de fuentes de emisoras (44).

De tráfico: Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminante medido está determinando principalmente por emisiones del tráfico cercano (44).

Punto crítico: Estaciones ubicadas a nivel de suelo de apoyo a estudios epidemiológicos (44).

Industrial: Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido este influenciado significativamente por las emisiones cercanas de fuentes industriales (44).

De fondo: Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminante medido no está significativamente influenciado por fuentes o calle alguna, pero si por la contribución de las fuentes que influyen en estas estaciones debido al régimen de vientos (44).

3.3. Red de monitoreo de calidad del aire del Sistema de Alertas tempranas de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA)

El monitoreo de la calidad del aire, es una estrategia metropolitana para comprender las dinámicas en el territorio, tener información confiable y oportuna para la toma de decisiones, la red de monitorio cuenta con 43 estaciones para la medición de distintos contaminantes como ozono, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, PM₁₀, entre otros; de estas, 22 son automáticas y miden material particulado PM_{2.5}, que es el contaminante crítico para el Valle de Aburrá (45). Utiliza la información de ceilómetros - radiómetros - radar de vientos y las estaciones meteorológicas. Cada uno de los miembros del equipo de análisis de datos se encarga de un sensor y de comprender en profundidad la dinámica de los fenómenos que mide (45)

Las acciones de la red de monitoreo están reglamentadas por sistemas de gestión de la calidad, bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025 que define los “Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración”, lo que implica ordenar de manera sistemática y aporta a dar lineamientos para la mejora permanente. Lo estricto de estos procesos que convierten nuestro territorio en un gran laboratorio de muestreo, convive con las acciones de innovación e investigación de SIATA, que, apuesta por el desarrollo local, la apropiación y adaptación de tecnologías (46).

El grupo encargado del monitoreo de la calidad del aire en SIATA está dividido en tres equipos:

- Equipo de mantenimiento: Son los encargados del mantenimiento preventivo y correctivo de las estaciones (46).
- Análisis de datos: Los datos de las estaciones automáticas son enviados a servidores ubicados en la sede central del Área Metropolitana y replicadas a la torre SIATA centro de las operaciones. Allí junto con los datos recogidos en las estaciones manuales, son procesados y convertidos en información. El equipo de sistemas los dispone para que los analistas expertos puedan corroborar la calidad de los datos: coherencia, consistencia, en caso de desconexión o de comportamientos atípicos en los datos, notifican al equipo de mantenimiento que verifican si hay algún fallo y lo corrigen. Cuando el equipo de análisis identifica situaciones atípicas hacen los análisis e indagaciones necesarias, posteriormente se comunica la situación según los protocolos establecidos, si esta situación representa una amenaza para la salud pública se activan las acciones establecidas en el POECA (46).
- Logística y calidad de procesos: La red tienen unas características especiales, la calidad del aire es un asunto ambiental regulado por estrictos procesos, la sincronía necesaria amerita personas dedicadas a que toda la operación cumpla con la reglamentación nacional e internacional. Este equipo vela por el cumplimiento de esas tareas para cumplir con la meta de la acreditación (46).

3.4. Ciudadanos Científicos – Nubes

Es un programa local de ciencia, educación y tecnología desarrollado por el SIATA y financiado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Ciudadanos del Área Metropolitana ofrece de manera voluntaria sus hogares y lugares de trabajo para instalar una "nube", que es un sensor de bajo costo para la medición de la calidad aire, que permite obtener datos puntuales, minuto a minuto, de temperatura, humedad y PM_{2.5} y cuyos datos disponibles para consulta, en tiempo real, en la página Web y las aplicaciones SIATA y Ciudadanos Científicos para dispositivos móviles (47).

Las mediciones provenientes de sensores de bajo costo presentan una calidad de datos más baja en comparación a las estaciones oficiales, es decir que el error en las mediciones en este tipo de sensores suele ser más alto y por lo tanto la confiabilidad de sus datos más baja, a comparación de los resultados de las estaciones de monitoreo oficiales del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), las cuales son acreditadas bajo estrictos procesos para garantizar la veracidad de sus datos y son avalados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) Una forma de lograr que las mediciones de los sensores de bajo costo se asemejan a las de las estaciones oficiales es a partir de la construcción de un modelo estadístico llamado "Calibración" (47).

Al día de hoy, Ciudadanos Científicos cuenta con 250 puntos de monitoreo, sin embargo, en la fase 3 tendremos 300 puntos y una actualización de los equipos que permitirán la medición de nuevas variables (48).

3.5. Incendios forestales.

La palabra forestal está relacionada con una clasificación tradicional de usos del suelo, en donde el uso forestal envuelve todas las zonas terrestres que no sea de uso urbano ni agrícola. De este modo los incendios en la cobertura hacen referencia a fuegos no controlados (sean de origen natural o antrópico) que suceden en ecosistemas terrestres y se propagan por la vegetación, sea ésta de tipo bosque, sabana, matorral, pastizal (natural o plantado), humedal, turbera, etc. (49). La predisposición de los incendios también depende de las condiciones climáticas de las zonas donde se presentan. De tal manera que se puede determinar de acuerdo con estas características si hay mayor o menor predisposición a la ocurrencia de un incendio o quema forestal (20).

Los incendios forestales son considerados como procesos de combustión natural de gran potencia que consumen los diferentes estados, tamaños y tipos de vegetación en un área geográfica determinada (29). Varios estudios a través del tiempo han demostrado que una contribución importante a la concentración de partículas en la atmósfera es ocasionada por la quema de especies vegetales (20).

Los incendios forestales causan muchos impactos ambientales, incluida la contaminación del aire. Emiten cantidades sustanciales de contaminantes del aire que pueden viajar grandes distancias, afectando la calidad del aire y la salud humana lejos de los incendios que los originaron (28).

3.6. Contaminantes emitidos por los incendios forestales

- *Monóxido de Carbono*: Se forma debido a la combustión incompleta del carbono. El 7,2 % de monóxido de carbono lo generan incendios forestales (29).
- *Dióxido de Nitrógeno*: Es un contaminante primario que puede ser mortal para humanos tanto en exposiciones cortas como altas concentraciones. El 5,8 % de dióxido de nitrógeno se produce por incendios forestales (29).
- *Material Particulado ($PM_{2.5}$, PM_{10})*: Son partículas de diámetros muy pequeños solidas o liquidas que pueden permanecer suspendidas en gases de escape y pueden ser descargadas en la atmosfera. Estas partículas perjudican la salud de los seres humanos y animales, retarda el crecimiento de las plantas y puede corroer las estructuras físicas. El material particulado fino ($PM_{2.5}$) es el principal contaminante emitido por los incendios forestales (28) (29).

El ozono, que es uno de los grandes productos de las reacciones de compuestos orgánicos volátiles, y es un gas oxidante muy reactivo, no es emitido directamente por los incendios forestales porque no tiene fuente puntual (29). Se puede inferir que la emisión de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) es especialmente preocupante durante los eventos de incendios forestales, debido a los graves efectos de estos en la salud de las poblaciones (29).

3.7. Efectos de los incendios forestales y la contaminación del aire sobre la salud humana.

Los estudios han mostrado que existe una relación entre la exposición a largo plazo a contaminantes atmosféricos (emisiones causadas por incendios forestales) y el desarrollo de enfermedades, los efectos sobre la salud están principalmente vinculados con los sistemas cardiovascular y respiratorio (50). Este es un problema clínico y de salud pública importante y creciente que afecta a decenas de millones de personas en el mundo. Los patrones climáticos cambiantes, incluida la sequía, aumentan los riesgos de incendios forestales y los riesgos de comorbilidad (51).

El material particulado, el principal contaminante emitido por los incendios, es un problema de salud ambiental que afecta a personas de todo el mundo, siendo los países de medianos ingresos los que tienen una mayor y desproporcionada carga de enfermedad (52). El PM_{2.5} por ejemplo, es el contaminante que más deteriora la calidad del aire en el Valle de Aburrá y el que más daño puede causar a la salud humana debido a su tamaño microscópico (32), diversos estudios avalan la idea de que la exposición a corto y largo plazo puede desencadenar o complicar diversas patologías.

En el caso de la exposición aguda, se asocian con síntomas más graves en enfermedades del tracto respiratorio, insuficiencia cardiaca e inflamación pulmonar a largo plazo, así como , así como con un aumento de los ingresos hospitalarios y visitas a urgencias por episodios de asma y neumonía, en el caso de la exposición a largo plazo según un estudio realizado en EEUU, se hallaron relaciones significativas con la mortalidad respiratoria y cardiovascular, EPOC, neumonía, así como con el cáncer de pulmón (53). El humo de los incendios forestales puede producir exposiciones significativamente más altas a compuestos nocivos que las que normalmente se encuentran en entornos urbanos sin incendios. Estas distinciones podrían tener diferentes efectos en los resultados de salud humana y pueden variar según la fuente de combustible (52).

Revisiones sistemáticas concluyen que existe una fuerte asociación entre la exposición a los incendios forestales y la morbilidad respiratoria, principalmente enfermedades respiratorias agudas de la vía superior y de la vía inferior. También existen fuertes asociaciones positivas entre la exposición al humo de los incendios forestales y las exacerbaciones del asma y la EPOC, la bronquitis y la neumonía. Igualmente, en el estudio denominado “Efectos diferenciales en la salud respiratoria de los incendios forestales del norte de California de 2008: un enfoque espaciotemporal”, se evidenció que, por cada evento relacionado con la presencia de los incendios forestales se aumentaron las visitas a urgencias por estas causas, siendo estas patologías mencionadas las principales enfermedades presentadas durante los episodios de incendios forestales (49) (50).

En cuanto a la mortalidad, los datos que vinculan la exposición al humo de los incendios forestales, con las enfermedades cardiovasculares han identificado en algunos resultados clínicos comunes, eventos potencialmente mortales, incapacitantes y costosos que incluyen enfermedades cardiovasculares y enfermedades isquémicas del corazón (49) (50).

Los estudios epidemiológicos han definido poblaciones de individuos que podrían estar en mayor riesgo de los efectos adversos para la salud por causa de los incendios. Las poblaciones susceptibles probablemente incluyen personas con enfermedades respiratorias preexistentes, adultos de mediana edad y mayores, niños, mujeres embarazadas y fetos, aunque no todos los estudios son consistentes. Un estudio reciente proporciona evidencia de que los riesgos son más altos para las mujeres mayores y los afroamericanos y aquellos con indicadores de nivel socioeconómico más bajo (54) (55).

Según una revisión de varios estudios sobre el impacto en la salud a la exposición de incendios forestales, las enfermedades respiratorias agudas, el asma, EPOC la bronquitis y la neumonía tienden a aumentar cuando se presentan estos eventos. La mortalidad tiene una tendencia de aumento principalmente por causas cardiovasculares durante la presencia de incendios forestales (56)

3.8. Incendios forestales en el Valle de Aburrá

Dadas las condiciones y características del Valle de Aburrá previamente explicadas, la incidencia de los incendios en la zona es alta (57). En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá encontró en los años 2015-2016, el 84% de los eventos tuvieron lugar en las cabeceras municipales y centros urbanos de los municipios y tan sólo el 16 % se presentó en áreas rurales. En cuanto a la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal en zonas de áreas protegidas y de importancia ecológica se identifican zonas como los cerros, parques ecológicos y zonas de regulación hídrica, entre otros (58).

La reducción en los acumulados de precipitación en el Valle de Aburrá, sumado a la reducción del caudal base del Río Aburrá como evidencia integral de la disponibilidad de agua en la cuenca, indica una reducción de la humedad de la capa vegetal y de las primeras capas de suelo, lo cual aumenta la vulnerabilidad natural a la ocurrencia de incendios forestales y de la capa vegetal. En conjunto, la reducción de la cobertura de nubes asociada a la reducción de precipitación y de la humedad atmosférica, el aumento de la radiación solar que llega a la superficie, el consecuente aumento de la temperatura superficial y atmosférica y la disminución de la humedad de la capa vegetal y las primeras capas de suelo que se dieron en la temporadas secas anómalas, que se viene presentando desde los últimos meses de 2015, aumentaron considerablemente el potencial de generación y sostenimiento de incendios forestales y de la capa vegetal y por ende la vulnerabilidad de la sociedad, de los ecosistemas y del personal de respuesta ante este tipo de eventos (58).

Existen ciertas temporadas del año que pueden generar un incremento en la incidencia de incendios. Por ejemplo, solo en los últimos 10 días del mes de junio de 2015 se reportaron en el Valle de Aburrá 118 eventos de incendios de cobertura vegetal por parte de los cuerpos de bomberos, estos incendios de cobertura vegetal presentados a mediados del 2015 se relacionan con la disminución en las precipitaciones y la humedad y el incremento en la radiación solar y la temperatura asociada a la temporada seca tan intensa que se vivió (58).

Como se observa en la tabla 3, en el Valle de Aburrá se ha evidenciado un incremento de los puntos de calor entre los años 2016-2020, es de aclarar que en este último sólo se analizó el primer semestre del año; sin embargo, mostró la mayor ocurrencia de quemas con 531 puntos de calor que corresponde 38,1%, seguido del 2019 y 2018 con 318 y 295, respectivamente. Los años con menor ocurrencia fue el 2016 (segundo semestre) con 47 puntos de calor respectivamente. Tal como puede evidenciarse, el primer semestre de todos los años (principalmente el trimestre que compone los meses de febrero a abril) muestra una significativa existencia de puntos de calor comparado con el segundo semestre del año (especialmente el trimestre de octubre a diciembre) (59). Ver tabla 3

Tabla 3. Numero de quemas en el Valle de Aburrá 2016-2020(38)

NÚMERO DE QUEMAS (puntos de calor)							
Mes/Año	2016	2017	2018	2019	2020	Total, general	Porcentaje de quemas mensual
Enero		6	5	10	14	35	2,5%
Febrero		37	47	49	68	201	14,4%
Marzo		57	165	160	387	769	55,2%
Abril		33	11	35	50	129	9,3%
Mayo		4		4	12	20	1,4%
Junio	2	1	1	2		6	0,4%
Julio	14	30	19	12		75	5,4%
Agosto	17	22	41	36		116	8,3%
Septiembre	9	2	3	7		21	1,5%
Octubre		6		2		8	0,6%
Noviembre	4		1	1		6	0,4%
Diciembre	1	4	2			7	0,5%
Total, general	47	202	295	318	531	1393	100,0%
Porcentaje de quemas anual	3,4%	14,5%	21,2%	22,8%	38,1%	100,0%	

3.9. El Sistema Nacional de Información Forestal - SNIF

Es el conjunto de procesos, metodologías, protocolos y herramientas para integrar y estandarizar la captura, almacenamiento, análisis, procesamiento, difusión, manejo, verificación y consulta de datos, bases de datos, estadísticas y material documental, con el fin de garantizar el flujo eficiente, oportuno y de calidad de la información forestal. El SNIF se encuentra soportado por una base de datos alfanumérica que se alimenta de la información que proviene de diferentes entidades relacionadas con el sector forestal (60).

Como parte de programa para el fortalecimiento de la capacidad institucional para la implementación del Plan Nacional de prevención, control de Incendios forestales y restauración de áreas degradadas (2002), se encargó al IDEAM de acopiar, validar, analizar, sistematizar y generar la información proveniente de los comités regionales para la prevención y atención de desastres CREPAD, con el propósito de consolidarla en el orden Nacional y mantener actualizados los registros sobre incendios forestales. Así mismo, se establece reportar la información en el formato de “Reporte de Incendios de la Cobertura Vegetal” por las diferentes entidades que atienden el evento. Hay que mencionar que el tema de incendios de la cobertura vegetal es una actuación que no es un acto administrativo propiamente dicho de la entidad que reporta y/o valida, por lo cual el “Reporte de Incendios de la Cobertura Vegetal” (61).

3.10. Rosa de los vientos

Una Rosa de Vientos es un diagrama que representa la intensidad media del viento en diferentes sectores en los que divide el círculo del horizonte. Lo que se obtiene a partir de las rosas de vientos es una idea clara de cuáles son las direcciones de viento más probables, además de la distribución de velocidades asociada a cada dirección. La representación gráfica de estos datos de intensidad y dirección de vientos se confecciona llevándolos a un diagrama de círculos concéntricos, cuyos radios son a escala las frecuencias de las observaciones en cada sentido (62).

Es una herramienta que resume de forma gráfica, para cada mes, estación del ciclo o régimen anuales, la dirección, intensidad y frecuencia de los vientos. El punto central de toda rosa de vientos se convierte en el punto de confluencia de todos los vientos que inciden desde diferentes direcciones (63).

3.11. Pruebas de normalidad

Muchos procedimientos estadísticos dependen de la normalidad de la población, de modo que recurrir a una prueba de normalidad para determinar si se rechaza este supuesto constituye un paso importante en el análisis. (64)

Entre las pruebas para determinar si los datos de su muestra provienen de una población no normal, se destacan Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov. En este sentido, la aplicación de las pruebas de normalidad de los datos pretende garantizar la robustez de los análisis estadísticos, más aún cuando en las organizaciones se dedica tiempo y recursos para ello, razón por la cual es deseable llegar a conclusiones correctas. En este sentido, resulta clave verificar que, cuando se aplica una determinada herramienta estadística al análisis de variables continuas o cuantitativas, la información obtenida durante el proceso mantiene o no la distribución normal de los datos; porque, por ejemplo, todos los test paramétricos requieren el cumplimiento de este supuesto y la aplicación de test no paramétricos, a su vez, necesitan que las observaciones no procedan de una distribución normal. (65)

- *Prueba de Kolmogórov-Smirnov*

La prueba de Kolmogórov-Smirnov es una prueba de bondad de ajuste ampliamente utilizada para probar la normalidad de los datos muestrales, siendo particularmente útil en procesos físicos no lineales e interactivos, por cuanto éstos conducen, generalmente, a distribuciones no gaussianas y, por lo tanto, el mecanismo generador de los procesos puede entenderse mejor al examinar la distribución de las variables seleccionadas. Además, para implementar pruebas de normalidad algunas pruebas estadísticas requieren o son óptimos bajo el supuesto de normalidad y, por lo tanto, constituye un prerequisite determinar si este supuesto se cumple (66).

- *Prueba Shapiro-Wilk*

Este test se emplea para contrastar normalidad cuando el tamaño de la muestra es menor a 50 observaciones y en muestras grandes es equivalente al test de Kolmogórov-Smirnov. El método consiste en comenzar ordenando la muestra de menor a mayor valor, obteniendo el nuevo vector muestral (66).

Cuando la muestra es como máximo de tamaño 50, se puede contrastar la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk, procediéndose a calcular la media y la varianza muestral. Se rechaza la hipótesis nula de normalidad si el estadístico Shapiro-Wilk $-W-$ es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño de la muestra y el nivel de significancia dado. Shapiro-Wilk, como prueba de normalidad, fue introducido considerando que el gráfico de probabilidad normal que examina el ajuste de un conjunto de datos de muestra para la distribución normal es semejante a la de regresión lineal - la línea diagonal del gráfico es la recta de ajuste perfecto-, con la diferencia de que esta línea es similar a los residuos de la regresión. Mediante el análisis de la magnitud de esta variación - análisis de varianza-, la calidad del ajuste puede ser examinado (66).

3.12. Comparación de dos grupos independientes prueba t para dos muestras independientes

- *La prueba t paramétrica para dos muestras independientes*

También conocida como prueba t de Student (Student's t-test), se usa para determinar si existe diferencia estadística entre las medias de dos grupos independientes. La prueba requiere una variable dependiente continua (p. ej., masa corporal) y una variable independiente que contenga dos grupos (p. ej., hombres y mujeres). Con esta prueba se obtiene una puntuación t (t-score) que es el cociente de las diferencias entre los dos grupos y las diferencias dentro de los dos grupos (67).

Una puntuación t alta indica que existe una gran diferencia entre los grupos. Cuanto más baja sea la puntuación t, mayor será la similitud entre los grupos. Una puntuación t de 5 indica que los grupos son cinco veces más diferentes entre ellos de lo que lo son dentro de cada uno de ellos. La hipótesis nula (H_0) que se pone a prueba es que las medias poblacionales de los dos grupos no relacionados son iguales (67).

- *U de Mann-Whitney*

La prueba se usa para constatar si dos muestras independientes han sido seleccionadas de la misma población o de poblaciones diferentes que poseen el mismo comportamiento,

bajo una distribución de probabilidad, es decir, que sus medias son iguales. La prueba, a diferencia de la de Wilcoxon, no se fundamenta en muestras pareadas, es decir, muestras en las que se obtienen dos observaciones para el mismo individuo o fenómeno. Es otra de las pruebas no paramétricas poderosas, aunque es la alternativa a la prueba del signo, ya que con ella no se pierde información al utilizar la ordenación por rangos combinados (67).

De nuevo, es la contraparte de la prueba paramétrica t de Student que permite evitar las suposiciones que exige la prueba paramétrica: varianzas iguales o distribuciones simétricas, y que la medición sea más vaga que la escala de intervalo. Si este último supuesto (la simetría) se elimina, la mediana debe reemplazar a la media como estadístico de prueba. La prueba U de Mann-Whitney tiene como finalidad contrastar la igualdad de las distribuciones de probabilidad de dos muestras independientes y determinar si éstas provienen o no de la misma población; por lo tanto, se comparan sus medias o bien sus medianas (67).

3.13. El coeficiente de correlación.

El coeficiente de correlación es un estadístico que proporciona información sobre la relación lineal existente entre dos variables cualesquiera. Básicamente, esta información se refiere a dos características de la relación lineal: la dirección o sentido y la cercanía o fuerza. Es importante notar que el uso del coeficiente de correlación sólo tiene sentido si la relación bivariado a analizar es del tipo lineal. Si ésta no fuera no lineal, el coeficiente de correlación sólo indicaría la ausencia de una relación lineal más no la ausencia de relación alguna. Debido a esto, muchas veces el coeficiente de correlación se define - de manera más general - como un instrumento estadístico que mide el grado de asociación lineal entre dos variables (68).

Esta permite medir el grado de dependencia existente entre dos o más variables mediante la cuantificación por los denominados coeficientes de correlación lineal de Pearson, de Spearman y la Tau-b de Kendall con sus respectivos niveles de significación (69).

3.14. Análisis de varianza no paramétrico

Cuando se sospecha que los datos a analizar no cumplen con los supuestos entonces se ven alternativas de análisis a técnicas más robustas pero que hagan lo mismo, que sean análogas, que el análisis de varianza paramétrico o incluso puede realizarse aun cuando cumplan los supuestos.

- Prueba de Kruskal-Wallis

Para aplicar esta prueba se debe conocer primero el número total de unidades experimentales (N) y el número de muestras de cada tratamiento (n_i), puede que cada tratamiento no tenga el mismo número de repeticiones. Acto seguido, se ordenan y se le asigna el valor de uno al valor más bajo, dos al siguiente valor; el último será el valor más alto y tendrá el valor de N . En caso de empate, los valores (dos o más empatados con el mismo valor) se identifican los valores que les correspondería en el orden de los rangos y se promedian y se les asigna ese valor promedio a todos los datos con dicho valor. Una vez que se tienen todos los valores de los rangos, estos se agrupan por tratamiento y se suman teniendo un valor de suma de rangos por tratamiento (equivalente a la suma de cuadrados) y se aplica el siguiente estadístico de prueba (70).

3.15. QGIS

Es un sistema de información geográfica de código abierto. El proyecto nació en mayo de 2002 y se estableció como proyecto en SourceForge en junio del mismo año. QGIS se ejecuta actualmente en la mayoría de las plataformas Unix, Windows y macOS (71).

QGIS tiene como objetivo ser un SIG fácil de usar, que proporcione funciones y características comunes. El objetivo inicial del proyecto era proporcionar un visor de datos SIG. Admite una gran cantidad de formatos de datos vectoriales y ráster, con un nuevo soporte de formato que se agrega fácilmente mediante la arquitectura del complemento, es gratuito y se puede modificar libremente (71).

3.16. WRPLOT View

WRPLOT View es un programa de Windows que genera gráficos y estadísticas de la rosa de los vientos para varios formatos de datos meteorológicos. Una rosa de los vientos representa la frecuencia de ocurrencia de los vientos en cada uno de los sectores de dirección del viento especificados y clases de velocidad del viento para una ubicación y período de tiempo dados (72).

Las rosas de los vientos a veces se pueden utilizar para representar gráficamente la dirección de transporte dominante del viento para un área. Debido a las influencias del terreno local, los posibles efectos costeros, la exposición del instrumento, y la variabilidad temporal del viento, las estadísticas de la rosa de los vientos no siempre pueden ser representante del verdadero transporte para un área. Otras condiciones meteorológicas también pueden ser importantes para determinar la formación y el transporte de ciertos contaminantes atmosféricos, en particular para contaminantes reactivos. Por lo tanto, los resultados de este programa deben utilizarse con precaución (72).

3.17. SPSS Satisfice

SPSS es un programa que fue creado en 1968, el cual viene de las siglas Estadística Pactare foro te Social Secuencias, siendo un referente mundial para el mundo estadístico. Este programa está diversificado en su totalidad, siendo su primera versión desarrollada por Norman H. Mie, Dale H. Venta y C. Hadlai Hull, en la Universidad de Stanford. Su evolución se fue dando paulatinamente, llegando a 1984 donde el programa era instalado en computadoras personales, para plataforma MS-DOS (73).

Desde entonces y hasta la actualidad este programa ha ido teniendo varias versiones, todas ellas con funciones nuevas. Esta herramienta informática viene integrada por programas y subprogramas interconectados entre sí, por lo que se puede deducir que su integración es mayor que la suma de las partes. El siguiente gráfico muestra la lógica secuencial que muestra el paquete estadístico SPSS, dentro de un proceso analítico, iniciando desde la planificación y producción de datos, siguiendo el proceso de gestión y análisis, finalizando hasta su presentación y distribución de los resultados (73).

4. Marco Territorial

4.1. Condiciones especiales del Valle de Aburrá

- *Geografía y topografía*

El Valle de Aburrá se encuentra ubicado en la Cordillera Central en el departamento de Antioquia y posee una extensión de 1.152 km². La conformación del Valle de Aburrá es el resultado de la unidad geográfica, determinada por la cuenca del Río Aburrá que lo recorre de sur a norte, por una serie de afluentes que caen a lo largo de su recorrido. El Valle tiene una longitud aproximada de 60 kilómetros. Está enmarcado por una topografía irregular y pendiente, que oscila entre 1.300 y 2.800 metros sobre el nivel del mar. Las cordilleras que lo encierran dan lugar a la formación de diversos microclimas, saltos de agua, bosques, sitios de gran valor paisajístico y ecológico. La población aproximada del Valle de Aburrá es de 3.626.000 habitantes (74).

En búsqueda de tener una entidad que integre todo este Valle, conformado por 10 municipios con autoridades administrativas independientes, se formó una de las entidades más importantes del departamento de Antioquia, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la figura 2 podemos observar el mapa físico del Área Metropolitana, con sus respectivos municipios (74). Ver figura 2

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

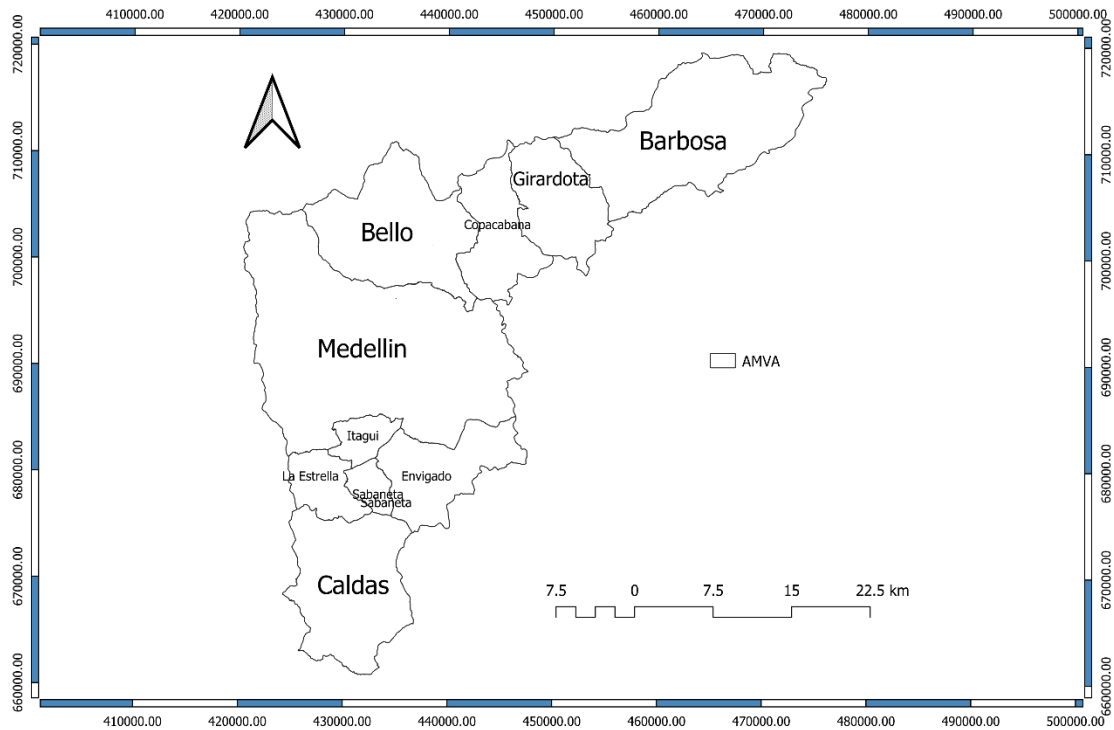


Figura 2. División administrativa del Valle de Aburrá 2022.

La configuración del valle ubicado en un entorno montañoso, como se evidencia en la figura 3, constituye una condición geográfica adversa para la circulación horizontal de las masas de aire, lo que sumado a condiciones de ventilación escasa (meteorología adversa), favorece la acumulación de contaminantes y dificulta su remoción (15). Ver figura 3

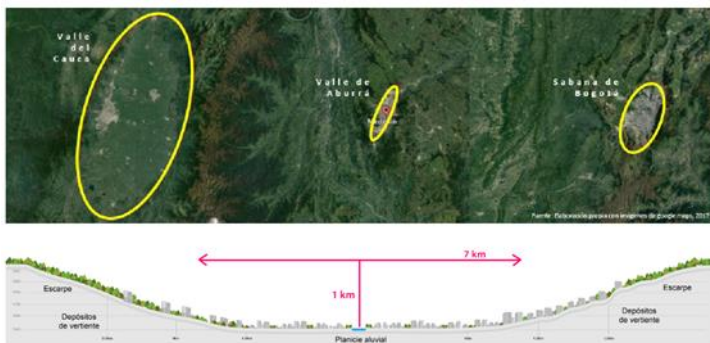


Figura 3. Topografía del Valle de Aburrá 2022 (31)

- *Estabilidad e inestabilidad atmosférica*

El Valle de Aburrá presenta épocas secas y épocas de lluvia. En la figura 4 observamos la configuración de la región durante las épocas secas, donde la interacción entre la radiación solar y la atmósfera hacen que se presente una inestabilidad atmosférica donde, gracias a la turbulencia generada por movimientos del aire, la contaminación atmosférica generada al interior del Valle es transportada fuera del mismo. Por otro lado, en la transición entre épocas y en las épocas de lluvia (febrero – marzo y octubre – noviembre), el Valle se cubre con una capa de nubes de baja altura y estas producen una reducción de los fenómenos de turbulencia atmosférica, por lo cual los gases y partículas generadas al interior del valle aumentan su concentración y se convierten en un factor de riesgo ambiental de mayor preocupación para autoridades y pobladores. Estos son declarados episodios críticos por contaminación atmosférica (57). Ver figura 4



Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Figura 6. a) Representación gráfica de estabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá.
b) Representación gráfica de inestabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá

Figura 4. Configuración del Valle de Aburrá 2022 (31)

- *El Valle de Aburrá como cuenca atmosférica y área fuente de contaminación*

Un área fuente de contaminación es una región que alberga múltiples fuentes de emisión de contaminantes y, por tanto, es generadora de sustancias contaminantes al aire. La región metropolitana del Valle de Aburrá tiene esta calificación de área fuente de contaminación (31).

El concepto de cuenca atmosférica hace referencia a un espacio geográfico delimitado parcial o totalmente por elevaciones montañosas u otros atributos naturales, ocupado por un volumen de aire con características similares, que propician la concentración y

reacción de gases y partículas contaminantes del aire (31). Esto se encuentra Aunado al Acuerdo Metropolitano 08 de 2011, a partir de allí el Valle de Aburrá se cataloga como área fuente de contaminación, toda vez que sus condiciones topográficas propician la acumulación de gases y partículas nocivas (31).

- *Condiciones demográficas.*

De cada 10 personas que viven en Antioquia, 6 lo hacen en el Valle de Aburrá, lo que significa que el 58,5% de la población de Antioquia está ubicada en el 1,8% del territorio del departamento. Así mismo el 95% de su población vive en suelo urbano. Con el aumento de la población también se evidencia el incremento en la tenencia de vehículos, principalmente en automóviles y motos, en la zona se pudo apreciar que entre 2005 a 2018 el mayor incremento fue en las motos y los automóviles (31).

5. Marco normativo.

En las tablas 4 y 5 se presenta la legislación más importante a nivel local, nacional y mundial respecto a la calidad del aire y los incendios forestales. Ver tabla 4 y 5

Tabla 4. Legislación calidad del aire a nivel mundial, nacional y local 2022

Norma	Objeto
A nivel mundial	
Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre la Calidad del Aire (2021) (74).	Es la principal orientación sobre la calidad del aire a nivel mundial. reflejan un alto grado de consenso científico, lo que les confiere autoridad mundial
Objetivos de Desarrollo Sostenible “ <i>plan para lograr un futuro mejor y más sostenible para todos</i> ” (75).	Meta 3.9. Reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas contaminación del aire. Meta 11.6. Reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire.
A nivel nacional	
Constitución Política de Colombia (1991) (76).	Art 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. Art 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
Ley 9 de 1979 Código Sanitario Nacional “ <i>Por la cual se dictan Medidas Sanitarias</i> ” (77).	Título I. De la protección del medio ambiente. De las emisiones atmosféricas: artículo 41 – artículo 49.
Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia CONPES 2005 (78).	Lineamientos para la formulación de políticas y estrategias intersectoriales para la prevención y control de la contaminación del aire en las ciudades y zonas industriales de Colombia
Resolución 2254 de 2017 “ <i>Se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones</i> ” (79).	Establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional.
A nivel local (Valle de Aburrá)	

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

<p>Acuerdo Metropolitano de 2019 <i>“Por medio del cual se crea el Sistema de Vigilancia de Salud Ambiental, componente aire y salud del Valle de Aburrá”</i> (80).</p>	<p>El presente acuerdo aprueba y adopta el Sistema de Vigilancia de Salud Ambiental, componente aire y salud del Valle de Aburrá, el cual tiene como objetivo establecer los procesos de recolección, análisis, interpretación y divulgación de los eventos en salud asociados con la contaminación del aire.</p>
<p>Acuerdo Metropolitano N° 8 de 2011 <i>“Se aprueba y se adopta el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá.”</i> (81)</p>	<p>Clasifica la cuenca del Valle de Aburrá como área fuente de contaminación por material particulado. Aprueba y adopta el plan de descontaminación del aire para la región metropolitana del Valle de Aburrá</p>
<p>Resolución Metropolitana 2381 de 2015 <i>“Se adoptan medidas que contribuyan al desarrollo de una gestión integral de la calidad del aire en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá”</i> (82).</p>	<p>Adopta las medidas que contribuyen al desarrollo de una gestión integral de la calidad del aire en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, encaminadas a la medición, prevención, reducción y control de las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas en diversas instalaciones.</p>
<p>Acuerdo metropolitano No 04 DE 2018 <i>“Por el cual se deroga el Acuerdo Metropolitano No15 de 2016 y se adopta el nuevo Protocolo del Plan Operacional para Enfrentar Episodios de Contaminación Atmosférica en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá”</i> (83)</p>	<p>Aprobar y adoptar el presente Protocolo como mecanismo de implementación del Plan Operacional para Enfrentar Episodios de Contaminación Atmosférica -POECA- en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, mediante el cual se establecen los roles y actividades de los actores involucrados en su ejecución, para prevenir los efectos adversos al ambiente y a la salud de la población por la emisión y exposición a altos índices de contaminación.</p>

Tabla 5. Legislación incendios forestales a nivel mundial, nacional y local 2022

Norma	Objeto
A nivel mundial	
<p>Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992 (82).</p>	<p>Proteger a los bosques de los efectos nocivos de la contaminación, incluida la transportada por el aire, y de incendios, a fin de mantener íntegramente su múltiple valor</p>
<p>Declaración de la Cumbre Mundial de Johannesburgo</p>	<p>Desarrollo de un programa de acción con el propósito de reducir los efectos negativos de los incendios forestales que dio impulso a la</p>

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

sobre Desarrollo Sostenible de 2002 (82).	Tercera Cumbre Internacional sobre Incendios Forestales.
Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales 2018 (82).	Directrices de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) para el manejo de incendios en bosques.
A nivel nacional	
Constitución Política de Colombia (1991) (76).	Art 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. Art 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
Ley 9 de 1979 Código Sanitario Nacional “ <i>Por la cual se dictan Medidas Sanitarias</i> ” (77).	Título VIII. Desastres: Artículo 491- Artículo 514
Decreto 2340 de 1997 “ <i>Prevención y mitigación de incendios forestales</i> ” (83)	Se dictan unas medidas para la organización en materia de prevención y mitigación de incendios forestales y se dictan otras disposiciones
Ley 1523 del 2012 “ <i>Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones</i> ” (82).	La gestión del riesgo es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastre
A nivel local	
Acuerdo metropolitano N° 8 de 2017 “ <i>El Consejo Metropolitano para la Gestión del Riesgo de Desastres del Valle de Aburrá (CMGRD-VA)</i> ” (84).	Articular la política nacional de GRD con los procesos de desarrollo a través de directrices metropolitanas de planeación, actuación y seguimiento de la gestión del riesgo de desastres.

6. Estado del Arte

- **Partículas finas específicas de incendios forestales y riesgo de ingresos hospitalarios en condados urbanos y rurales:**

El objetivo de este artículo consiste en abordar los impactos en la salud del humo de los incendios forestales, usando un modelo de transporte químico, y hacer atribuciones de origen del PM_{2.5} modelado. Esto se construyó por medio de un modelo mixto lineal generalizado para estimar el riesgo relativo de ingresos hospitalarios en los días de ola de humo en comparación con los días sin humo de incendios forestales, y se trabajó con los ingresos hospitalarios de urgencia por enfermedades cardiovasculares (ECV) y respiratorias en los registros de facturación de 2004–2009 del Estudio de Contaminación del Aire de Cohorte de Medicare (MCAPS), en el Oeste de EE. UU (37).

La investigación encontró que la exposición a corto plazo al PM_{2.5} específico de los incendios forestales se asoció con el riesgo de enfermedades respiratorias en la población de edad avanzada en el oeste de los EE. UU. durante los días de mucho humo (37).

- **Evaluación del impacto en la salud del episodio de humo de incendios forestales del estado de Washington de 2020: exceso de carga para la salud atribuible al aumento de las exposiciones a PM_{2.5} y las posibles reducciones de la exposición:**

Esta investigación busca comprender la magnitud y los impactos espaciales desproporcionados del aumento de las concentraciones de PM_{2.5} en la salud de la población atribuible al episodio de humo de incendios forestales de 2020 en Washington, y estimar los beneficios potenciales de las intervenciones, en los habitantes expuestos de cada condado en Washington estimada en 2019 de la Oficina del Censo de EE. UU (85).

Para su análisis se consideró las incertidumbres en la relación exposición-respuesta utilizando diferentes enfoques basados en el coeficiente de causa específica (CRF) y la razón de probabilidad (OR). Los hallazgos del estudio estiman que hubo un exceso considerable de mortalidad debido a concentraciones elevadas de $PM_{2.5}$ durante el episodio de humo de incendios forestales de 2020 en Washington (85).

- **Impactos diferenciales en la salud cardiopulmonar del transporte local y de largo alcance del humo de incendios forestales:**

Se busca estimar la morbilidad y mortalidad cardiopulmonar asociadas con las partículas finas ($PM_{2.5}$) del humo de los incendios forestales (WFS) en Front Range de Colorado entre 2010 y 2015, por medio de los ingresos hospitalarios de urgencia por enfermedades cardiovasculares (ECV) y respiratorias en los registros de facturación de 2004–2009 del Estudio de Contaminación del Aire de Cohorte de Medicare (MCAPS), en el Oeste de EE. UU (86).

Para su desarrollo se utilizó un modelo mixto lineal generalizado para estimar el riesgo relativo de ingresos hospitalarios en los días de ola de humo en comparación con los días de comparación emparejados sin humo de incendios forestales. El resultado de este estudio halló que la exposición a corto plazo al $PM_{2.5}$ específico de los incendios forestales se asoció con el riesgo de enfermedades respiratorias en la población de edad avanzada en el oeste de los EE. UU. durante los días de mucho humo (86).

- **Impacto de emisiones de incendios forestales: El Tepozteco 2016:**

Se presenta un estudio de caso sobre una quema prescrita para manejo agrícola que se convirtió en incendio forestal en el parque nacional El Tepozteco del 5 al 9 de abril de 2016, se evaluó a la población que habitan San Juan Tlacotenco y Santo Domingo Ocotitlán (21).

Se determinó la trayectoria de los contaminantes emitidos, se simularon trayectorias inversas con el modelo HYSPLIT y el programa VSMOKE. En el estudio se identificó que el incendio forestal ocurrido en el Parque Nacional el Tepozteco del 5 al 9 de abril de 2016 liberó al aire una cantidad considerable de contaminantes tóxicos. En este caso de estudio, muestran que el impacto de las concentraciones de contaminantes en la comunidad fue moderado (21).

- **Efecto de los Incendios forestales sobre la calidad del aire en dos ciudades colombianas:**

Esta investigación busca determinar el posible efecto que tienen las emisiones producidas por los incendios forestales producidos en el norte de sur América, sobre la calidad del aire de dos ciudades colombianas: Medellín y Bucaramanga y se comparan con los resultados obtenidos para Bogotá. Se tomaron los datos de PM₁₀, PM_{2.5}, y CO suministrados por las redes de monitoreo de calidad del aire de las ciudades de estudio y se compararon con la cantidad de incendios forestales, tomados de satélites, producidos en la zona durante el período de análisis (20).

El estudio mostró que las emisiones producidas por los incendios forestales con fuentes en zonas alejadas de los centros urbanos afectan la calidad de aire de estos en Colombia (20).

Metodología

7. Enfoque de diseño.

Se realizó un estudio de enfoque cuantitativo, en el cual se recopilaron y analizaron de forma estructurada los datos obtenidos de las diferentes fuentes solicitadas, como el Grupo de Investigación de Salud y Ambiente de la Facultad Nacional de Salud Pública (salud, contaminación del aire), el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Corantioquia (incendios).

8. Tipo de estudio.

Se desarrolló un estudio descriptivo de tipo ecológico. Las variables ecológicas se clasifican en variables de contexto que pueden ser agregadas, ambientales o globales. En este caso, se utilizaron las variables agregadas que, suelen ser medidas que resumen observaciones individuales que puede medir proporciones (tasa de mortalidad y morbilidad por enfermedades circulatorias y respiratorias) y las medidas ambientales, entendidas como características físicas propias de un lugar determinado, que suelen tener su paralelismo a nivel individual (Niveles de concentración del contaminante atmosférico PM_{2.5}), producto de la exposición a los incendios forestales ocurridos en el Valle de Aburrá, Antioquia, durante 2017-2019 (87).

9. Área de estudio

La figura 5 denota el área de estudio, por medio de una imagen realizada en el Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto QGIS. En esta se abarca el denominado Valle de Aburrá del departamento de Antioquia, donde se buscó explorar los incendios forestales generados en la región y se señala el municipio de Bello, del mismo departamento, en el cual se evaluó la influencia de estos incendios forestales en la calidad del aire y la salud del territorio. Ver figura 5

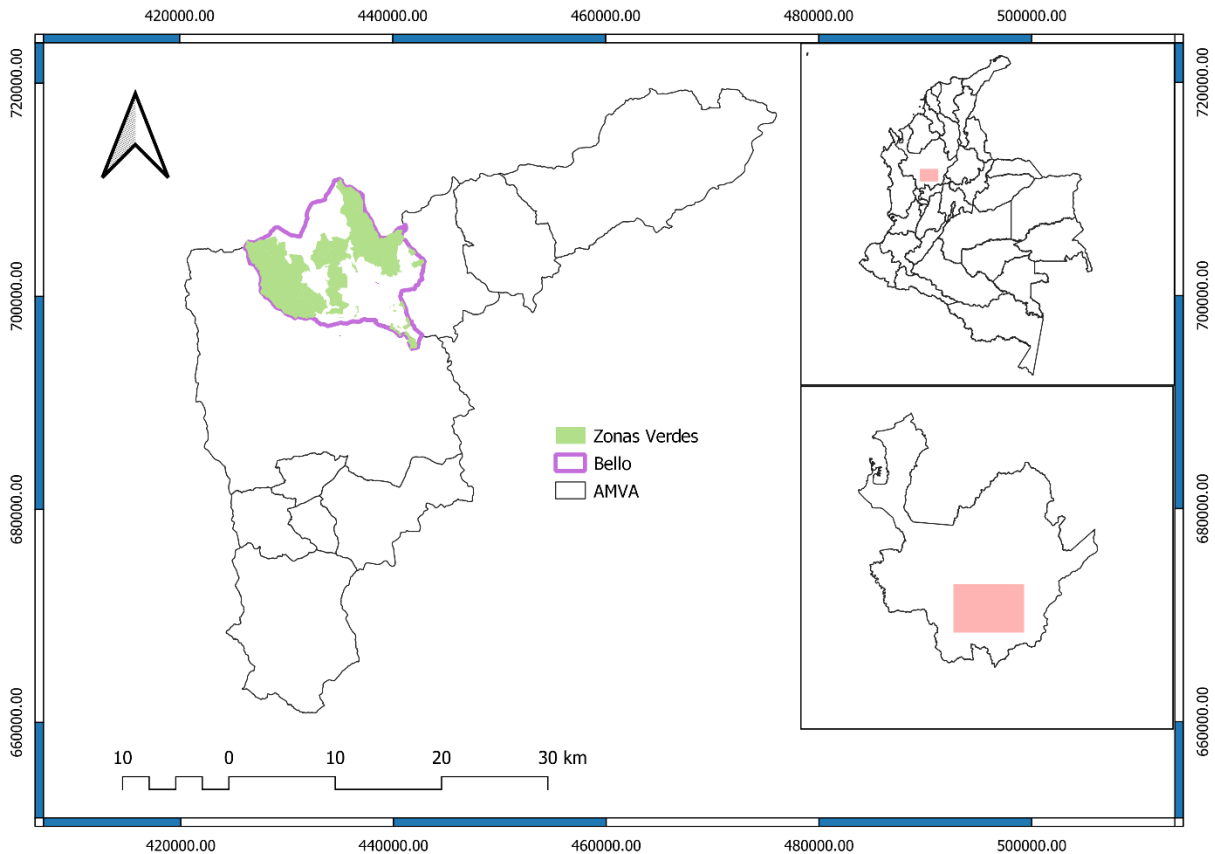


Figura 5. Área de estudio delimitando la zona del Valle de Aburrá y el municipio de Bello 2022.

10. Población, referentes ambientales, criterios de inclusión y exclusión

- *Población:* Tasas de mortalidad y morbilidad por enfermedades respiratorias y circulatorias en el municipio de Bello de la población mayor de 65 y menor de 5 años.
- *Referentes Ambientales:* Para esta investigación se tuvieron en cuenta todos los datos de contaminación atmosférica por $PM_{2.5}$ de la estación de monitoreo BEL-FEVE del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA), y los sensores denominados nubes del programa Ciudadanos Científicos del SIATA, ubicados en el municipio de Bello; también, los datos de incendios forestales según los criterios definidos, en el Valle de Aburrá de 2017-2019. Se utilizaron las series de tiempo en escala diaria.

Criterios de selección

Se tomaron únicamente los registros que cumplen con los siguientes criterios:

1. *Criterios de selección de la población.*

- Registro de población de habitantes del Municipio de Bello.
- Entre las edades de 0-5 y más de 65 años.

2. *Criterios de selección de registros de salud*

- Enfermedades respiratorias según la clasificación CIE-10 (J00-J99) y circulatorias (I00-I99)

3. *Criterios de selección de registros de incendios*

- Registros de la cantidad, ubicación y duración de los incendios forestales ocurridos en el Valle de Aburrá en los años 2017-2019

4. *Criterios de selección de registros de PM_{2.5}*

- Registros de concentración de PM_{2.5} en la estación de monitoreo BEL.FEVE ubicada en el municipio de Bello en los años 2017-2019
- Registros de concentración de PM_{2.5} en los sensores (nubes) del programa de ciudadanos científicos, encontrados en el municipio de Bello en los años 2017-2019

Criterios de exclusión.

Se descartaron los registros que cumplen con los siguientes criterios:

- Personas mayores de 5 años y menores de 65 años.
- Registros de incendios forestales que no tuvieran datos de ubicación, duración y cantidad.
- Registros de PM_{2.5} de las nubes ubicadas en el municipio de Bello, que no se encontraban activos, durante el periodo de tiempo del análisis.
- Registros de las estaciones de monitoreo de PM_{2.5} cuyo porcentaje de valores perdidos diarios supero el 25%.

11. Operacionalizaciones variables

Tabla 6. Variables y categorías para la investigación 2022

Nombre	Naturaleza	Nivel de medición	Valor
Género	Cualitativa	Nominal/ Categorica	0. Mujer 1. Hombre
Edad	Cuantitativa	Discreta	<ul style="list-style-type: none"> • 0-5 años • >=65
Morbilidad y mortalidad Por enfermedades del sistema respiratorio	Cuantitativa	Continua	<ul style="list-style-type: none"> • Número de casos
Morbilidad y mortalidad por enfermedades cardiovasculares	Cuantitativa	Continua	<ul style="list-style-type: none"> • Número de casos
Cantidad de Incendios forestales	Cuantitativa	Discreta	Número de incendios
Duración de Incendios forestales	Cuantitativa	Continua	Tiempo activado en horas del incendio
Ubicación geográfica de Incendios forestales	Cuantitativa	Continua	Latitud y longitud
Concentraciones PM _{2.5}	Cuantitativa	Continua	Microgramos por metro cúbico (µg/m ³)
Precipitación	Cuantitativa	Continua	Milímetro (mm)

Humedad relativa	Cuantitativa	Continua	Porcentaje (%)
Temperatura	Cuantitativa	Continua	Grados centígrados (°C)
Velocidad del viento	Cuantitativa	Continua	Metros por segundo (m/s)
Dirección del viento	Cuantitativa	Continua	Metros por segundo (m/s)

12. Procedimientos de recolección de datos

Para recolectar los datos necesarios para realizar la investigación se dispuso de lo siguiente:

- *Datos de incendios forestales:* Se accedió a los datos de incendios forestales que fueron solicitados a las diferentes autoridades ambientales del Valle de Aburrá, siendo proporcionada esta información por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Sistema Nacional de Información Forestal, y bomberos del Valle de Aburrá) y Corantioquia, igualmente se tomó información del sistema de Monitoreo de puntos de calor en Colombia detectados satelitalmente y administrado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Los datos obtenidos contienen registros de incendios forestales diarios ocurridos de forma local, incluida la ubicación geográfica, y la duración del incendio forestal. Ver anexos 1 y 2

Datos de contaminación del aire: Para obtener esta información, se gestionó a través del Sistema de Alertas Tempranas del Valle de Aburrá (SIATA) y del Grupo de Investigación Salud y Ambiente de la Facultad Nacional de Salud Pública. Por sugerencia del coordinador del grupo, se solicitó información que hiciera referencia a las emisiones de PM_{2.5} en un municipio representativo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, específicamente Bello, este municipio fue elegido debido a su cercanía a uno de los puntos críticos de incendios más importantes, el Cerro Quitasol, así como por su alta densidad poblacional. Los datos fueron obtenidos de la estación de

monitoreo BEL-FEVE ubicada en el municipio de Bello, y se recopilaron durante todos los meses correspondientes al periodo de tiempo que se analizó, desde el año 2017 hasta el 2019, el Grupo de Investigación mencionado tiene acceso a estos datos como parte de una investigación en curso titulada 'Influencia de los incendios sobre los niveles de PM_{2.5} y Black Carbón en el Valle de Aburrá y sus efectos en la salud pública. Ver anexo 3.

Además, se solicitaron datos al programa de ciudadanos científicos del Sistema de Alertas Tempranas del Valle de Aburrá (SIATA), específicamente las concentraciones de PM_{2.5} registradas por los sensores de bajo costo ubicados en el municipio de Bello, durante el periodo de análisis."

- *Datos meteorológicos:* Se descargaron los datos de la página web del SIATA, referente a las variables meteorológicas de precipitación y dirección del viento obtenidas por la estación BEL.FEVE, ubicada en el municipio de Bello, desde el año 2017 hasta el 2019. Para medir la dirección de los vientos dominantes y poder interpretar de forma visual los eventuales resultados dados en referencia a una posible afectación de los incendios forestales en la calidad del aire durante el periodo de análisis, se construyó una rosa de los vientos, en base de estos datos; igualmente, fueron descargados de la página web del SIATA las variables de humedad relativa, temperatura y velocidad del viento para el periodo de estudio, se buscó una posible correlación entre estos factores y los casos de morbilidad y mortalidad por enfermedades circulatorias y respiratorias .
- *Datos de Salud:* Además, se solicitó acceso a los datos del Grupo de Investigación Salud y Ambiente de la Facultad Nacional de Salud Pública, siguiendo la recomendación del coordinador del grupo. Estos datos incluyen información diaria de morbilidad obtenida de los registros individuales de prestación de servicios (hospitalizaciones, consultas externas y urgencias) de la población residente en el municipio de Bello durante los años 2017-2019, los registros fueron recopilados por el Grupo de Investigación para llevar a cabo el estudio previamente mencionado, titulado "Influencia de los incendios sobre los niveles de PM_{2.5} y Black Carbón en el

Valle de Aburrá y sus efectos en la salud pública”, el cual analiza las enfermedades respiratorias (códigos ICD-10 J00-J99) y cardiovasculares (códigos ICD-10 I00-I99) en hombres y mujeres, abarcando las edades desde 0 hasta 5 años y mayores de 64 años. También se solicitaron los registros de defunciones relacionadas con estas patologías, obtenidos de los mismos registros individuales de prestación de servicios. Ver anexo 4

13. Técnicas y procedimientos de procesamiento de datos

Se utilizó Microsoft Excel con el fin de tabular y realizar control, limpieza, evaluación y seguimiento de los datos y variables recolectadas según los criterios descritos, para lo cual se emplearon diferentes herramientas como diagramas de dispersión o histogramas. Además, se buscó generar la elaboración de gráficos y mapas por medio de aplicaciones como Word, Excel y Sistema de Información Geográfica de acceso gratuito, principalmente QGIS. Se empleó el software SPSS con el objetivo de efectuar el análisis estadístico de la información recolectada, teniendo en cuenta los variables criterios correspondientes a la concentración de PM_{2.5} registrados para los meses a examinar, los datos de morbimortalidad de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares escogidos para el análisis en el municipio de Bello y la información correspondiente de los incendios forestales localizados en el Valle de Aburrá durante el periodo 2017-19.

14. Técnicas y procedimientos de análisis de información

Se sintetizó y organizó la información dada por las diferentes fuentes solicitadas, con el fin de estudiar dos variables diferentes y describir la posible relación entre estas (incendio-salud e incendios-contaminación del aire), obteniendo así un documento de los resultados primarios con los datos relevantes para responder con los objetivos planteados para este estudio.

Para recolectar y analizar esta información, se buscó describir la ubicación geográfica de los incendios forestales con base en la longitud y latitud, se tuvo en cuenta la duración según el tiempo en horas que este estuvo activo y el número de incendios que se dieron en el Valle de Aburrá durante los años a estudiar. Para los datos de contaminación del

aire se tuvo presente el promedio diario de concentración de $PM_{2.5}$ en microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$) para todos los meses del periodo de análisis. La información sobre morbilidad y mortalidad se definió con base en el número de casos diarios de enfermedades respiratorias que, según los códigos de la Clasificación Internacional de Enfermedades, versión 10 (CIE-10), se clasifican ICD-10 códigos J00-J99 y por enfermedades cardiovasculares clasificadas como ICD-10 códigos I00-I99 según los grupos de edades entre 0-5 y + de 64 años representado en tasas, durante los años 2017 hasta el 2019, en el municipio de Bello.

Con estos datos se llevó a cabo una comparación del comportamiento de la contaminación del aire por $PM_{2.5}$, en el municipio de Bello durante todo el periodo de análisis en relación con los incendios forestales que se presentan en el Valle de Aburrá estas épocas del año, con el fin de explorar la probabilidad de que exista una correlación entre estos factores. Igualmente se hizo uso de las variables meteorológicas de precipitación y dirección del viento para la construcción de una rosa de los vientos, buscando medir la dirección de los vientos dominantes y como podrían haber influenciado en la dispersión del $PM_{2.5}$ y los incendios forestales.

Con el fin de analizar los datos de los incendios y su relación con la contaminación con $PM_{2.5}$ se utilizaron procedimientos de pruebas de normalidad, para determinar si los datos a estudiar eran o no paramétricos. Para este fin existen de dos pruebas diferentes basadas en el número de datos examinados, Shapiro-Wilk, (< 50 datos) y Kolmogórov-Smirnov (≥ 50 datos), cuando el resultado es menor a 0.05 es no paramétricos y si es mayor o igual a 0.05 es paramétrico.

A partir de los resultados, se tomó la decisión de utilizar la prueba t de Student (paramétrico), que busca estimar la media de los datos, o U de Mann-Whitney (no paramétrico), que evalúa la mediana de dos conjuntos de datos independientes para determinar si es posible afirmar o rechazar la hipótesis definida.

Asimismo, se examinó los números de casos de morbilidad y defunciones por las enfermedades respiratorias y cardiovasculares según su clasificación internacional, teniendo presente las variables categóricas de edad (0-5, +64 años) y género (hombre y

mujer). Para analizar estos datos se utilizaron diferentes técnicas estadísticas, como un análisis univariado con el fin de examinar el contexto general de los datos de acuerdo con las variables establecidas, un análisis de correlación entre las categorías existentes teniendo en cuenta datos ambientales, meteorológicos y datos de salud, y un análisis bivariado donde se buscó identificar la probabilidad de que exista una relación entre las variables de salud e incendios.

Para establecer esta relación se tuvieron en cuenta, se procedió a utilizar la prueba Kruskal-Wallis (no paramétrica) o la prueba ANOVA unidireccional (paramétrica), teniendo presente el resultado de las pruebas de normalidad ejecutada a los datos.

Para los datos resultantes del análisis se utilizaron estadísticos descriptivos, calculando los parámetros básicos, recogiendo, almacenado y ordenado los datos y realizando gráficos y tablas para resumir y presentar la información. Estos datos se graficaron por medio de herramientas como Excel, Word y el Sistema de Información Geográfica de software libre QGIS. También se empleó el software SPSS para estudiar las variables y criterios elegidos para la investigación

15. Publicación y divulgación de resultados

Esta investigación será publicada en el repositorio de la Universidad de Antioquia, como trabajo de grado para estudiantes de pregrado de la Facultad Nacional de Salud Pública.

Consideraciones éticas.

Esta investigación se desarrolló conforme a los criterios de anonimidad y confiabilidad de los datos suministrados por las diferentes entidades a los que se solicitó la información requerida.

El estudio se ampara bajo la figura de habeas datas (ley 1266 de 2008), la cual se refiere al derecho constitucional que tienen todas las personas a conocer, actualizar y rectificar las informaciones que se hayan recogido sobre ellas y demás derechos, libertades y garantías constitucionales relacionadas con la recolección, tratamiento y circulación de datos personales a que se refiere el artículo 15 de la Constitución Política, así como el derecho a la información establecido en el artículo 20 de la Constitución Política (55)

Basado en esto, en cuanto a la manipulación de la información suministrada, esta fue dispuesto en bases de datos, como Excel y el Software SPSS, para su análisis, siendo esta administrada únicamente por la investigadora.

De igual manera, estos datos solo fueron utilizados en el cumplimiento de los objetivos definidos para la investigación, garantizando a las entidades involucradas en la recolección primaria y secundaria de esta información, así como a los pacientes involucrados en la información de salud, la anonimidad y la custodia de los datos manifiestos suministrados.

Resultados

16.1. Objetivo 1.

- **Incendios en el Valle de Aburrá 2017- 2019**

Para las series de incendios forestales en el Valle de Aburrá, una vez se realizó procesamiento de los datos solicitados y se sistematizó la información en una sola base de datos organizada en base de la cantidad, la fecha, la duración y la ubicación geográfica del incendio, se encontró que durante el tiempo de análisis se presentaron 75 incendios forestales, ubicados en el lado norte del Valle de Aburrá, que abarca los municipios de Bello, Copacabana, Girardota Y Barbosa, principalmente en el área rural, la mayoría de los incendios tuvieron una duración, como se puede observar en la figura 6, no mayor a un día; sin embargo, se presentaron dos de una duración mayor. Ver figura 6

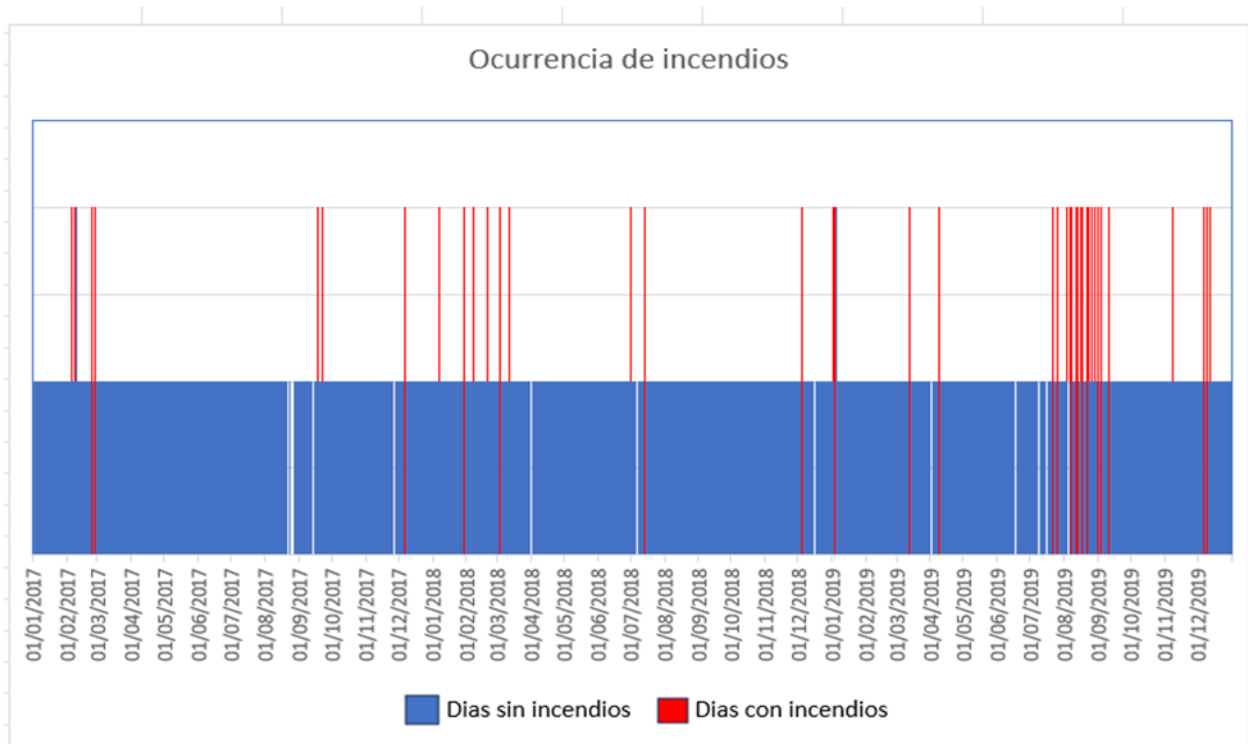


Figura 6. Gráfico de columna de la ocurrencia de los incendios forestales 2017-2019

Una vez los datos estuvieron caracterizados, se procedió a situar los incendios en el sistema de información geográfica QGIS, como se puede observar en la figura 7, donde se buscó ilustrar la ubicación de éstos y como se posicionan en referencia al área de estudio. Se puede destacar que la mayor concentración de incendios forestales se observa entre los municipios de Bello y Copacabana. Ver figura 7

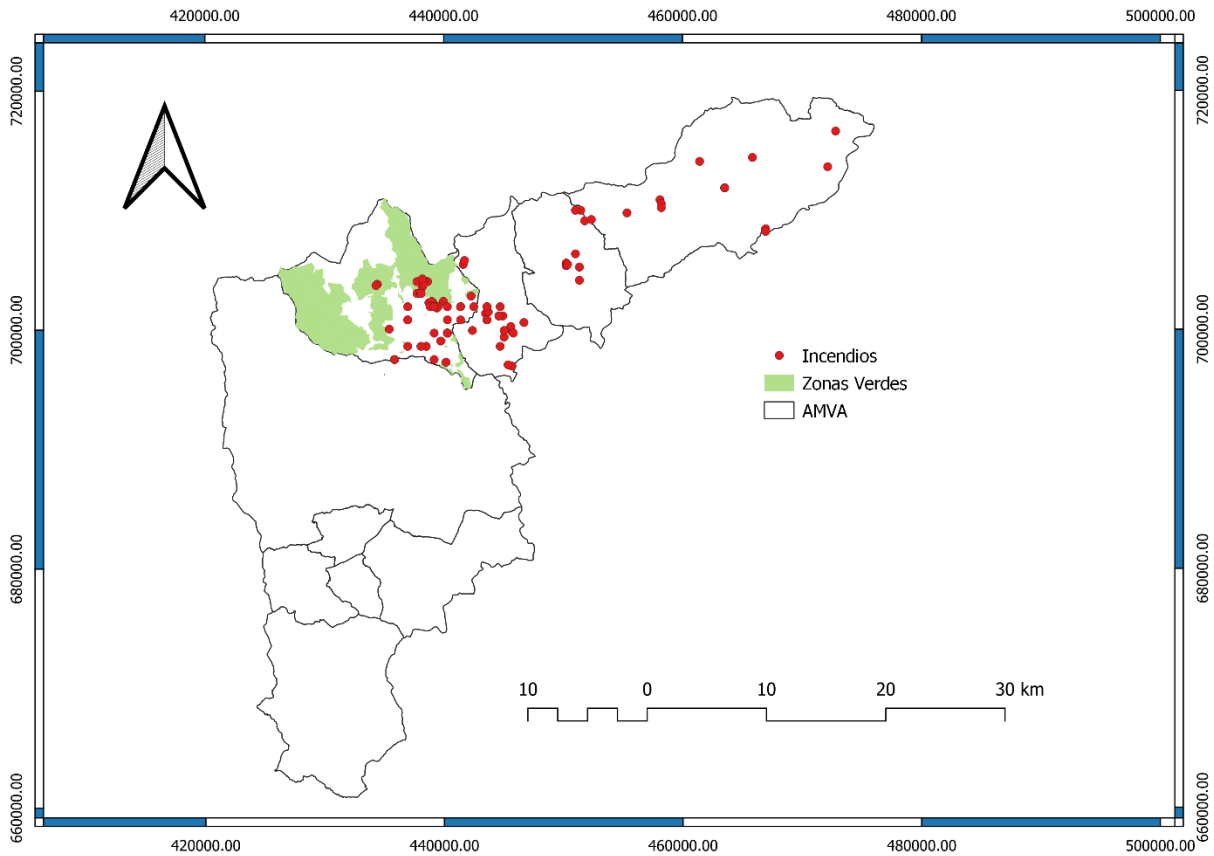


Figura 7. Ubicación de los Incendios Forestales en el área de estudio 2017-2019

16.2. Objetivo 2.

- ***PM_{2.5} y rosa del viento***

Al realizar una exploración inicial de los datos de $PM_{2.5}$ disponibles de la estación de monitoreo del Sistema de Alertas Tempranas del Valle de Aburrá (SIATA), para el municipio de Bello, Liceo Fernando Vélez (BEL.FEVE) y los 15 sensores activos de bajo costo denominados “nubes” del programa de Ciudadanos Científicos ubicados en este municipio, se encontró durante el procesamiento de los datos una mayoría de valores admisibles; es decir, se detectaron pocos datos negativos y el porcentaje de valores perdidos (datos ausentes o que presentaron algún error en el valor) no superó el 25% en la estación de monitoreo principal, en cuanto a los estándares de los niveles contaminantes; Sin embargo, de las nubes analizadas, 5 de éstas presentaron un porcentaje de valores perdidos mayores a 25%, por lo fueron descartadas para el estudio.

Es importante mencionar que, durante la revisión de los datos, se identificó que el periodo de tiempo medido por la estación de monitoreo BEL-FEVE y las nubes ubicadas en el municipio de Bello, que se eligieron para su estudio, variaban en función de la fecha de activación de las diferentes estaciones. La estación BEL-FEVE, empezó a medir $PM_{2.5}$ desde el mes de noviembre del año 2017, la nube 19 desde el mes julio, las nubes 3, 20,52 y 55 desde septiembre, la nube 88 desde octubre, las nubes 190 y 225 desde el mes de noviembre y las nubes 154 y 236 desde el mes de diciembre del 2017.

Teniendo en cuenta todas las estaciones de monitoreo utilizadas para el análisis, que como resultado del procesamiento de la información fueron en total 11, como se observa en la tabla 7, se obtuvo un promedio anual para $PM_{2.5}$ entre 8,99 y 16,79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, igualmente se encontraron unas medianas que abarcaban desde 7,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta 14,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que permitieron establecer una distribución con sesgo positivo, al ser la media (promedio) mayor que la mediana en todas las estaciones. Podemos identificar máximos que alcanzaron hasta 61,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y mínimos entre 0 y 5,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ver tabla 7

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Tabla 7. Estadísticos descriptivos para las series de PM_{2.5}

Estaciones	Media	Mediana	Maximo	Minimo	Desviacion	Cuartil 01	Cuartil 03
BEL.FEVE	16.38	14.93	57.51	5.51	6.84	11.82	18.66
Nube-3	13.26	10.48	60.02	1.18	8.88	7.50	15.95
Nube-19	12.00	10.04	53.80	0.00	7.45	6.93	14.54
Nube-20	14.56	12.42	46.71	1.32	8.43	8.50	17.62
Nube-52	9.71	7.20	49.74	0.99	8.09	4.68	11.33
Nube-55	12.95	10.41	51.37	2.13	8.44	7.07	16.29
Nube-88	16.79	13.27	61.70	0.00	12.57	7.43	23.34
Nube-190	15.01	11.33	60.02	1.29	10.45	7.32	20.14
Nube-225	10.94	9.46	51.82	2.32	6.45	6.95	12.37
Nube-236	12.66	11.11	46.71	1.57	7.08	7.82	14.17
Nube-154	8.99	6.82	44.84	2.16	6.68	5.17	9.08

En la figura 8 al analizar la distribución de los cuartiles, se puede observar la gran variabilidad de los datos de las concentraciones de PM_{2.5} en la estación principal del SIATA (BEL-FEVE) y en las diferentes nubes ubicadas en el municipio de Bello. Se puede decir que la estación BEL-FEVE y la nube 20 son las más uniformes en cuanto a la distribución de los datos; sin embargo, todas las series presentaron una asimetría positiva o sesgo a la derecha, eso quiere decir que la media es mayor que la mediana. Además, todas las series presentan valores atípicos. Ver figura 8

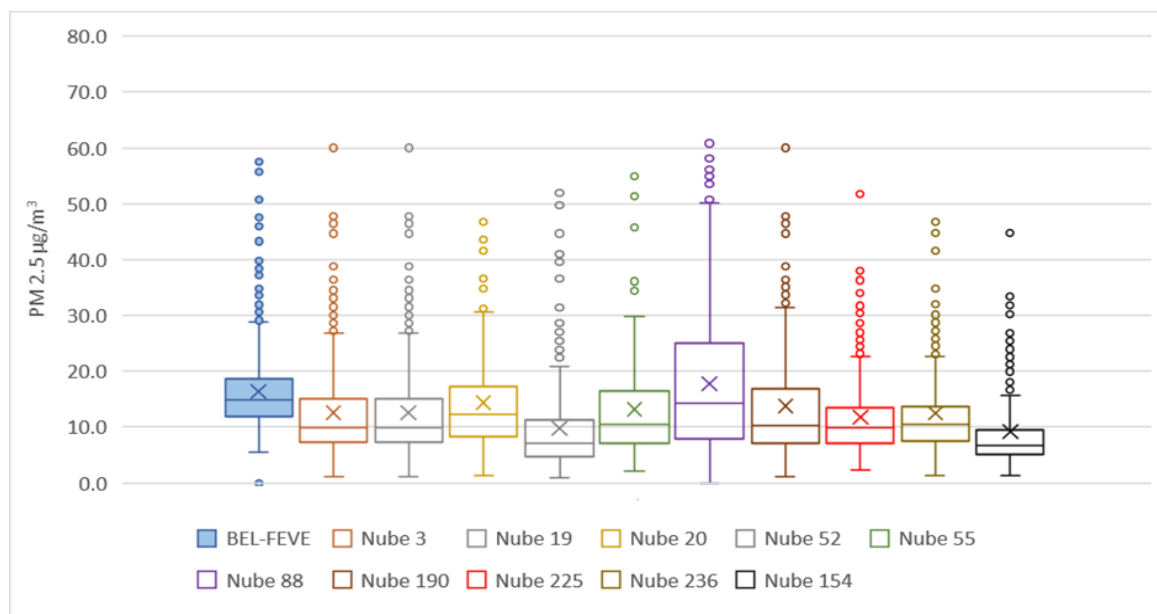


Figura 8. Cuartiles para las series de PM_{2.5} de todas las estaciones analizadas

Con el fin de facilitar la posterior ejecución del análisis estadístico y gráfico, se creó una base de datos en Excel donde se indicaron los días con incendios y sin incendios. En la figura 9 podemos evidenciar que, durante el periodo de estudio, dentro de las fechas en donde no se produjeron incendios, en todas las estaciones de monitoreo, se presentó al menos un día con excedencia al límite máximo permitido en la norma nacional para 24 horas (37 µg/m³) (57). Por otro lado, en los días de ocurrencia de incendios, que son una cantidad menor en comparación a los días sin incendios, solo la estación BEL- FEVE y las nubes 20 y 88, excedieron los límites de la norma nacional, aunque es importante tener en cuenta que la comparación que se realiza con los sensores de bajo costo es sólo ilustrativa, debido a que a menudo tienen una calidad de datos más baja, que las estaciones oficiales del SIATA. Ver figura 9

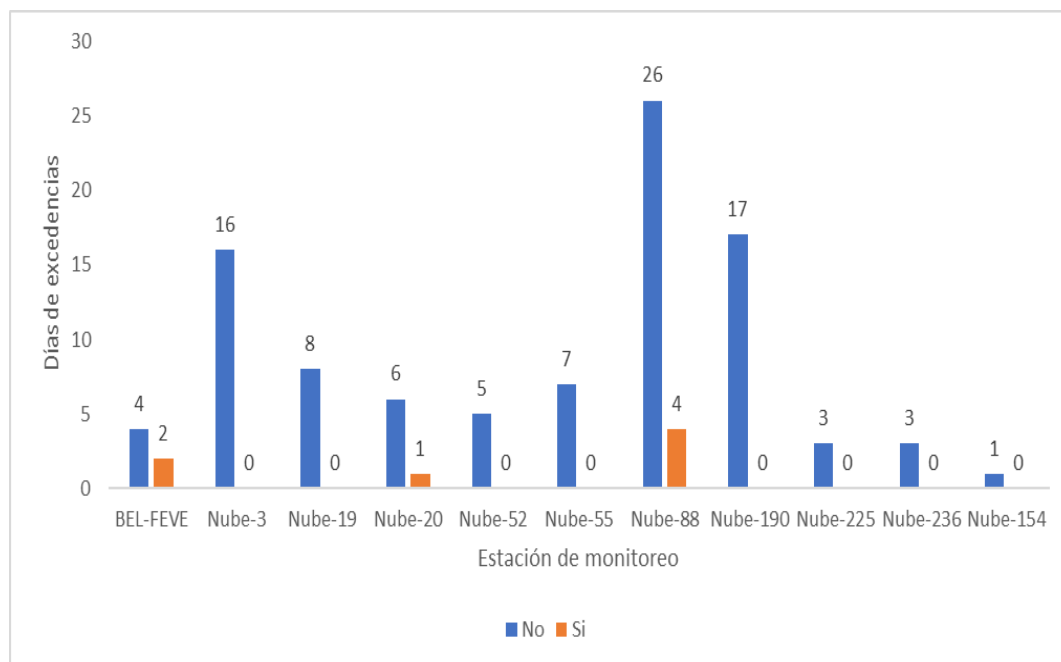


Figura 9. Días con excedencias a la norma nacional de los niveles de PM_{2.5}

En la tabla 8 se destaca que la mayoría de los días de excedencia en todas las estaciones del municipio de Bello se presentaron entre los dos periodos de transición de la temporada seca a la temporada de lluvia del año, durante todo el periodo de análisis (febrero, marzo y abril - septiembre, octubre y noviembre). Usando como referencia la

estación BEL.FEVE, se observa una concentración de excedencias principalmente durante los primeros tres meses del año. Ver tabla 8

Tabla 8. Fechas de excedencia de la estación de monitoreo BEL.FEVE

Estacion	Dias sin Incendios	Dias con Incendios
BEL-FEVE	22/02/2018 0:00	03/03/2018 0:00
	06/03/2018 0:00	01/01/2019 0:00
	07/03/2018 0:00	
	22/03/2018 0:00	

Al efectuar este mismo análisis con los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la figura 8 se destaca que la proporción de días de excedencia son mayores que los encontrados con la norma nacional, siendo $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el margen de la OMS (68). Durante el tiempo sin incendios, se establecieron que en todas las estaciones de monitoreo se dieron numerosos días que sobrepasaban el límite establecido por esta Organización, que van desde los 497 días, en la estación BEL.FEVE, hasta 37 días en la nube 154; también, en los días con incendios forestales, en todas las estaciones, encontramos, una excedencia en todas las estaciones, que, dado la menor cantidad de datos, es una proporción menor. Ver figura 10

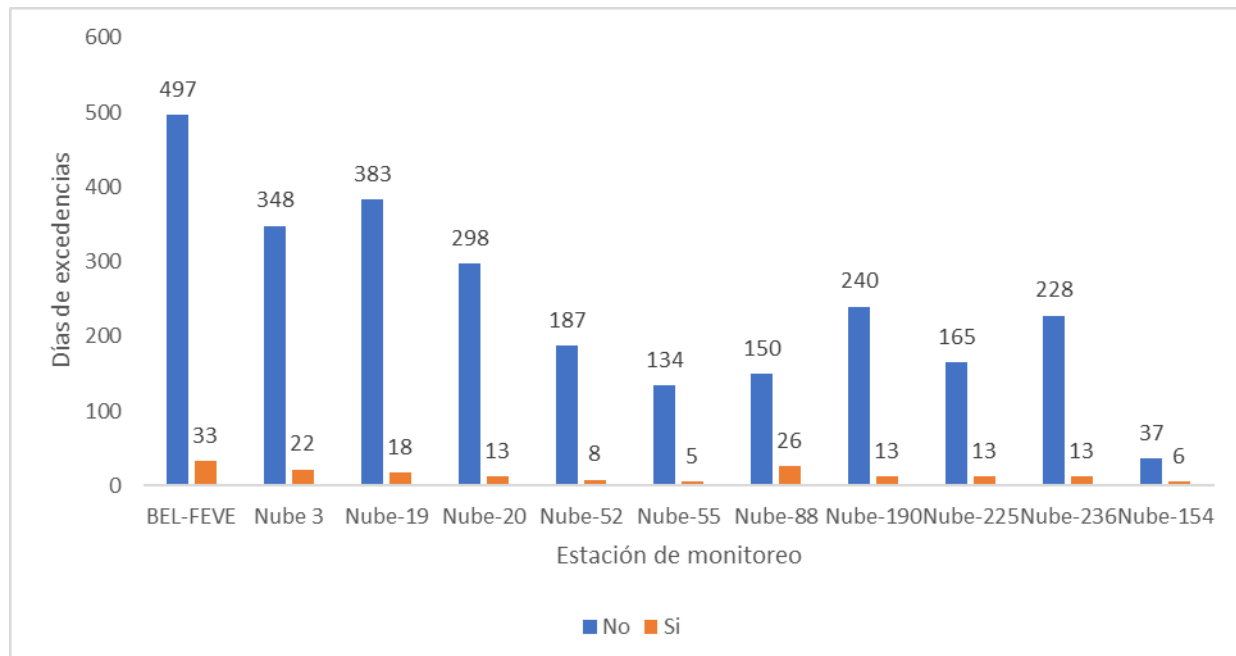
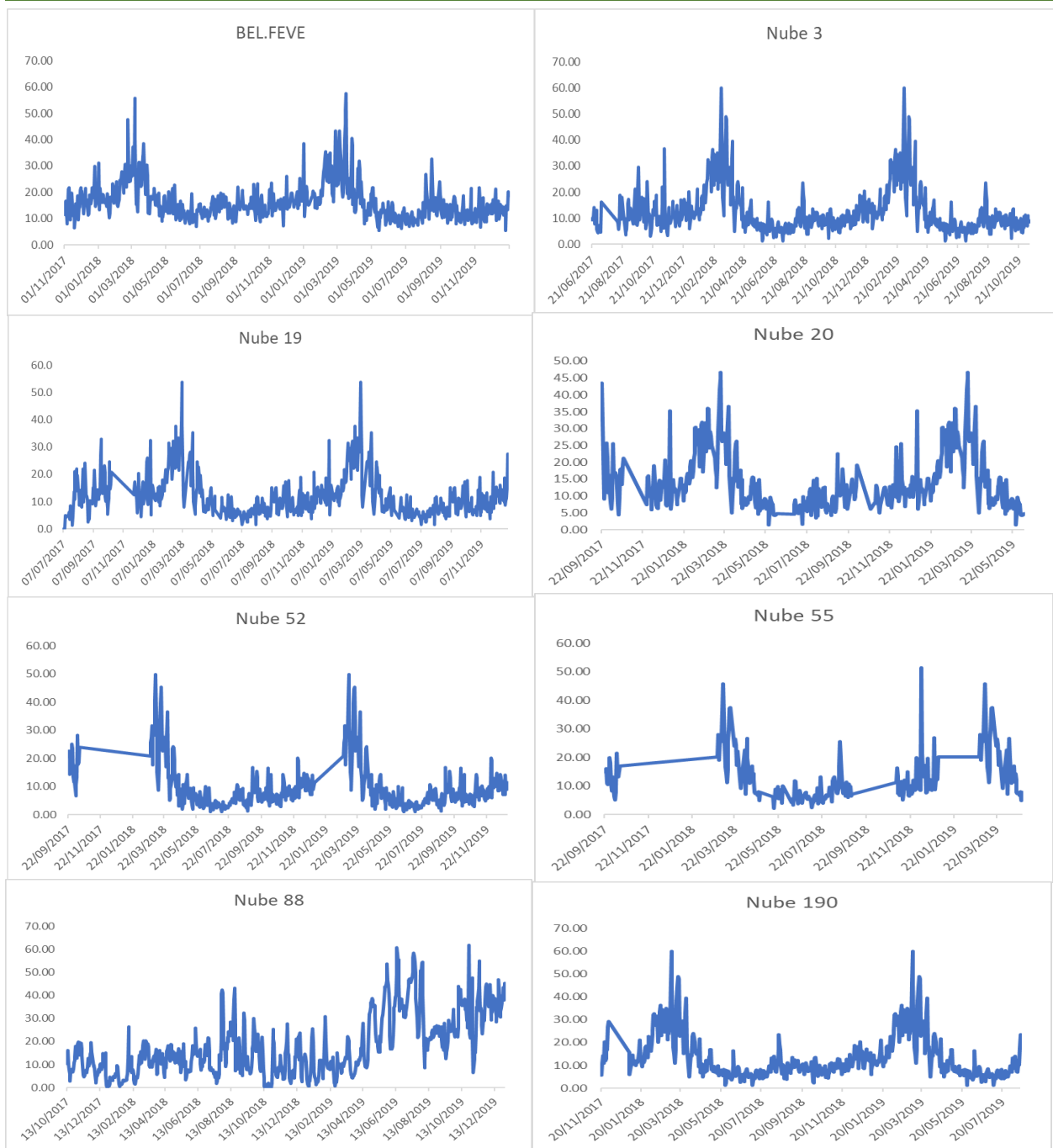


Figura 10. Días con excedencias a la norma de la OMS de los niveles de $\text{PM}_{2.5}$

En la figura 11 se evidencia de forma gráfica los datos de $PM_{2.5}$ para todo el periodo 2017-2019, donde se pudo observar en la estación BEL.FEVE que las mayores concentraciones de $PM_{2.5}$ se dieron entre los primeros meses de todos los años evaluados. También se identificaron patrones similares en los niveles de concentración del contaminante detectados por las diferentes nubes dispersas en toda el área de estudio, donde, se encontraron altos picos de $PM_{2.5}$ principalmente entre enero, febrero, marzo y abril. Ver figura 11

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE



EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

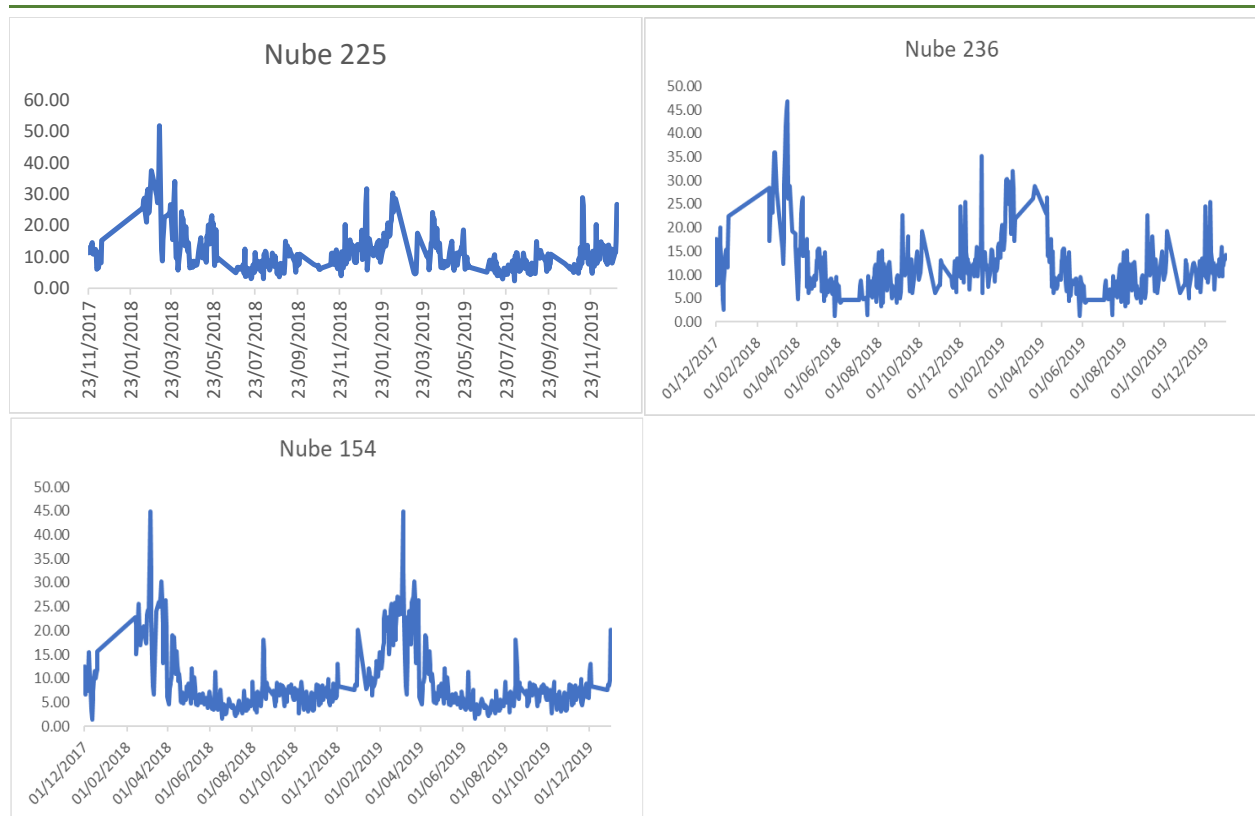


Figura 11. Gráfico de las estaciones de monitoreo PM_{2.5} durante la serie de tiempo 2017-2019

En la figura 12 se puede observar la ubicación de las 11 estaciones de monitoreo utilizadas para el análisis, las cuales se encuentran distribuidos a lo largo del municipio. La mayoría de las nubes se encuentran ubicadas entre la cabecera y el sur de la ciudad, sabiendo que la estación principal del SIATA, la cual es en promedio la estación que maneja el mayor volumen de datos confiables, se encuentra ubicada en un punto central de la cabecera municipal. Ver figura 12

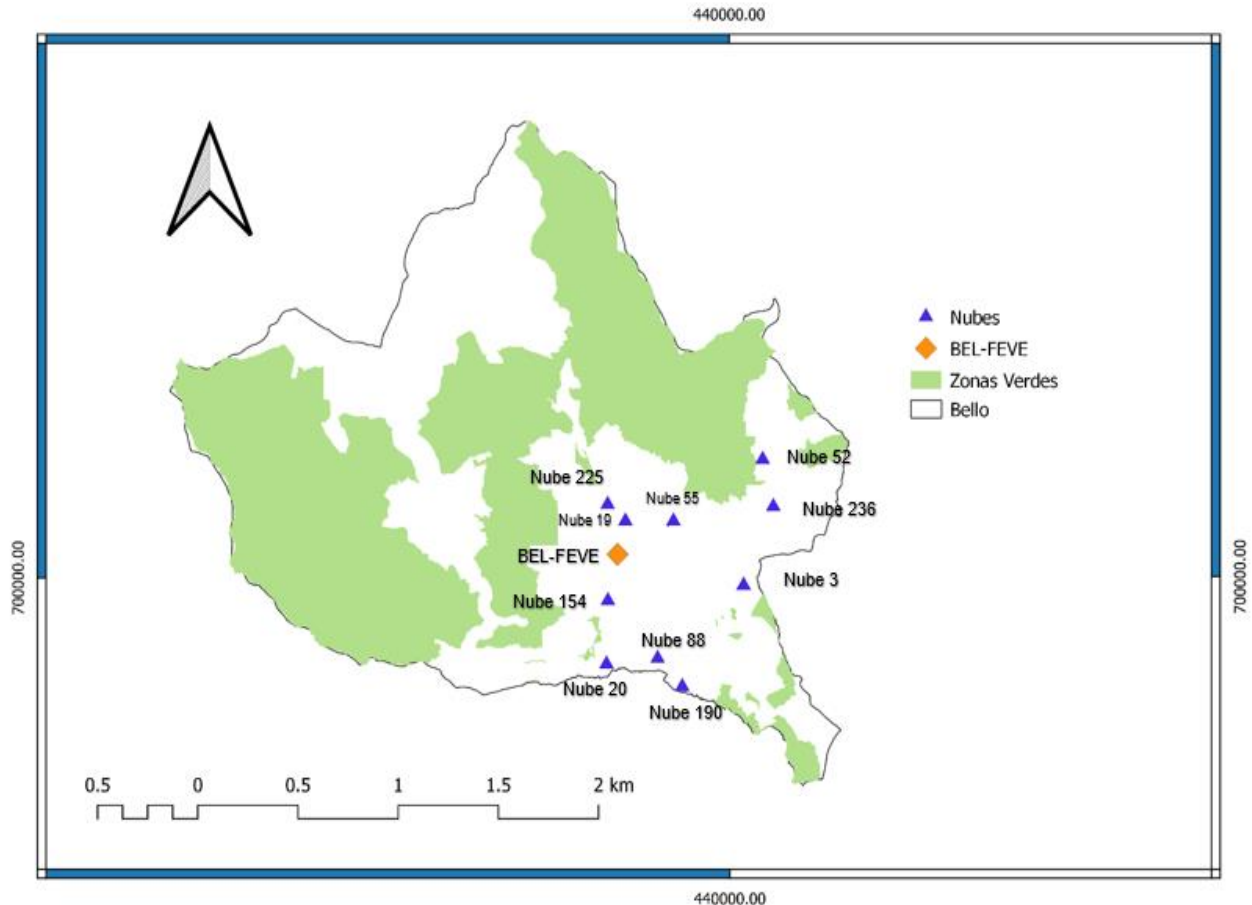


Figura 12. Ubicaciones de las estaciones de monitoreo PM_{2.5} utilizadas en el análisis.

Para la ejecución de la Rosa de los vientos, se realizó el procesamiento de los datos de precipitación y dirección del viento, en donde se identificó una gran mayoría de datos admisibles, es decir, que el porcentaje de los valores perdidos diarios no supero el 25% en la estación de monitoreo meteorológica.

Una vez ejecutado este procedimiento, se procedió a subir los datos meteorológicos correspondientes al programa WRPLOT View, para la construcción del gráfico de la rosa del viento. En la figura 13 se puede observar la rosa de los vientos construida con la información disponible para la estación BEL-FEVE. Los vientos dominantes durante el periodo de análisis provinieron principalmente desde la dirección Este, siendo los puntos del gráfico que se observan el color rojo y azul, los vientos de mayor velocidad

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

encontrados en el municipio de Bello durante los años 2017 a 2019, presentaron magnitudes entre 3,6 y 8,8 m/s. Ver figura 13

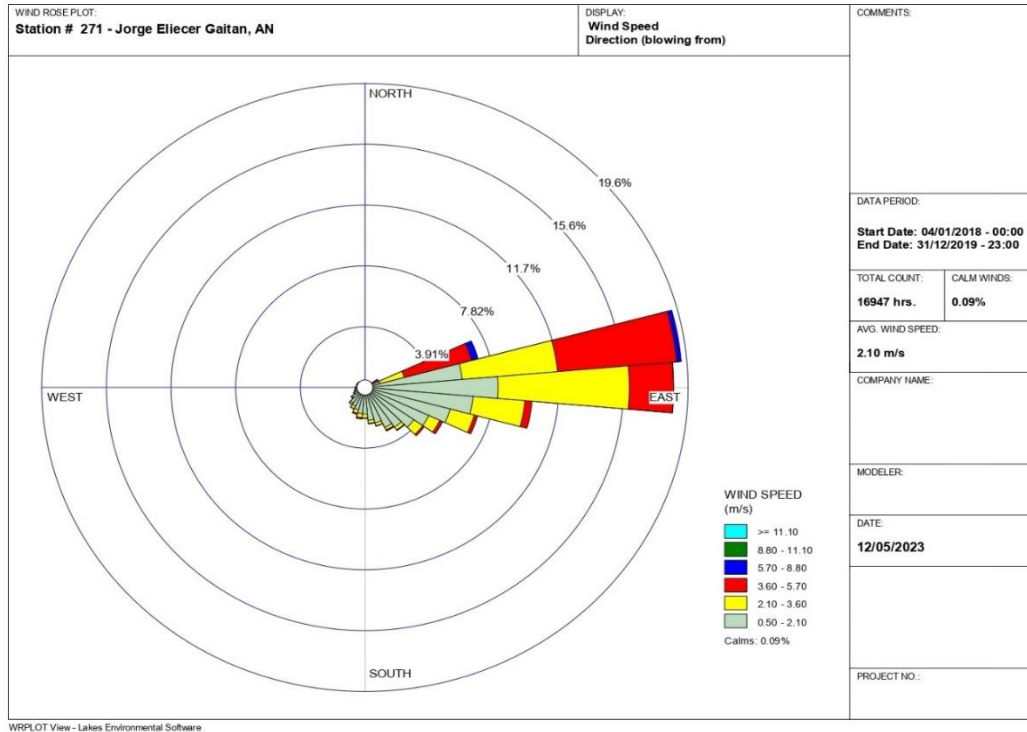


Figura 13. Rosa de los vientos del municipio de Bello, 2017-2019

En la figura 14 se puede interpretar, como resultado de la rosa de los vientos y la ubicación de las estaciones en el municipio, que los incendios y las estaciones de monitoreo que se encontraran a sotavento de la dirección predominante de los vientos podrían tener una mayor afectación en la concentración de $PM_{2.5}$ detectados en las estaciones. Ver figura 14

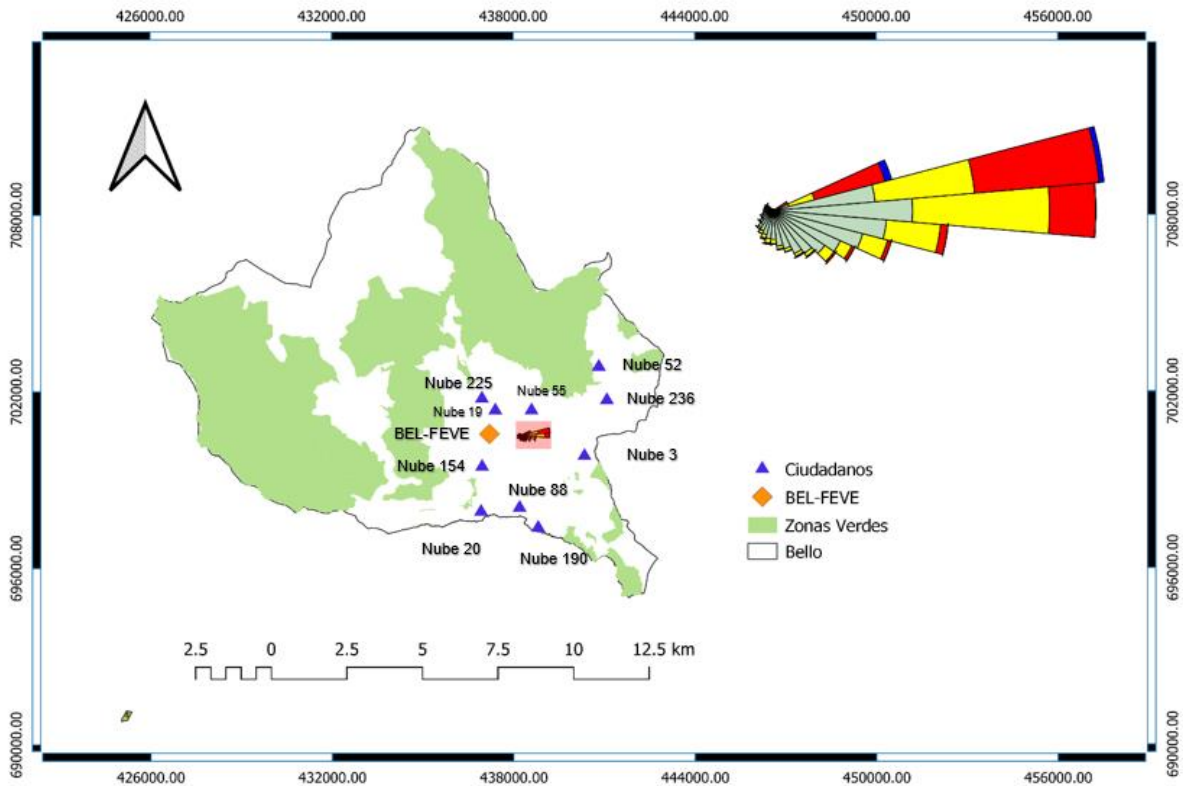


Figura 14. Ubicación rosa de los vientos y estaciones de monitoreo PM_{2.5}, 2017-2019

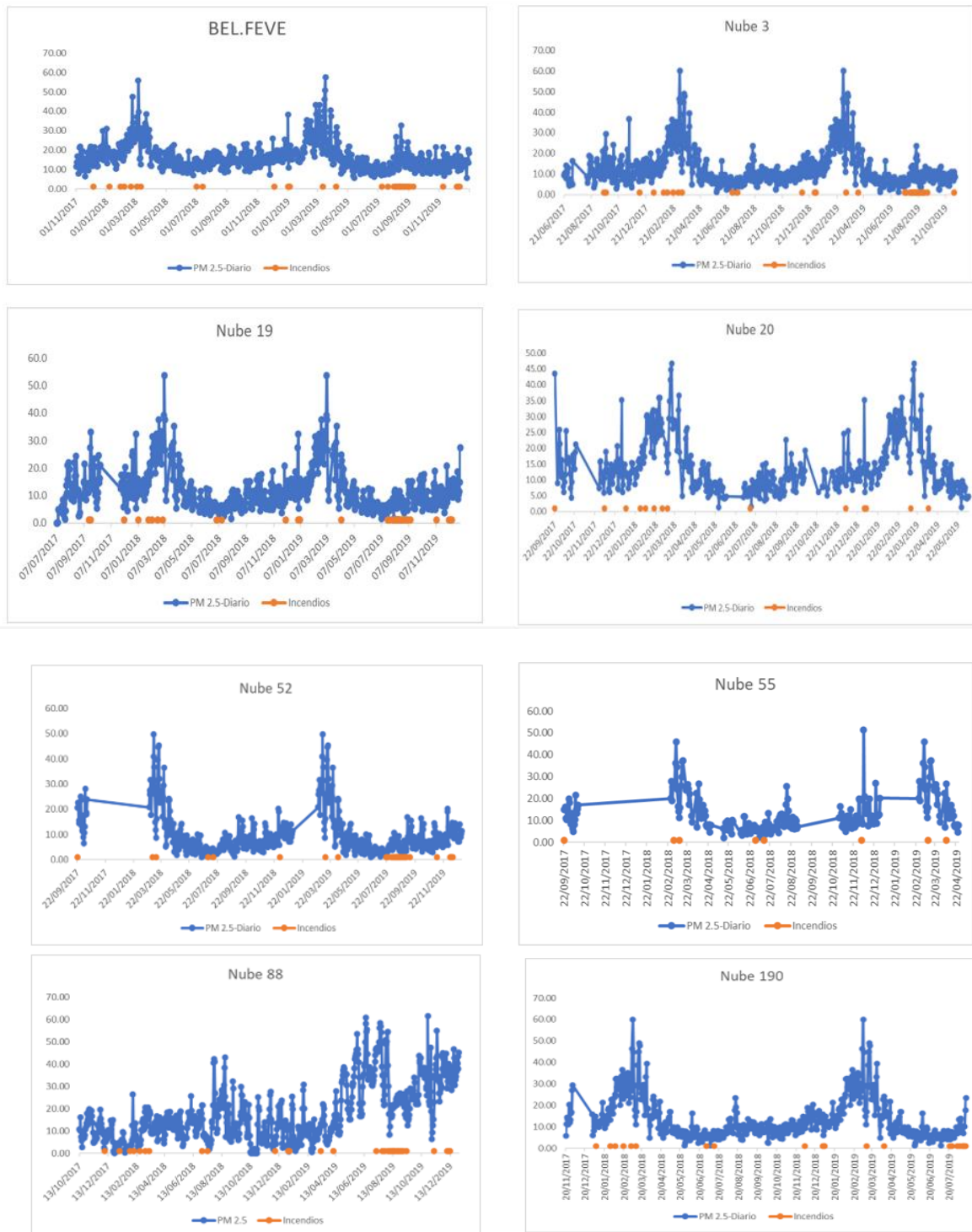
- **Relación entre las variables: Incendios forestales - PM_{2.5}**

Con los datos procesados se prosiguió a ilustrar por medio una serie de gráficos estadísticos en qué nivel se vio reflejado la posibilidad de que los incendios puedan haber causado una afectación en la calidad del aire, por medio de la relación de las fechas de los incendios, con los picos de concentración de PM_{2.5}, que se hallaron durante el periodo de estudio.

En la figura 15 se puede observar la ubicación de la fecha de los incendios forestales en relación de la distribución de la concentración de PM_{2.5} en la estación del SIATA y en cada una de las nubes distribuidas a lo largo del municipio de Bello durante el periodo de análisis. Se detecta de manera visual que, examinando principalmente la estación de monitoreo del SIATA, existe una relación entre las fechas en que se dieron los incendios y los picos de PM_{2.5}; sin embargo, esto no significa una relación infalible de que los

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

incendios como la razón de que las concentraciones del contaminante hubieran aumentado durante estos periodos. Ver figura 15



EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

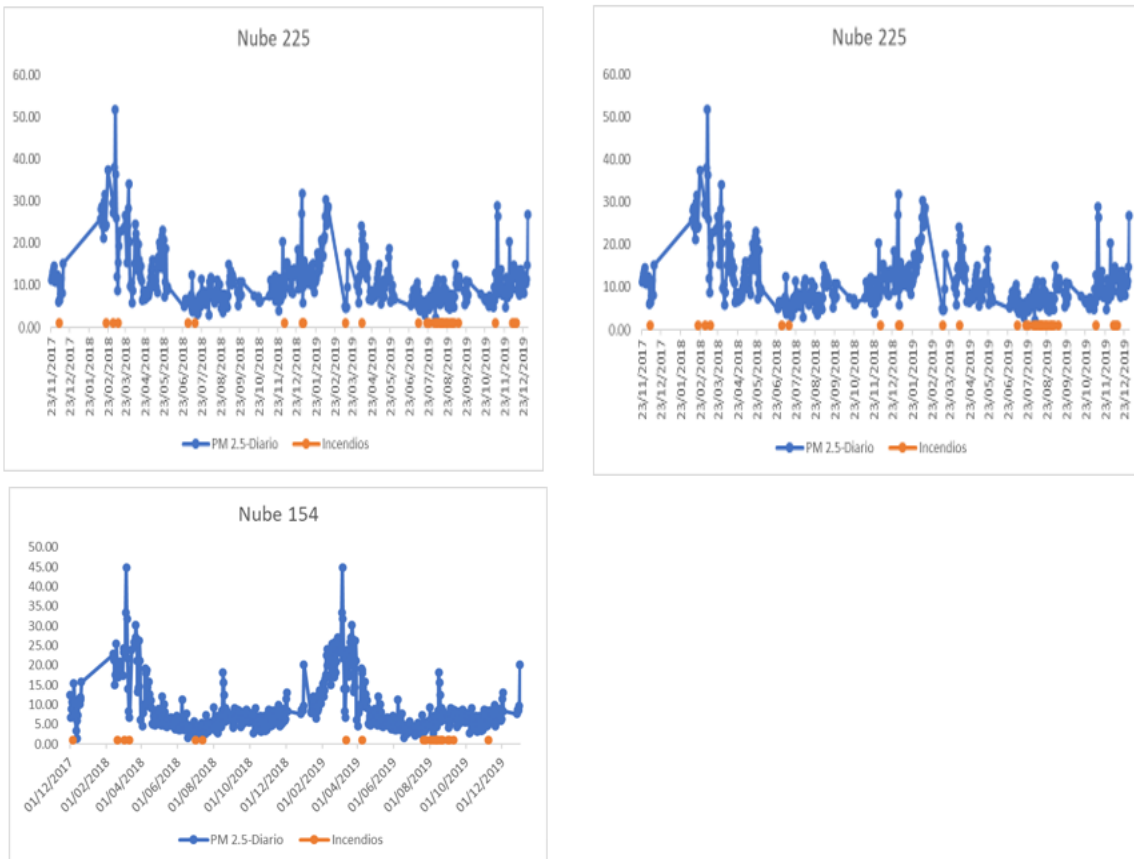
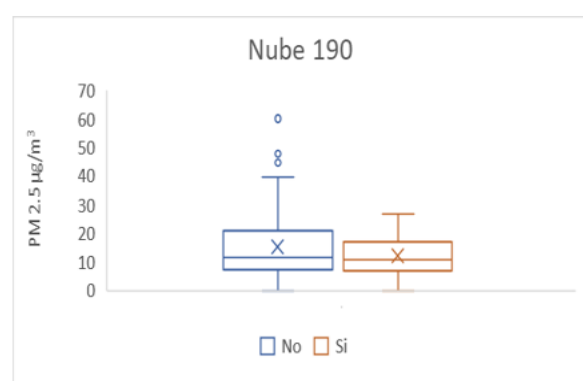
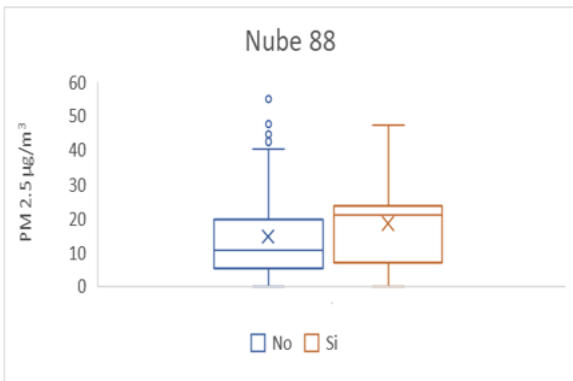
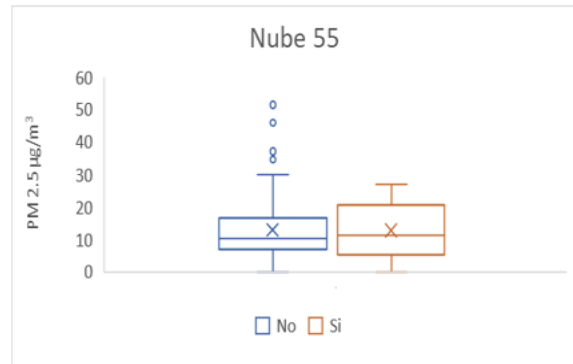
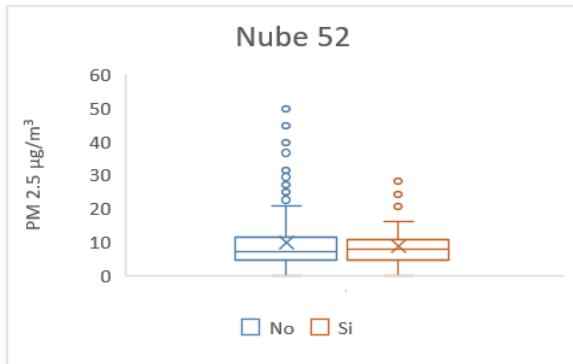
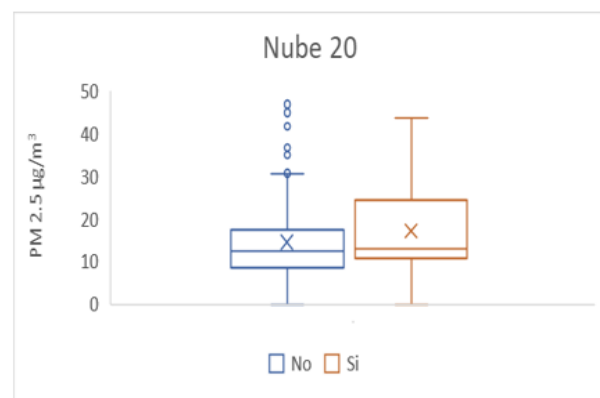
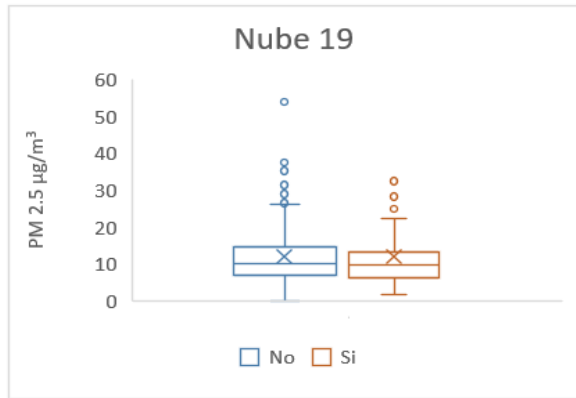
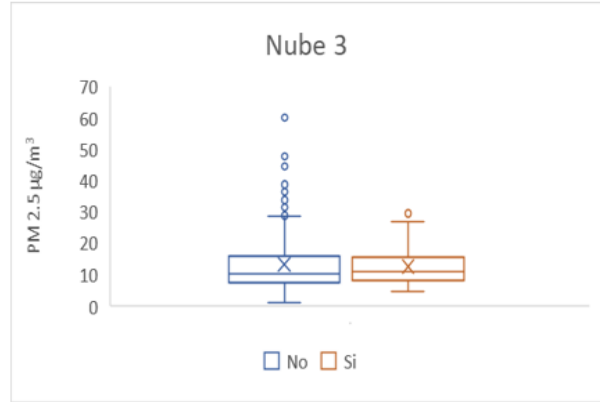
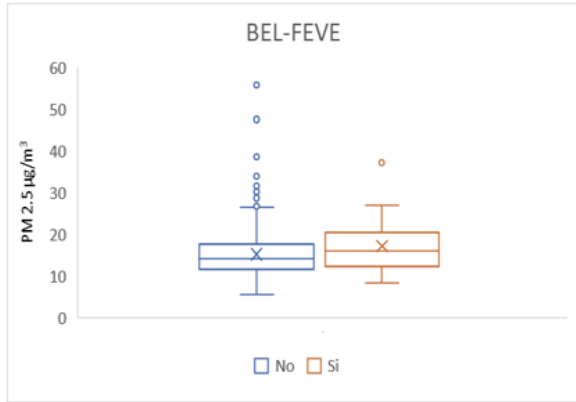


Figura 15. Gráfico de las estaciones de monitoreo y las fechas de los incendios

Al evaluar la distribución de los cuartiles de los conjuntos de Sí y No Incendios podemos observar en la Figura 16 que en la estación BEL-FEVE las concentraciones de PM_{2.5} poseen mayor magnitud cuando hay incendios; sin embargo, los datos de ambos conjuntos tienen distribuciones y características similares en cuanto a la ubicación respectiva de la mediana. Igualmente, podemos ver que los conjuntos de datos de las diferentes nubes establecidas son similares entre sí, la mayor diferencia se pudo encontrar en las nubes 20, 55 y 88, donde la magnitud del conjunto de datos de los días en donde sí hubo incendios es mayor que los días donde no hubo incendios, y la mayoría de las series presentaron una asimetría positiva o sesgo a la derecha, donde la mediana es mayor que la media. Ver figura 16

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE



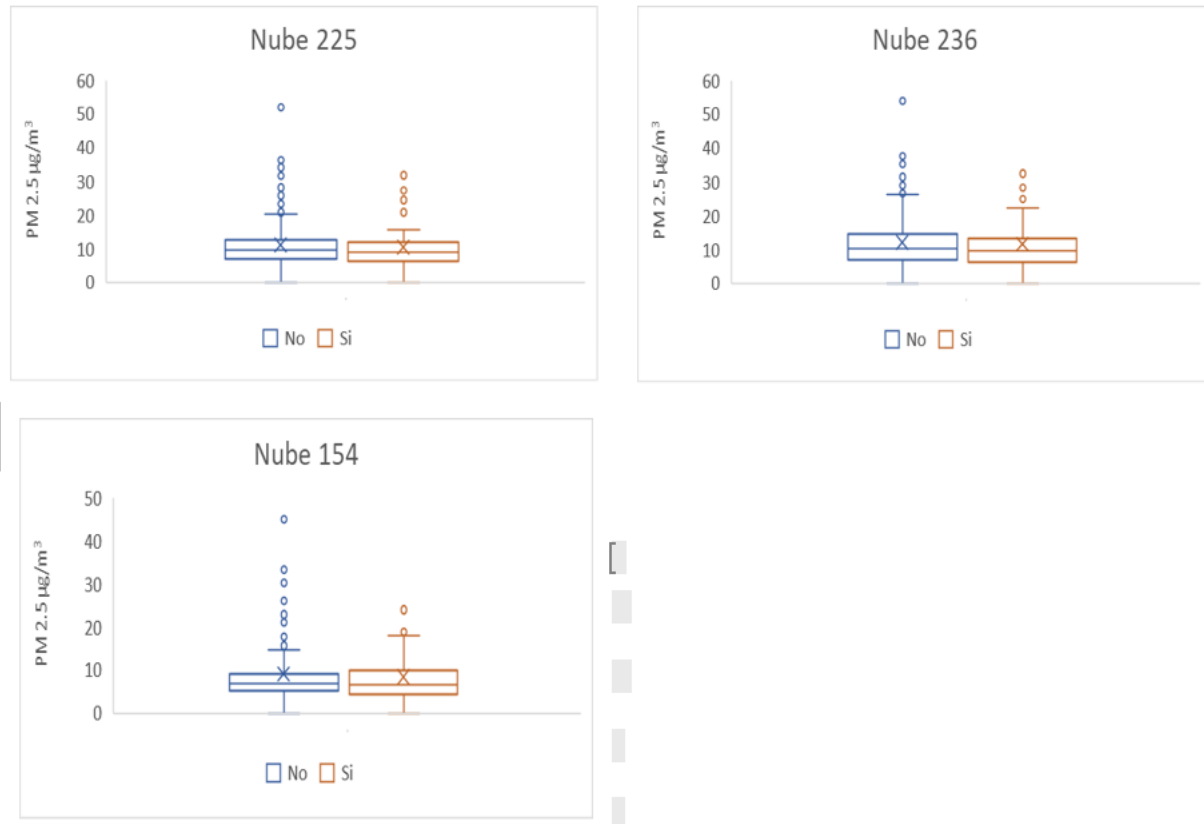


Figura 16. Cuartiles para los conjuntos de sí y no para las concentraciones PM_{2.5}

Es pertinente resaltar que, como se puede observar en la tabla 9, los días atípicos descritos principalmente en la estación BEL-FEVE corresponden a las fechas donde se presentaron las mayores concentraciones de contaminantes en la región. En la mayoría de los conjuntos de datos de las nubes analizadas, los días atípicos concuerdan con los meses (febrero, marzo y abril -septiembre, octubre y noviembre). Ver tabla 9

Tabla 9. Días atípicos del conjunto de datos de la estación BEL-FEVE

Dias atipicos				
Estacion	Fecha	No	Fecha	Si
	21/02/2018 0:00	31.60	03/03/2018 0:00	37.14
	22/02/2018 0:00	47.51		
	25/02/2018 0:00	30.11		
BEL-FEVE	06/03/2018 0:00	55.81		
	16/03/2018 0:00	28.65		
	20/03/2018 0:00	33.90		
	22/03/2018 0:00	38.57		
	06/08/2019 0:00	26.73		

Con el fin de realizar el análisis estadístico, se analizaron los conjuntos de datos establecidos de los días cuando Sí y No se presentaron incendios forestales. Con la plataforma de software estadístico SPSS Statistics, se realizó la prueba de normalidad, para esto se utilizaron dos tipos test, que se escogieron según el número de cada conjunto de datos.

En la tabla 10 se puede identificar que, para los días donde sí hubo incendios, en cada nube se hizo uso de la prueba Shapiro-Wilk, dado que estos conjuntos siempre eran menores de 50 datos. Los conjuntos de datos de las fechas sin incendio se analizaron con la prueba denominada Kolmogórov-Smirnov, sabiendo que los conjuntos de cada nube fueron mayores de 50 datos. Ver tabla 10

Tabla 10. Estadísticos de prueba de normalidad.

		Prueba de normalidad					
		Shapiro-Wilk		Kolmogorov-Smirnova			
	Días con Incendios	Estadístico	P	Días sin Incendios	Estadístico	P	
BEL.FEVE	Si	0,127	<.001	No	0,111	<.001	
Nube 3	Si	0,892	0,002	No	0,161	<.001	
Nube 19	Si	0,892	0,00	No	0,131	<.001	
Nube 20	Si	0,875	0,040	No	0,148	<.001	
Nube 52	Si	0,837	<.001	No	0,186	<.001	
Nube 55	Si	0,906	0,327	No	0,184	<.001	
Nube 88	Si	0,944	0,062	No	0,147	<.001	
Nube 190	Si	0,903	0,012	No	0,157	<.001	
Nube 225	Si	0,793	0,003	No	0,168	<.001	
Nube 236	Si	0,769	<.001	No	0,171	<.001	
Nube 154	Si	0,863	0,005	No	0,244	<.001	

Cuando el valor p es menor 0,05, se puede afirmar que un conjunto de datos no es normal y si esta misma variable es mayor o igual a 0,05, los datos son normales, esto es cierto en cada una de las pruebas utilizadas. Como se puede observar en todas las nubes en ambos conjuntos de datos, al menos una o ambas pruebas rechazaron la hipótesis de normalidad. Esto significa que era necesario para todas las nubes ejecutar la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney, la cual, aplicada a dos muestras independientes no normales, mide las medianas de cada una (67).

En la tabla 11 se pueden observar los resultados de la prueba de U de Mann-Whitney, donde el resultado se ve reflejado en la variable *Sig.asin.* (bilateral), como ésta es menor de 0,05, se puede afirmar que la hipótesis alterna, en donde se establece que los incendios forestales, si afectaron la concentración de PM_{2.5}, en el municipio de Bello durante los años 2017-2019, es aceptada y la hipótesis nula, siendo esta lo contrario a lo que se busca establecer, se puede rechazar. Ver tabla 11

Tabla 11. Prueba U de Mann-Whitney para todas las estaciones de monitoreo.

Prueba	BEL.FEVE	Nube 3	Nube 19	Nube 20	Nube 52	Nube 55
	Si.No	Si.No	Si.No	Si.No	Si.No	Si.No
U de Mann-Whitney	844,800	25,000	187,000	204,450	871,600	913,500
W de Wilcoxon	170,044	655,000	890,000	613,845	192,031	351,045
Z	-2000	-9907	-9,857	-1,739	-,366	-,602
Sig. asin. (bilateral)	0,046	<.001	0,001	0,082	0,714	0,547

Nube 88	Nube 190	Nube 225	Nube 236	Nube 154
Si.No	Si.No	Si.No	Si.No	Si.No
275,000	0,000	0,000	45,945	0,000
978,000	435,000	595,000	50,005	276,000
-9,377	-8,970	-9,636	-1,245	-1,245
<.001	<.001	<.001	0,213	0,001

Se observó que la estación principal del SIATA (BEL-FEVE), cumple con un valor de 0,046, que establece que la diferencia entre las medianas es estadísticamente significativa y, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Esto implica que con un nivel de confianza de aproximadamente 96% y el nivel de significancia de menos 0,05 se encontró un riesgo menor de 5% de concluir que existe una diferencia cuando no hay una diferencia real.

Teniendo en cuenta la concentración de PM_{2.5} la estación BEL-FEVE en relación con los días en que sí y no hubo incendios, como se atisba en la tabla 12, se obtuvo un promedio anual de 17,15 y 15,18 µg/m³ respectivamente, en ese mismo orden se identificaron unas medianas de 15,91 µg/m³ y 14,08 µg/m³. Podemos identificar máximos que alcanzan entre 38,43 y 55,81 µg/m³, además de mínimos de 8,38 y 5,51 µg/m³. Ver tabla 12

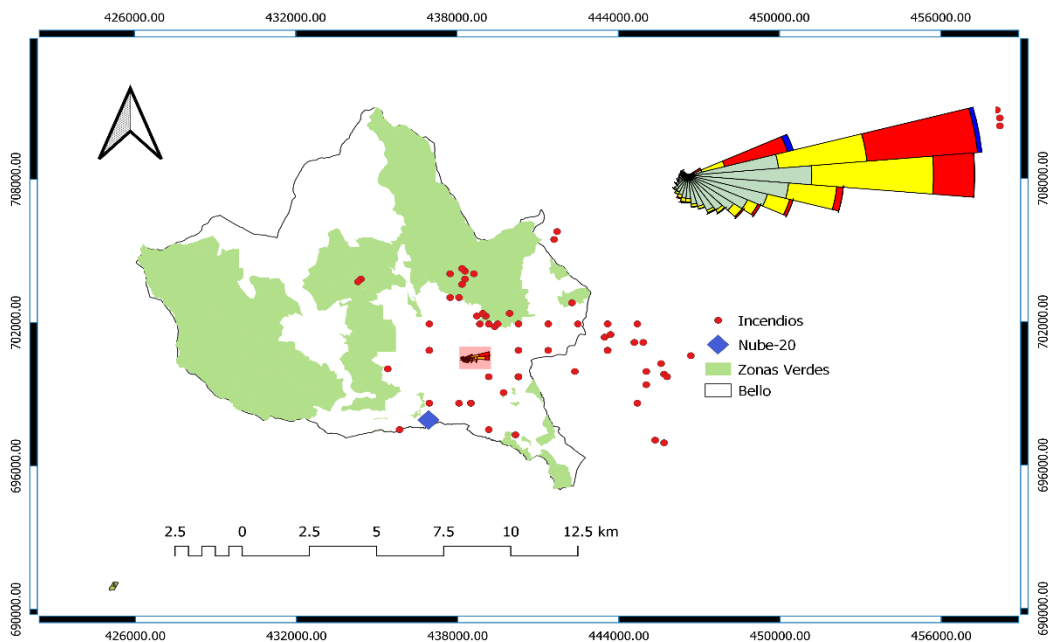
Tabla 12. Estadísticos descriptivos de PM_{2.5} los días con incendios y sin incendios

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

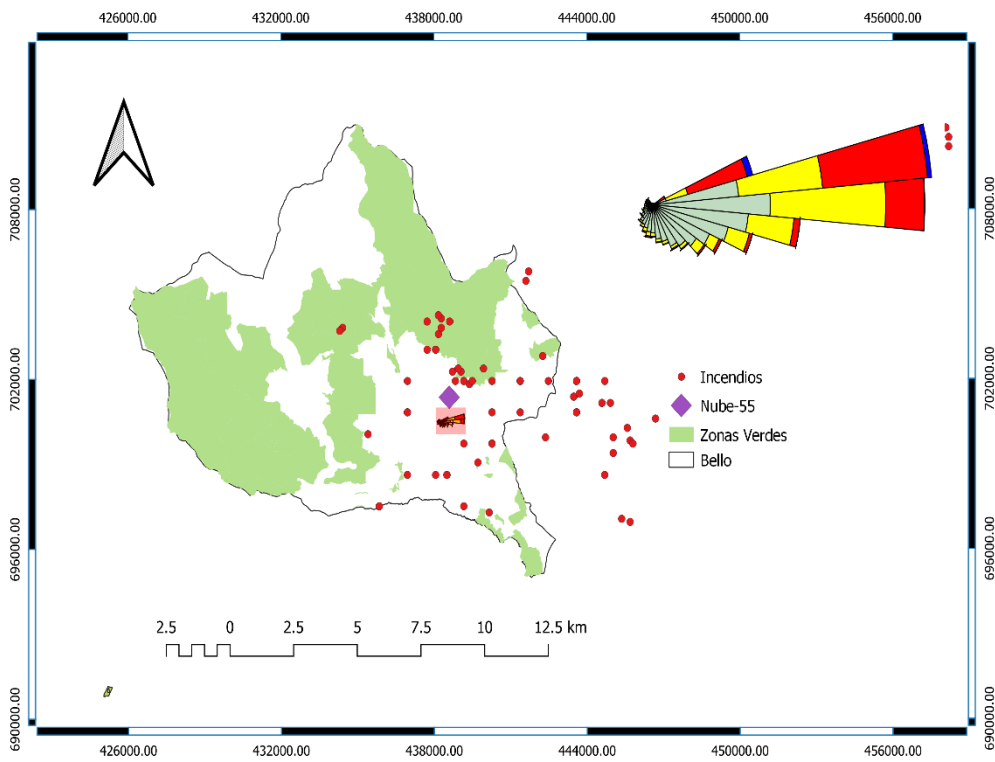
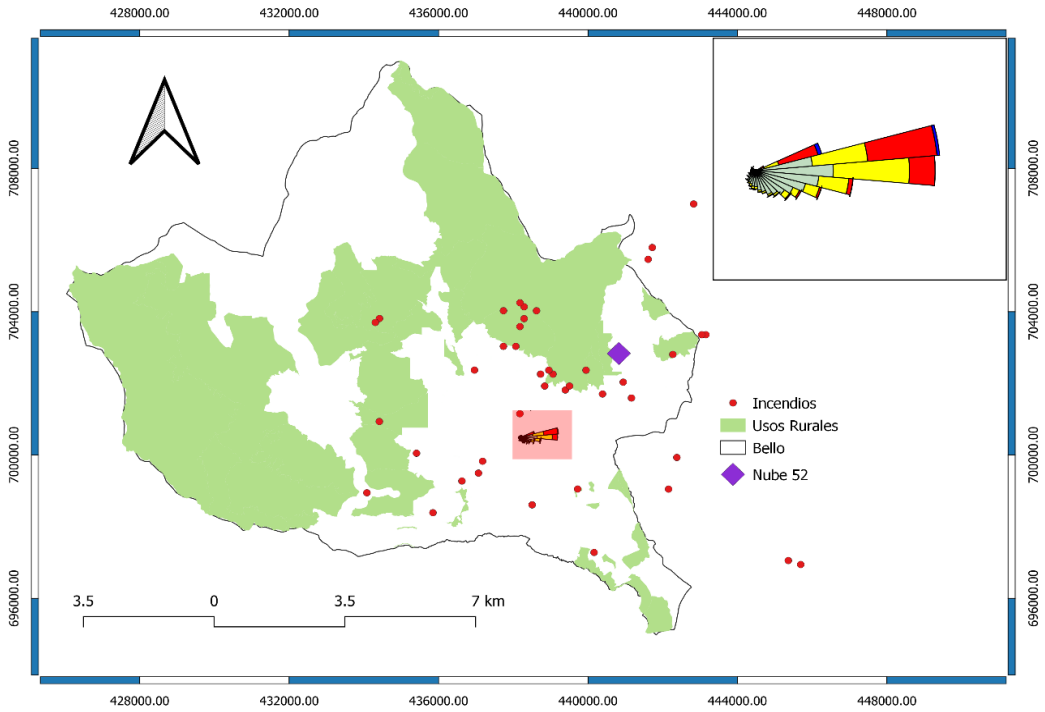
Días con Incedios	PM2.5	Días sin Incedios	PM2.5 2
Media	17.15	Media	15.18
Mediana	15.91	Mediana	14.08
Maximo	38.43	Maximo	55.81
Minimo	8.38	Minimo	5.51
Desviacion	7.21	Desviacion	5.79
Cuartil 01	12.47	Cuartil 01	11.46
Cuartil 03	20.11	Cuartil 03	17.49

De las 11 estaciones que se analizaron, como se muestra en la figura 17, hubo un total de cuatro nubes cuyo nivel de significancia fue mayor del 0,05; es decir, que solo el 36,36% de las estaciones nos dicen que no hay diferencias significativas entre los días con incendios y los días sin incendios.

Una posible causa de que las concentraciones de contaminantes medidas por las nubes 20, 52, 55 y 236 no se vieran afectadas por los incendios forestales, podría tener relación con la dirección de los vientos dominantes, reflejados en la rosa de los vientos y con la ubicación de las estaciones contrarias a la dirección de los vientos, lo que genera una baja probabilidad que el humo de los incendios pueda llegar a estas nubes. Ver figura 17



EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE



EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

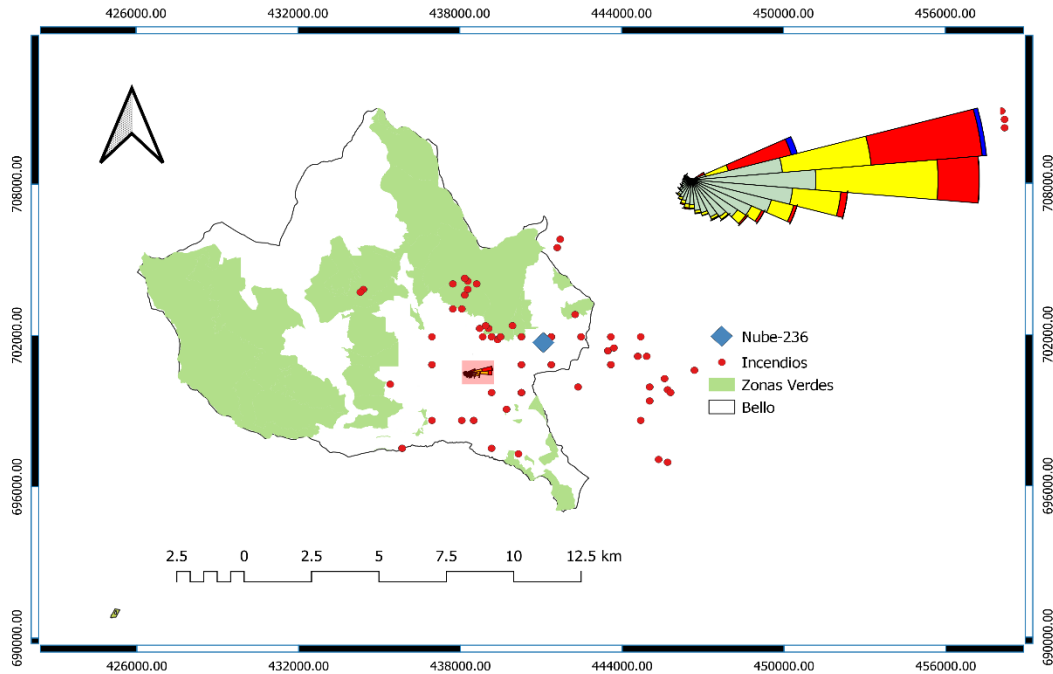


Figura 17. Ubicación de las nubes con respecto a la dirección del viento dominante

Es importante destacar, que la estación principal de Bello (BEL-FEVE), como se destaca en la figura 18, establece que la diferencia entre las medianas es estadísticamente significativa y que esta estación se encuentra ubicada en el centro del municipio, donde se ve mayormente afectada por los incendios que están en dirección del viento predominante. Ver figura 18

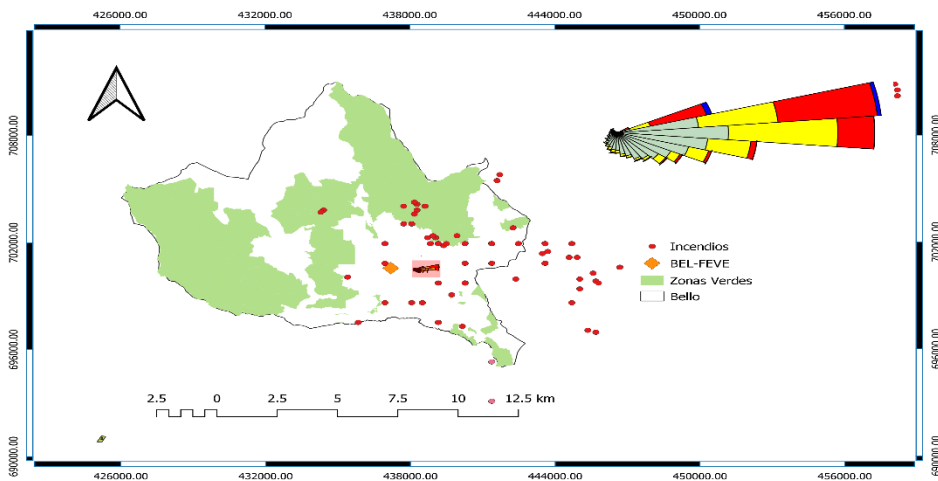


Figura 18. Ubicación de estación BEL-FEVE con respecto a la dirección del viento predominante

16.3. Objetivo 3

- **Relación entre las variables: Incendios - Morbilidad y Mortalidad**

Al realizar la exploración de los datos procesados de morbilidad y mortalidad para hombres y mujeres menores a 5 años y mayores a 65 años del municipio de Bello entre los años 2017-2019 compartidos por el Grupo de Investigación de Salud y Ambiente de la Facultad Nacional de Salud Pública, información obtenida por GISA con el objetivo de realizar su respectivo análisis para la investigación denominada “Influencia de los incendios sobre los niveles de PM_{2.5} y Black Carbón en el Valle de Aburrá y sus efectos en la salud pública”, que se halla en ejecución actualmente. Se descubrió que la base de datos correspondientes se encontraba categorizada de forma general y subdivida en las variables solicitadas para su análisis.

Teniendo en cuenta de forma general las fechas de los eventos de morbilidad y mortalidad por enfermedades circulatorias (ICD-10 códigos I00-I99) y respiratorias (ICD-10 códigos J00-J99), como se puede observar en la tabla 13, se obtuvo un promedio, para cada grupo 1,15 y 8,23 casos por día, siendo los casos de morbilidad respiratoria los que se dan con más frecuencia; igualmente se encontraron medianas que abarcaban desde 1 hasta 6 casos por día. Se identificaron máximos que alcanzan hasta 43 casos y mínimos entre 1 y 1,01 casos por día. Ver tabla 13

Tabla 13. Estadísticos descriptivos para los casos de morbilidad y mortalidad

Cond. Salud	Media	Mediana	Total		Desviacion	Cuartil 01	Cuartil 03	Total
			Maximo	Minimo				
Morb.Circulatoria	1.45	1.00	6.00	1.00	0.73	1.00	2.00	699
Morb.Respiratoria	8.23	6.00	43.00	1.00	7.35	3.00	11.00	2.963
Mort.Circulatoria	1.34	1.03	4.12	1.01	0.61	1.03	1.05	813
Mort.Respiratoria	1.15	1.03	3.08	1.01	0.35	1.03	1.04	432

De igual manera, se analizaron los datos de salud identificados, en los conjuntos de días donde sí hubo incendios y donde no hubo incendios, Ver Tabla 14, se observó que el promedio de casos en los dos conjuntos de datos examinados oscilo entre 1,15 y 8,24

casos por día; también, se encontró que las medianas comprendían el rango de desde casos por día; y en los dos conjuntos de datos. Se observaron máximos que alcanzan hasta 43 y 35 casos y mínimos entre 1 y 1,03 casos por día.

Al analizar el total de los datos se encontró que la mayor cantidad de información correspondió a los días sin incendios con respecto a los días con incendios; sin embargo, dada la diferencia en cantidad de incendios presentados durante el periodo de estudio, es esperable que la frecuencia y cantidad de este conjunto de datos para todas las patologías estudiadas sean mayores. Ver tabla 14

Tabla 14. Estadísticas descriptivas los días en que sí y no hubo incendios, 2017-2019

Sí								
Cond. Salud	Media	Mediana	Maximo	Minimo	Desviacion	Cuartil 01	Cuartil 03	Total
Morb.Circulatoria	1.14	1.00	2.00	1.00	0.44	1.00	1.25	20
Morb.Respiratoria	7.51	5.00	35.00	1.00	7.29	2.75	9.25	76.00
Mort.Circulatoria	1.36	1.04	3.09	1.03	0.53	1.03	2.06	41
Mort.Respiratoria	1.16	1.03	2.06	1.03	0.35	1.03	1.03	24
No								
Cond. Salud	Media	Mediana	Maximo	Minimo	Desviacion	Cuartil 01	Cuartil 03	Total
Morb.Circulatoria	1.45	1.00	6.00	1.00	0.74	1.00	2.00	678
Morb.Respiratoria	8.24	6.00	43.00	1.00	7.34	3.00	11.00	2.884
Mort.Circulatoria	1.34	1.03	4.12	1.01	0.61	1.03	1.05	771
Mort.Respiratoria	1.15	1.03	3.08	1.01	0.36	1.03	1.05	408

Con respecto a la distribución de los cuartiles de los conjuntos de Sí y No hubo incendio y los datos de salud se identificó, Ver figura 19, que en el conjunto del “Si hubo incendios” se observó mayor magnitud para la morbilidad de las enfermedades respiratorias y la mortalidad en las enfermedades circulatorias; es menester aclarar que los datos de ambos conjuntos en referencia a las dos grupos de eventos, tanto en la morbilidad como en la mortalidad se observó distribuciones y características similares en la mediana; sin embargo, podemos ver que los conjuntos de datos de mortalidad poseen características

particulares, debido a la poca frecuencia de defunciones en los períodos de estudio, al analizar esta variable.

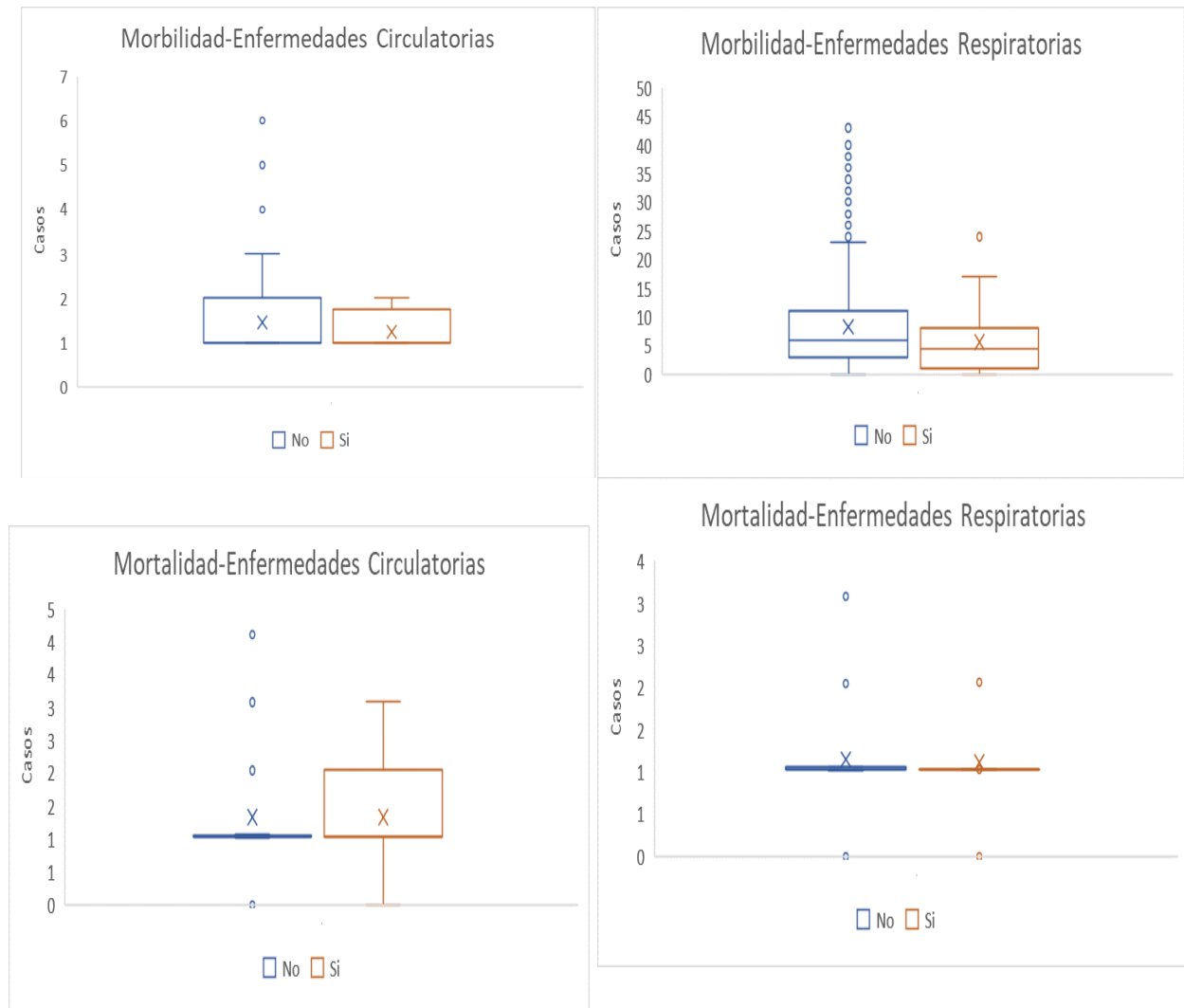


Figura 19. Cuartiles para los conjuntos de si y no de los casos de enfermedad, Bello 2017-2019

Se puntualiza que los días atípicos en todos los conjuntos de datos correspondieron a las fechas, ver tabla 15, donde se presentaron las frecuencias absolutas mayores de eventos. En toda la información analizada, se observó una tendencia variable en las fechas en estos casos atípicos, dándose estos durante todo el año del tiempo de estudio. Ver tabla 15.

Tabla 15. Días atípicos de los conjuntos de datos de morbilidad y mortalidad, Bello 2017-2019.

Dias atipicos				
Estacion	Fecha	No	Fecha	Si
	10/04/2017	4		
Morb.Circulatorias	15/09/2017	5		
	13/12/2017	6		
	17/02/2017	24	09/02/2017	24
	15/03/2017	26		
	21/03/2017	28		
	09/05/2017	30		
Morb.Respiratoria	29/03/2017	32		
	23/03/2017	34		
	31/05/2017	36		
	04/05/2017	38		
	20/06/2017	40		
	02/05/2017	43		
	12/03/2017	3		
Mort. Circulatorias	23/03/2017	2		
	01/11/2019	4		
	13/08/2017	2	25/08/2019	2
	04/02/2019	3		

El análisis de los conjuntos de datos de morbilidad y mortalidad, se ejecutó un análisis univariado, teniendo presente las variables de sexo (Hombre-Mujer) y edad (≤ 5 y ≥ 65). Como resultado se encontró mayor cantidad de casos cuando no hay incendios, esto se debe, principalmente, a que existen más días sin incendios que con presencia de incendios durante todo el periodo de estudio.

Además, los datos de morbilidad son mayores en magnitud, así como las enfermedades respiratorias, las cuales representaron la mayor cantidad de casos encontrados en el municipio de Bello. Los datos de mortalidad fueron de una proporción menor, Ver Tabla 16, predominando las defunciones por enfermedades circulatorias con la mayor frecuencia de eventos, el grupo mayores de 65 años, fue el más afectado por la morbilidad y la mortalidad en ambos conjuntos de datos (Si-No incendios). Ver tabla 16

Tabla 16. Días atípicos de los conjuntos de datos de morbilidad y mortalidad Bello 2017- 2019

No incendios-Morbilidad				
Grupo de edad	Evento	Sexo		Total de casos
		Hombre	Mujer	
Menores de 5 años	Enfermedad respiratoria	760	729	1489
	Enfermedad circulatoria	9	3	12
	Total			1501
Mayores de 65 años	Enfermedad respiratoria	663	732	1395
	Enfermedad circulatoria	309	369	678
	Total			2073

Si incendios-Morbilidad				
Grupo de edad	Evento	Sexo		Total de casos
		Hombre	Mujer	
Menores de 5 años	Enfermedad respiratoria	19	21	40
	Enfermedad circulatoria	0	1	1
	Total			41
Mayores de 65 años	Enfermedad respiratoria	16	20	36
	Enfermedad circulatoria	9	10	19
	Total			55

No incendios-Mortalidad				
Grupo de edad	Evento	Sexo		Total de casos- Muertes
		Hombre	Mujer	
Menores de 5 años	Enfermedad respiratoria	3	1	4
	Enfermedad circulatoria	0	1	1
	Total			5
Mayores de 65 años	Enfermedad respiratoria	189	215	404
	Enfermedad circulatoria	370	400	770
	Total			1174

Si incendios-Mortalidad				
Grupo de edad	Evento	Sexo		Total de casos- Muertes
		Hombre	Mujer	
Menores de 5 años	Enfermedad respiratoria	0	0	0
	Enfermedad circulatoria	0	0	0
	Total			0
Mayores de 65 años	Enfermedad respiratoria	11	13	24
	Enfermedad circulatoria	25	16	41
	Total			65

Con respecto a la relación, no se encontró correlación significativa entre el número de casos de morbilidad por enfermedad circulatoria y respiratoria y los días con incendios y los demás factores evaluados, excepto en la relación entre las variables de casos por morbilidad respiratoria y PM_{2.5}, donde se observó un resultado inusualmente alto; sin embargo, se encontró una correlación inversa y significativa entre velocidad del viento y casos en enfermedades respiratorias, lo que indica que a medida que aumenta una de estas dos variables la otra disminuye. Existe una correlación significativa entre PM_{2.5} y precipitación para las enfermedades circulatorias y una correlación entre precipitación y velocidad del viento para el caso de las enfermedades respiratorias.

Para la mortalidad por los dos eventos objeto del estudio se encontró relación significativa entre humedad relativa y PM_{2.5} y entre humedad relativa y velocidad, en el caso de las

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

muerres por causas circulatorias, se encontró de igual manera una correlación inversa significativa entre la dirección y la velocidad del viento en los casos de mortalidad por enfermedades respiratorias. No se identificó de forma confiable mayor significación de correlaciones entre las demás variables analizadas.

Cuando se evaluaron las correlaciones entre la morbilidad y la mortalidad, se observó que no existen diferencias significativas entre las variables, también, se encontraron una serie de correlaciones inversas que, sin embargo, no son estadísticamente significativa según los criterios establecidos para la prueba. Ver Tabla 17.

Tabla 17. Análisis de correlación de los casos de morbilidad y mortalidad con relación a las variables meteorológicas

		Morbilidad-Enfermedades circulatorias						
Si incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.633	1						
Precipitación	0.292	0.016	1					
Humedad relativa	-0.137	-0.172	0.509	1				
Temperatura	0.525	0.194	-0.15	-0.253	1			
Velocidad	-0.067	0.036	0.436	0.355	0.006	1		
Dirección	0.131	0.187	-0.252	-0.774	-0.116	-0.36	1	

		Morbilidad-Enfermedades respiratorias						
Si incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.215	1						
Precipitación	0.52	0.54	1					
Humedad relativa	0.121	0.333	0.261	1				
Temperatura	0.7	0.55	0.66	0.593	1			
Velocidad	-0.012	-0.058	0.024	-0.25	0.182	1		
Dirección	-0.009	-0.016	0.06	-0.023	0.029	-0.494	1	

		Morbilidad-Enfermedades circulatorias						
No incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.082	1						
Precipitación	-0.011	-0.086	1					
Humedad relativa	-0.006	-0.066	0.331	1				
Temperatura	-0.036	0.027	-0.323	-0.815	1			
Velocidad	-0.072	-0.037	0.004	0.011	0.002	1		
Dirección	0.014	0.052	0.04	0.025	-0.051	-0.433	1	

		Morbilidad-Enfermedades respiratorias						
No incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.06	1						
Precipitación	-0.091	-0.102	1					
Humedad relativa	0.016	-0.024	0.386	1				
Temperatura	0.74	0.66	0.63	0.86	1			
Velocidad	0.03	0.23	-0.001	-0.001	0.003	1		
Dirección	-0.041	0.005	0.012	0.02	-0.017	-0.506	1	

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Mortalidad-Enfermedades circulatorias							
	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección
Si in incendios	1						
Casos	1						
PM2.5	0.74	1					
Precipitación	-0.129	0.186	1				
Humedad relativa	0.076	0.085	0.412	1			
Temperatura	0.66	0.84	0.37	0.572	1		
Velocidad	0.248	-0.087	0.196	0.095	0.048	1	
Dirección	-0.307	0.144	-0.082	-0.15	-0.044	-0.438	1

Mortalidad-Enfermedades respiratorias							
	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección
Si incendios	1						
Casos	1						
PM2.5	0.71	1					
Precipitación	-0.102	-0.156	1				
Humedad relativa	0.74	0.39	0.416	1			
Temperatura	0.7	0.86	0.32	0.623	1		
Velocidad	0.157	-0.312	-0.148	0.365	-0.032	1	
Dirección	-0.213	0.495	0.177	0.073	-0.277	-0.393	1

Morbilidad							
	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección
No incendios	1						
Casos	1						
PM2.5	0.52	1					
Precipitación	0.51	0.29	1				
Humedad relativa	0.015	-0.011	0.501	1			
Temperatura	0.62	0.6	0.436	0.794	1		
Velocidad	-0.012	0.024	-0.023	-0.053	0.045	1	
Dirección	-0.01	-0.023	0.007	0.037	-0.033	-0.434	1

Morbilidad							
	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección
No incendios	1						
Casos	1						
PM2.5	0.047	1					
Precipitación	-0.078	-0.077	1				
Humedad relativa	-0.033	-0.014	0.351	1			
Temperatura	0.03	0.01	0.038	0.01	1		
Velocidad	0.06	-0.065	-0.031	-0.021	0.017	1	
Dirección	0.035	0.035	0.09	0.035	-0.057	-0.433	1

Morbilidad							
	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección
Casos	1						
PM2.5	0.152	1					
Precipitación	0.002	-0.038	1				
Humedad relativa	0.019	-0.034	0.344	1			
Temperatura	-0.013	-0.041	-0.343	-0.806	1		
Velocidad	0.022	0.002	0.004	0.012	-0.018	1	
Dirección	0.024	0	-0.009	-0.039	0.043	-0.435	1

Mortalidad							
	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección
Casos	1						
PM2.5	-0.026	1					
Precipitación	-0.009	-0.037	1				
Humedad relativa	0.008	-0.001	0.354	1			
Temperatura	-0.009	-0.026	-0.358	-0.803	1		
Velocidad	-0.016	-0.028	0.014	0.037	-0.023	1	
Dirección	0.012	0.005	-0.043	-0.062	0.07	-0.434	1

Se identificaron algunas correlaciones significativas entre sí y algunas correlaciones inversas igualmente significativas. Con respecto a la confianza en los datos no resulta positiva en todas las correlaciones evaluadas, solo cuando la variable P es menor que 0,05, entonces es un resultado con un margen de error de menos de 95%, por lo que el dato es verídico. Ver tabla 18.

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Tabla 18. Análisis de correlación variable P de los casos morbilidad y mortalidad, Bello 2017-2019

		Morbilidad-Enfermedades circulatorias-P						
Si incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.032	1						
Precipitación	0.211	0.041	1					
Humedad relativa	0.566	0.47	0.022	1				
Temperatura	0.018	0.012	0.528	0.022	1			
Velocidad	0.048	0.88	0.045	0.125	0.042	1		
Dirección	0.078	0.031	0.283	0.01	0.062	0.019	1	

		Morbilidad-Enfermedades respiratorias-P						
Si incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.043	1						
Precipitación	0.656	0.028	1					
Humedad relativa	0.029	0.003	0.023	1				
Temperatura	0.047	0.024	0.019	0.01	1			
Velocidad	0.19	0.021	0.835	0.029	0.115	1		
Dirección	0.371	0.889	0.604	0.845	0.8	0.01	1	

		Morbilidad-Enfermedades circulatorias-P						
No incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.032	1						
Precipitación	0.777	0.025	1					
Humedad relativa	0.867	0.088	0.01	1				
Temperatura	0.035	0.048	0.01	0.01	1			
Velocidad	0.061	0.031	0.92	0.776	0.962	1		
Dirección	0.711	0.018	0.03	0.524	0.012	0.01	1	

		Morbilidad-Enfermedades respiratorias-P						
No incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.01	1						
Precipitación	0.01	0.01	1					
Humedad relativa	0.381	0.205	0.01	1				
Temperatura	0.045	0.01	0.02	0.01	1			
Velocidad	0.11	0.22	0.964	0.951	0.852	1		
Dirección	0.027	0.802	0.029	0.029	0.034	0.01	1	

		Mortalidad-Enfermedades circulatorias						
Si incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.031	1						
Precipitación	0.023	0.045	1					
Humedad relativa	0.639	0.047	0.007	1				
Temperatura	0.022	0.042	0.017	0.01	1			
Velocidad	0.117	0.589	0.021	0.055	0.764	1		
Dirección	0.051	0.369	0.61	0.351	0.783	0.004	1	

		Mortalidad-Enfermedades respiratorias						
Si incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.02	1						
Precipitación	0.634	0.45	1					
Humedad relativa	0.032	0.516	0.043	1				
Temperatura	0.019	0.035	0.048	0.001	1			
Velocidad	0.463	0.137	0.49	0.08	0.88	1		
Dirección	0.318	0.014	0.409	0.733	0.19	0.058	1	

		Mortalidad-Enfermedades circulatorias						
No incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.013	1						
Precipitación	0.767	0.041	1					
Humedad relativa	0.011	0.76	0.01	1				
Temperatura	0.019	0.044	0.01	0.01	1			
Velocidad	0.735	0.014	0.017	0.138	0.207	1		
Dirección	0.783	0.522	0.852	0.299	0.365	0.01	1	

		Mortalidad-Enfermedades respiratorias						
No incendios	Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección	
Casos	1							
PM2.5	0.048	1						
Precipitación	0.018	0.013	1					
Humedad relativa	0.571	0.81	0.01	1				
Temperatura	0.033	0.045	0.01	0.01	1			
Velocidad	0.226	0.19	0.59	0.714	0.773	1		
Dirección	0.482	0.484	0.119	0.542	0.329	0.01	1	

Para el análisis bivariado, el test Kruskal-Wallis, como alternativa no paramétrica, (Que permite establecer si las medianas de los grupos son diferentes o no. Cuando el resultado P es mayor de 0,05), se puede afirmar que las medianas de la población son iguales (hipótesis nula), caso contrario cuando el resultado es menor de 0,05, donde la hipótesis nula se puede descartar y definir que las medias son diferentes; es decir, que la hipótesis alternativa se afianza.

En este caso, se observó que, en lo referente a la variable de caso de la morbilidad circulatoria y respiratoria, el resultado fue de 0,038 y 0,032 respectivamente, esto puede significar que hay una diferencia entre los casos, los días con incendios y sin incendios; sin embargo, es importante reconocer que estos resultados pueden verse afectados por la gran diferencia de datos, entre las dos variables de los días con incendios y sin incendios. Por otro lado, en la morbilidad por ambas patologías se encontró un valor P de 0,021 y 0,001 y la mediana en ambos casos fue mayor en los días sin incendios. Ver Tabla 19

Para las demás variables en la morbilidad por enfermedades circulatoria, también se encontró una diferencia significativa en la variable de temperatura con un valor P de 0,024, y para morbilidad por las enfermedades respiratorias las principales diferencias entre las medias se dieron en precipitación, humedad relativa y en temperatura. Las demás variables presentan valores de P por encima de 0,05, por lo que no es posible descartar la hipótesis nula. Ver Tabla 19.

En cuanto a los casos de mortalidad por enfermedades circulatorias, el valor P fue de 0,048 diferencia significativa de las variables, también se observó un valor por debajo de los 0,05 en la variable de $PM_{2.5}$ (0,022) y en la humedad relativa (0,039). En referencia a los casos de mortalidad por enfermedades respiratorias, el valor P constituía un resultado de 0,037, siendo esta la única variable donde es posible afirmar la hipótesis alternativa; sin embargo, igual que en el anterior caso esto se puede dar por la diferencia en las cantidades de los datos disponibles en los días sin incendios y con incendios. Ver Tabla 19.

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Tabla 19. Análisis bivariado de los casos morbilidad y mortalidad, Bello 2017- 2019

		Morbilidad-Enfermedad Circulatoria						
Variables		Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección
Día de incendios								
No	Total de casos	678						
	Media	1.45	19.74	3.81	69.49	21.07	1.28	137.19
	D.E	0.74	5.78	6.75	6.53	1.21	0.48	65.11
Si	Total de casos	20						
	Media	1.25	21.96	0.89	63.92	21.95	1.17	151.62
	D.E	0.44	6.56	1.69	4.23	1.03	0.46	74.11
Valor p ANOVA K-W		0.038	0.021	0.648	0.231	0.024	0.422	0.499

		Morbilidad-Enfermedad Respiratoria						
Variables		Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección
Día de incendios								
No	Total de casos	2.884						
	Media	8.24	18.94	4.89	69.58	21.08	1.30	144.50
	D.E	7.34	6.40	8.78	6.67	1.21	0.49	66.73
Si	Total de casos	76						
	Media	7.51	21.55	0.54	61.24	22.23	1.30	144.50
	D.E	7.29	8.02	1.09	6.40	1.23	0.52	67
Valor p ANOVA K-W		0.032	0.001	0.001	0.003	0.00	0.408	0.495

		Mortalidad-Enfermedad Respiratoria						
Variables		Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección
Día de incendios								
No	Total de casos	408						
	Media	1.15	17.37	2.77	69.63	21.42	1.28	141.72
	D.E	0.36	7.44	5.24	6.60	1.23	0.48	71.48
Si	Total de casos	24						
	Media	1.16	16.63	0.63	59.52	22.56	1.22	141.72
	D.E	0.35	7.60	1.06	8.03	0.96	0.45	71.48
Valor p ANOVA K-W		0.037	0.244	0.497	0.103	0.093	0.484	0.402

		Mortalidad-Enfermedad Circulatoria						
Variables		Casos	PM2.5	Precipitación	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad	Dirección
Día de incendios								
No	Total de casos	771						
	Media	1.34	17.81	3.71	70.84	20.92	1.28	137.19
	D.E	0.61	7.12	4.85	5.65	1.15	0.48	65.11
Si	Total de casos	41						
	Media	1.36	18.53	0.87	58.31	22.65	1.28	137.19
	D.E	0.53	7.57	2.29	7.48	0.86	0.48	65.11
Valor p ANOVA K-W		0.048	0.022	0.416	0.039	0.418	0.414	0.414

Discusión

Esta investigación contiene un primer acercamiento a la probable conclusión que relaciona la incidencia de incendios forestales en el Valle de Aburrá con las altas concentraciones de $PM_{2.5}$ y la concurrencia de morbilidad y mortalidad por enfermedades respiratorias y circulatorias en poblaciones vulnerables. Existen variados estudios a nivel mundial y regional que evidencian el efecto negativo en la salud y el medio ambiente que representa la mala calidad del aire; sin embargo, son pocos aquellos que buscan correlacionar posibles causas y efectos sobre estos fenómenos contaminantes en la región de América Latina y a nivel nacional, en un estudio realizado a nivel regional, se encontró que la mayoría de las investigaciones previas sobre los efectos en la salud de la población de la exposición a incendios forestales se realizaron en los Estados Unidos 11-13 y Australia, realizando una búsqueda de literatura, los investigadores solo encontraron unos cuantos estudios la mayoría de ellos enfocados en Brasil y únicamente en la región amazónica (28).

A la fecha existe una cantidad limitada de investigación que evalué los efectos de los incendios en la calidad de aire a nivel nacional, y respecto al territorio del Valle de Aburrá, que presenta características que pueden agravar esta situación, se encuentra en proceso de análisis por el Grupo de Investigación de Salud y Ambiente de la Facultad Nacional de Salud Pública, el único estudio enfocado en este tema (20).

El Valle de Aburrá cuenta con características especiales que define la región como una cuenca atmosférica, debido a las características topográficas y climatológicas, por lo cual se comparte el mismo suministro de aire en toda su extensión. La condición geográfica del valle impide la circulación horizontal del aire y las características altamente cambiantes de la meteorología y la climatología; además, de la afluencia potencial de contaminantes, lo que produce el deterioro de la calidad del aire de forma persistente, principalmente durante los cambios entre temporadas de lluvia, los meses de marzo y noviembre (31) (32).

Durante el periodo de análisis se observaron las mayores concentraciones de $PM_{2.5}$ en las épocas de marzo y noviembre, estas se relacionan con el cambio de temporadas

climáticas y presentan condiciones que favorecen a una atmósfera estable en el Valle de Aburrá, incrementando las concentraciones de los contaminantes, durante estos periodos de tiempo (32). Durante el periodo de 2017-2019, se presentaron algunos días de excedencia a la norma nacional del PM_{2.5}.

Para la recolección de los datos de PM_{2.5} del municipio de Bello, se hizo uso de la estación de monitoreo principal del SIATA ubicada en la zona de estudio, siendo las redes de monitoreo la principal herramienta para la ejecución de las investigaciones a nivel mundial para los datos de contaminación de aire (37); sin embargo, esto se vió limitado por la cantidad mínima de datos buscados en un periodo de análisis mayor al analizado, la estación BEL-FEVE solo presentaba datos desde el 2017. Con el propósito de realizar una comparación más completa se hizo uso de las nubes del programa de ciudadanos científicos del SIATA, pero, al ser estos sistemas de medición de bajo costo, no son datos totalmente confiables.

Existe un conocimiento generalizado de los incendios como potencial causa de concentraciones de contaminantes, PM_{2.5} particularmente; los resultados del estudio refuerzan la hipótesis de encontrar una factible correlación respaldada por los resultados analíticos. Estos hallazgos coinciden con los estudios realizados a nivel regional, la investigación titulada “ Impactos en la salud de la contaminación del aire relacionada con los incendios forestales en Brasil “, concluyó que los incendios forestales causan muchos impactos ambientales, entre estos la contaminación del aire, debido a la emisión de n cantidades sustanciales de contaminantes del aire que pueden viajar grandes distancias, afectando la calidad del aire y la salud humana lejos de los incendios que los originaron, siendo el material particulado fino (PM_{2.5}), el principal contaminante emitido por los incendios forestales (28)

Con respecto a los resultados de la variable de Los días de incendios, los cuales se obtuvieron de fuentes estatales y gubernamentales, la metodología empleada por estas entidades para la identificación de los incendios se basó en el uso de sensores de calor en satélites. Los diferentes estudios dirigidos a examinar estos incendios han utilizados una variedad de herramientas, siendo el uso de los datos de satélites uno de los principales; algunos estudios han empleado la información sobre los días con advección

de partículas de incendio con este fin (22). Otros autores han empleado la información proporcionada por las redes de vigilancia contaminación atmosférica, como el estudio llevado a cabo por una serie de investigadores australianos, sobre la población de Sídney, donde se definieron los días de incendio como aquellos en los que los niveles de partículas superaban el percentil 99 de las series, comprobando posteriormente los registros de incendios e intrusiones de polvo del desierto (56).

Se sabe que los incendios forestales causan una carga ecológica y económica sustancial, y los costos económicos pueden subestimarse porque no tienen en cuenta el impacto potencialmente grave de la contaminación del aire por los incendios forestales en la salud humana (37). Los efectos sobre la salud de los incendios forestales no se conocen completamente; pese a esto, existen variadas investigaciones que correlacionan el efecto del humo de los incendios o del material particulado y demás contaminantes sobre la morbilidad y la mortalidad de las poblaciones.

Por ejemplo, una investigación concluye que existe una asociación positiva entre la exposición al humo de los incendios forestales o al material particulado de los incendios forestales ($PM_{2.5}$) y todas las causas de mortalidad y morbilidad respiratoria, que incluye asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), bronquitis y neumonía (51). Otro estudio encontró una relación significativa entre $PM_{2.5}$ de incendios forestales y hospitalizaciones respiratorias y visitas a urgencias, siendo el asma uno de los efectos más consistente (55).

En este estudio, se pudo identificar una posible asociación entre los días de incendios y la morbilidad y mortalidad por enfermedades respiratorias y circulatorias en el municipio de Bello. En una investigación, se detectaron mayores casos de morbilidad por patologías respiratorias, pero los efectos cardiovasculares se originaron principalmente en los mayores de 64 años; aunque, los efectos respiratorios son superiores en las personas mayores corresponde una alta cantidad de morbilidad a niños menores de 5 años (24).

Estos resultados presentan semejanzas con las encontradas durante la investigación, viéndose la mayor mortalidad en personas mayores en días con incendios. Es importante destacar, que también se encontró en casi todos los casos, excepto, en mortalidad por enfermedades circulatorias, una correlación entre los casos de los días con incendios y

las concentraciones de PM_{2.5}, haciendo énfasis en las investigaciones que han analizado la relación de estos factores.

Las variables meteorológicas, también se han utilizado para el análisis estadístico en busca de una correlación entre los diferentes factores en este estudio, inclusive se ha sugerido que esta información puede confundir el impacto de la contaminación del aire en la salud (51). En este caso se utilizaron variables como dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y precipitación, las correlaciones encontradas entre estos factores fueron pocas.

Algunas conclusiones de los diferentes estudios investigados para la ejecución de este trabajo de grado encuentran una correlación posible entre la contaminación del aire y las condiciones en salud de la población, con las incidencias de incendios forestales (21) (37) (76) (77). Esta investigación en particular genera información sobre una probable y factible relación entre estas variables de forma individual; pero, teniendo presente las diferentes limitaciones que se dieron durante todo el proceso de análisis de los datos y estadístico, principalmente la pequeña población de datos utilizados, por la cantidad de datos confiable disponibles, se pudo generar un sesgo en los resultados obtenidos.

Por ejemplo, el uso de las diferentes metodologías en la recolección de los datos de incendios, solicitados a las diferentes entidades responsables de esta información, dificultó su posterior análisis y requirió establecer parámetros comunes entre toda la información recolectada. Igualmente, la limitación existente en la cantidad de datos confiables identificados en la única estación meteorológica del municipio de Bello, así como, la sustancial diferencia entre la cantidad de datos de los días con incendios y sin pudo generar diferencias estadísticamente significativas en la información. Fueron pocos los datos encontrados para el periodo de tiempo analizado, siendo la mortalidad el de mayor incertidumbre en el resultado.

Aunque la relación entre incendios forestales y PM_{2.5} e incendios forestales y condiciones de salud, podrían generar resultados más contundentes con un análisis a largo plazo y una mayor cantidad de datos disponibles, los resultados ayudan a comprender la complejidad de las interacciones ambientales, y humanas, basado principalmente en el comportamiento diario de la contaminación del aire por causa de otros factores externos

(incendios) y los efectos negativos sobre la población vulnerable urbana, siendo esto un tema poco tratado y explorado en la región, pese a su importancia.

Los resultados de la investigación proporcionan una base exploratoria positiva, los incendios forestales están significativamente asociados con un mayor riesgo de problemas por patologías cardiorrespiratorias y relacionada con la contaminación del aire. La falta de conocimiento puede generar problemas para tratar temas de planificación urbana que ayuden enfrentar estos desafíos, por esto algunas recomendaciones de esta investigación incluyen la necesidad de justificar la realización de mayores estudios con el fin de responder interrogantes que pueden ser abordados con estudios futuros. Algunos autores afirman que este tipo de estudio puede preparar mejor a los expertos en salud y científicos ambientales al respaldar las predicciones del modelo y las políticas públicas de acuerdo con los diferentes niveles de regiones propensas a incendios (26) (28).

Dependiendo del nivel de riesgo y la época del año, se podría pensar en establecer un sistema de información más fiable, que permita generar datos reales y evitar o minimizar el riesgo del evento primario (incendio) y alerta a la población de las posibles medidas a tomar para evitar efectos secundarios por un tiempo de exposición peligroso

También se podría indagar con un enfoque multivariado, integral y factibles aquellos aspectos sociales, que pueden influir a una mayor propagación de incendios y a una posible exposición superior de ciertas poblaciones al humo de los incendios o las altas concentraciones de contaminantes que estos pueden generar.

Conclusiones

1. El análisis de los datos ejecutado para este estudio encontró que la cantidad y el tiempo de duración de los incendios en el Valle de Aburrá fue considerablemente más alta en las temporadas más secas, aunque la mayoría de los incendios no duraron más de un día. Sin embargo, los múltiples efectos negativos de los incendios forestales son una preocupación constante para el medio ambiente y la salud de las comunidades, es importante, entonces, tener un mayor conocimiento sobre las causas y consecuencias de los incendios forestales en el territorio.
2. Los resultados de este estudio sugieren la probabilidad de que exista una relación entre la incidencia de incendios en el Valle de Aburrá y las altas concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en el municipio de Bello. De ahí que, tener en cuenta las características geográficas del territorio y las variables meteorológicas que se pueden presentar durante ciertos periodos del año, es fundamental para comprender el fenómeno de las concentraciones de contaminantes por estas causas, pues estas son condiciones que determinan la forma en que este proceso se da en el territorio y, por consiguiente, cuáles pueden ser las posibles consecuencias de esto.
3. La incidencia de incendios en el Valle de Aburrá es un fenómeno constante y un factor de riesgo para la salud de la población que habita el territorio, esto se ve reflejado en los resultados del análisis de morbilidad y mortalidad de las enfermedades respiratorias y circulatorias registradas en el municipio de Bello, donde se puede observar una probable relación entre estos casos y los incendios forestales, ya sea por causas directas de estos (humo de incendios), o por la concentración de contaminantes ($PM_{2.5}$) que son generados por los incendios. Como un acercamiento exploratorio al tema, este estudio identificó cuáles poblaciones pueden ser más vulnerables a los efectos de estos fenómenos (+65) y cuáles factores externos presentan una relación causal en el proceso.

Referencias

1. Área Metropolitana del Valle de Aburra. ¿QUIÉNES SOMOS? Esquema asociativo territorial que impulsa el desarrollo autónomo y sostenible del Valle de Aburrá [Internet]. Área Metropolitana Valle de Aburra. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/area/Paginas/somos/quienes-somos.aspx>
2. Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres. Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. 2015. Disponible en: <http://intranet.bello.gov.co:8081/intranet/start/sig/procesos/estrategicos/direccionamiento%20estrategico/registros/administracion%20Central/planes/Gestion%20del%20Riesgo/plan%20municipal%20del%20gestion%20del%20riesgo.pdf>
3. Instituto Nacional de Salud Pública México. Contaminación ambiental y sus efectos sobre la salud [Internet]. Instituto Nacional de Salud Pública; 2010. Disponible en: https://www.insp.mx/images/stories/INSP/Docs/cts/101208_cs1.pdf
4. Gobierno de Chile. Conceptos de calidad del aire [Internet]. Ministerio de Medio Ambiente. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: <https://ppda.mma.gob.cl/conceptos-de-calidad-del-aire/>
5. García–Reynoso JA, Grutter M, Cintora–Juárez D. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR CONTAMINANTES CRITERIO Y FORMALDEHÍDO EN LA CIUDAD DE MÉXICO. Revista internacional de contaminación ambiental [Internet]. 2007; Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992007000400002#:~:text=Los%20contaminantes%20criterio%20son%20sustancias,ozono%20son%20los%20contaminantes%20criterio.
6. Ministerio de Salud y Protección Social. Enfermedades cardiovasculares [Internet]. Minisalud. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PENT/Paginas/enfermedades-cardiovasculares.aspx#:~:text=>
7. Ministerio de Salud Argentina. Enfermedades respiratorias crónicas [Internet]. Argentina. Gob. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/salud/glosario/enfermedades-respiratorias-cronicas>

8. Alcaldía de Medellín. Acciones para enfrentar el episodio crítico de contaminación atmosférica en Medellín y el Valle de Aburrá [Internet]. Medellín.gov. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/acciones-para-enfrentar-el-episodio-critico-de-contaminacion-atmosferica-en-medellin-y-el-valle-de-aburra/>
9. Ministerio de Educación España. ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA [Internet]. Gobierno de España. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: https://fjferre.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion03/parte_2_estabilidad_atmosfrica.html
10. Ministerio de Educación España. ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA [Internet]. Gobierno de España. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: https://fjferre.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion03/parte_2_estabilidad_atmosfrica.html
11. Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Medialuna Roja. Incendios forestales [Internet]. IRFC. [citado 2023]. Disponible en: <https://www.ifrc.org/es/nuestro-trabajo/desastres-clima-y-crisis/que-es-desastre/incendios-forestales#:~:text>
12. IDEAM. Viento [Internet]. Disponible en: http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/ATLAS/documentos/Marco%20Conceptual_%20Viento.pdf
13. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés) [Internet]. EPA. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
14. Real Academia Española. Diccionario histórico de la lengua española [Internet]. RAE. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: <https://www.rae.es/dhle/morbilidad>
15. Bonita R, Beaglehole R, Kjellström T. Epidemiología básica [Internet]. Organización Panamericana de la Salud; 2008. Disponible en: <file:///C:/Users/acastrillong/Downloads/Epidemiologia%20basica.pdf>
16. Área Metropolitana del Valle de Aburra. ¿QUÉ ES? SIATA [Internet]. Área Metropolitana Valle de Aburra. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/siata/Paginas/que-es.aspx#>

17. Organización Mundial de la Salud. Contaminación del aire ambiente (exterior) [Internet]. WHO. World Health Organization. 2021 [citado el 7 de 2022]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire%20representa,agudas%2C%20entre%20ellas%20el%20asma.](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire%20representa,agudas%2C%20entre%20ellas%20el%20asma.)
18. Health Effects Institute, Institute for Health Metrics and Evaluation. The State of Global Air. Special report [Internet]. 2019. Disponible en: <https://www.stateofglobalair.org/>
19. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Calidad del aire [Internet]. IDEAM. [citado el 7 de 2022]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire.>
20. Rivera LMC. Efecto de los Incendios forestales sobre la calidad del aire en dos ciudades colombianas [Internet]. [Bogota D.C]: Universidad Nacional de Colombia; 2015. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57067/52086917.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
21. Cruz-Nuñez X, Bulnes-Aquino E. Emission impact of wildfires: El Tepozteco 2016. *Atmosfera*. 2019;85–93.
22. Barberá Riera M. Exposición al humo de incendios forestales y mortalidad en Valencia [Internet]. [Castelló, España]: Universitat Jaume I; 2017. Disponible en: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/440526/2017_Tesis_Barbera%20Riera_Maria.pdf?sequence=5.xml
23. Agencia Europea de Medio Ambiente. Zonas urbanas en riesgo de incendio forestal [Internet]. eea. europa. 2022 [citado el 8 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/forest-fire-risk-affecting-urban-areas>
24. Analitis A, Georgidis I, Katsouyann K. Forest fires are associated with elevated mortality. *Occup Environ Med*. 2012;158–62.
25. Delfino RJ, Brummel S, Wu J, Stern H, Ostro B, Lipsett M, et al. The relationship of respiratory and cardiovascular hospital admissions to the southern California wildfires of 2003. *Occup Environ Med*. 2009;189–97.

26. Organización Panamericana de la Salud. Contaminación del aire ambiental [Internet]. OPS/OMS. [citado el 8 de septiembre de 2022]. Disponible en: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12
27. CEPAL. El desafío de la sostenibilidad ambiental en América Latina y el Caribe [Internet]. 2015. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37791/LCM23_es.pdf
28. Requia WJ, Amini H, Mukherjee R, R Gold D, Schwartz JD. Health impacts of wildfire-related air pollution in Brazil: a nationwide study of more than 2 million hospital admissions between 2008 and 2018. Nature Communications [Internet]. 2021; Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34772927/>
29. Yanis K PG. Incidencia de los incendios forestales sobre la calidad de aire en la ciudad de Bogotá. [Bogotá D.C]: Universidad de los Andes; 2017.
30. Instituto Nacional de Salud. Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia [Internet]. 2018. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18220/u754360.pdf?sequ>
31. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Condiciones especiales del Valle de Aburrá [Internet]. Metropol. [citado el 15 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambientales/calidad-del-aire/generalidades/condiciones-especiales>
32. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Principales contaminantes del aire [Internet]. Metropol. [citado el 15 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/Principales-contaminantes.aspx>
33. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del Valle de Aburrá [Internet]. 2016. Disponible en: https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Re-analisis/ContaminacionAtmosferica_y_sus_Efectos_en_la_Salud-AMVA_2019.pdf
34. Global Forest Watch. Monitoreo de bosques diseñado para la acción [Internet]. globalforestwatch. 2014 [citado el 22 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.globalforestwatch.org/>

35. Unidad Nacional para la gestión del riesgo de desastres. Gestión del Riesgo [Internet]. Gestión del Riesgo. 2015 [citado el 22 de julio de 2022]. Disponible en: <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>
36. Medellín como vamos. Informe de Calidad de Vida de Medellín, 2020 [Internet]. 2020. Disponible en: <https://www.medellincomovamos.org/system/files/2021-12/docuprivados/MCV%20ILB%20Metro%202020%20final.pdf>
37. Liu J, Wilson A, Mickley LJ, Dominici F, Ebisu K, Wang Y, et al. Wildfire-specific Fine Particulate Matter and Risk of Hospital Admissions in Urban and Rural Counties. *Epidemiology*. 2016;77–85.
38. Organización Panamericana de la Salud. Contaminación del aire ambiental [Internet]. OPS/OMS. 2017 [citado el 7 de 2022]. Disponible en: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=129
39. Descriptores en ciencias de la salud. Contaminación del aire [Internet]. Decs. 2020 [citado el 7 de invierno de 2022]. Disponible en: <https://decs2020.bvsalud.org/cgi-bin/wxis1660.exe/decsserver/>
40. Romero Placeres M, Olite F, Álvarez Toste M. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 2006
41. Ministerio de Medio ambiente. Gobierno de Chile. Calidad del aire y educación ambiental [Internet]. 2018. Disponible en: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>
42. Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible. Contaminación Atmosférica [Internet]. Minambiente. 2022 [citado el 8 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/>
43. Área Metropolitana Valle de Aburra. Como se contamina el aire [Internet]. Metropol. 2019 [citado el 20 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/Como-se-contamina-el-aire.aspx>
44. Área Metropolitana. Clasificación Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire [Internet]. 2014. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del->

[aire/Biblioteca-aire/Estudios-calidad-del-aire/Informe-caracterizacion-estaciones-2014.pdf](#)

45. Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá. Aire [Internet]. SIATA. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/aire#:~:text
46. Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá. Calidad del Aire [Internet]. SIATA. [citado el 8 de primavera de 2023]. Disponible en: https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/calidad_aire.
47. Área Metropolitana del Valle de Aburra. Monitoreo de la calidad del aire a partir de Sensores de bajo costo [Internet]. AMVA; Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Estudios-calidad-del-aire/Sensores-Bajo-Costo-Calidad-del-Aire.pdf>
48. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Contaminación atmosférica [Internet]. IDEAM. 2016 [citado el 8 de junio de 2022]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica>
49. Unidad Nacional de Gestión del Riesgos de Desastres. Incendios de cobertura Vegetal [Internet]. 2019. Disponible en: https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28309/Cartilla_Incendios_2019-.pdf?sequence=4
50. Wayne E C. Wildland Fire Smoke and Human Health. Sci Medio ambiente total. 2019;586–95.
51. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo sostenible. Diagnostico Nacional de Salud Ambiental [Internet]. 2012. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf>
52. Lucia Woo SH, Coco Liu J, Yue X, J Mickley L, Bell ML. Air pollution from wildfires and human health vulnerability in Alaskan communities under climate change. Environ Res Lett [Internet]. 2018; Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab9270/pdf>

53. Felipe Brito V. Efectos sobre la salud humana de la exposición al aire contaminado por partículas PM 10 Y PM 2.5 [Internet]. [España]: Universidad de la Laguna; 2022. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/28336/Efectos%20sobre%20la%20salud%20humana%20de%20la%20exposicion%20al%20aire%20contaminado%20por%20particulas%20PM10%20y%20PM2%2C5.pdf?sequence>
54. Liu JC, Pereira G, Uhl SA, Bravo MA, Bell ML. A systematic review of the physical health impacts from non-occupational exposure to wildfire smoke. *Environ Res.* 2015;120–32.
55. Reid CE, Jerrett M, Tager IB, Petersen ML, Mann JK, Balmes JR. Differential respiratory health effects from the 2008 northern California wildfires: A spatiotemporal approach. *Environ Res.* 2016;227–35.
56. Colleen E. Reid, Michael Brauer, Fay H. Johnston, Michael Jerrett, John R. Balmes, and Catherine T. Elliott. Critical Review of Health Impacts of Wildfire Smoke Exposure. *Environmental Health Perspectives.* 2016;334–43.
57. Alcaldía de Medellín. Aire en el Valle de Aburra [Internet]. Medellín. 2022 [citado el 13 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/es/secretaria-medio-ambiente/calidad-del-aire/aire-en-el-valle-de-aburra/>
58. Área Metropolitana del Valle de Aburra. Escenario de riesgos metropolitanos en el Valle de Aburra por incendios de cobertura vegetal [Internet]. 2017. Disponible en: http://www.redriesgos.gov.co/wp-content/uploads/2018/04/1.EscenarioMetropolitano_PorincendiosCV.pdf
59. Castrillón JU. Potencial Incidencia de los Aerosoles Generados por Quemas de Vegetación Sobre la Calidad del Aire [Internet]. [Medellín]: Universidad Nacional de Colombia; 2021. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/80582/1017150254.2021.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
60. IDEAM. Guía de Usuario Sistema Nacional de información Forestal-SNIF [Internet]. 2020. Disponible en: <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/104794994/M-GCI-E->

G012+GU%C3%8DA+DE+USUARIO+SNIF+ROLES+ENTIDAD%2C+ICA%2C+INCENDIO AS+v1.pdf

61. Ministerio de Ambiente. Sistema Nacional de Información Forestal [Internet]. Sistema de Información Ambiental de Colombia. [citado el 2 de verano de 2023]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/snif>
62. Gomáriz Gayá C. Estudio de sostenibilidad [Internet]. [España]: Universidad Politecnica de Catalunya; 2015. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79305/Trabajo%20Final%20de%20Grado%20-%20Carlos%20Gom%C3%A1riz%20Gay%C3%A1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
63. Laboratorio de Ambientes Sostenibles de la Facultad de Arquitectura y Artes, editor. Ambientalmente [Internet]. Universidad Piloto de Colombia; 2015. Disponible en: <https://www.unipiloto.edu.co/descargas/Ambientalmente2.pdf>
64. Platas García V. Contrastes de normalidad [Internet]. [España]: Universidad de Santiago de Compostela; 2021. Disponible en: https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/28978/Platas_Garc%C3%ADa_V%C3%ADctor.pdf?sequence=1
65. Flores Tapia CE, Flores Cevallos KL. Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos. Societas Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas [Internet]. 2021; Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/3412237018.pdf>
66. Goss-Sampson M. Análisis estadístico con JASP: Una guía para estudiantes [Internet]. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya; 2018. Disponible en: <https://femrecerca.cat/meneses/publication/analisis-estadistico-jasp/analisis-estadistico-jasp.pdf>
67. Aragón Salgado LG. Estadística En El Área De Las Ciencias Sociales Y Administrativas. Alfaomega; 2016.
68. Lahura E. El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas [Internet]. 2003. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/6445817.pdf>
69. Departamento de economía general y estadística unidad docente de estadística y econometría. Correlación. http://imsturex.unex.es/pagina_tgii/correlacion.pdf; 2004.

70. Núñez-Colín CA. Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla. 2018;69–79.
- 71.71. QGIS Project. QGIS 3.10 User Guide [Internet]. 2020. Disponible en: <https://docs.qgis.org/3.10/pdf/es/QGIS-3.10-UserGuide-es.pdf>
- 72.72. Jesse L, Cristiane L, Michael A. WRPLOT View User Guide [Internet]. 2016. Disponible en: https://www.weblakes.com/products/wrplot/resources/lakes_wrplot_view_user_guide.pdf
- 73.73. Rivadeneira JL, De La Hoz Suárez AI, Barrera Argüello MV. Análisis general del spss y su utilidad en la estadística [Internet]. 2020. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/288306071.pdf>
74. Área Metropolitana Valle de Aburra. Atlas Área Metropolitana del Valle de Aburra [Internet]. 2010. Disponible en: https://www.metropol.gov.co/planeacion/Documents/Atlas_Metropolitano.pdf
75. Ministerio de Ambiente. Sistema Nacional de Información Forestal [Internet]. Sistema de Información Ambiental de Colombia. [citado el 2 de verano de 2023]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/snif>
76. Marin VU. Contaminación atmosférica en el Valle de Aburra en el año 2020 [Internet]. [Manizales]: Universidad de Caldas; 2021. Disponible en: <https://repositorio.ucaldas.edu.co/bitstream/handle/ucaldas/16728/Trabajo%20de%20grado-%20contaminaci%C3%B3n%20atmosferica%20Valle%20de%20Aburr%C3%A1.pdf?sequence=1>
77. ONU. Programa para el Medio Ambiente. La regulación de la calidad del aire [Internet]. 2022. Disponible en: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36692/GAAPL_ES_SP.pdf
78. Organización Panamericana de la Salud. Calidad del aire [Internet]. OPS. 2016 [citado el 10 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
79. Asamblea Nacional Constituyente. Constitución Política 1 de 1991 Asamblea Nacional Constituyente [Internet]. Funcion publica. 1991 [citado el 7 de invierno de 2022].

- Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4125>
80. El Congreso de Colombia. Ley 9 de 1979 [Internet]. 1979. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf
81. Departamento Nacional de Planeación. El Consejo Nacional de Política Económica y Social, CONPES [Internet]. dnp. 2005 [citado el 22 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/CONPES>
82. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por el cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones [Internet]. 2017. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/>
83. Área Metropolitana del Valle de Aburra. Acuerdo Metropolitano No 04 de 2018 [Internet]. 2018. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/POECA/Acuerdo-Metropolitano-04-de-2018-POECA.pdf>
84. Área Metropolitana del Valle de Aburra. Acuerdo Metropolitano 17 [Internet]. 2017. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/acuerdosmetropolitanos/2017/Acuerdo%20Metropolitano%2017.pdf>
85. Área Metropolitana del Valle de Aburra. Acuerdo Metropolitano #8 [Internet]. 2011. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/acuerdosmetropolitanos/2011/ACUERDO008.pdf>
86. Nosed P. Análisis del marco jurídico internacional, regional y sudamericano, para el manejo del fuego en los ecosistemas. Boletín mexicano de derecho comparado. 2011;135–69.
87. Unidad Nacional de Gestión del Riesgos de Desastres. Incendios de cobertura Vegetal [Internet]. 2019. Disponible en: https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28309/Cartilla_Incendios_2019-.pdf?sequence=4
88. Junta Metropolitana del Valle de Aburra. El Consejo Metropolitano para la Gestión del Riesgo de Desastres del Valle de Aburrá (CMGRD-VA) [Internet]. 2017. Disponible

en:

<https://www.metropol.gov.co/acuerdosmetropolitanos/2017/Acuerdo%20Metropolitano%2008.pdf>

89. Liu Y, Austin E, Xiang J, Gould T, Larson T, Seto E. Health Impact Assessment of the 2020 Washington State Wildfire Smoke Episode: Excess Health Burden Attributable to Increased PM_{2.5} Exposures and Potential Exposure Reductions. *Geohealth* [Internet]. 2021; Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8101535/pdf/GH2-5-e2020GH000359.pdf>
90. Ortega Páez E, Ochoa Sangrador C. Estudios ecológicos en Epidemiología. *Evidencias en Pediatría*. 2015;2–5.
91. Altamirano LM. *Epidemiología y estadística en salud pública* [Internet]. Nueva York, NY, Estados Unidos de América: McGraw-Hill; 2012. Disponible en: <https://accessmedicina.mhmedical.com/book.aspx?bookid=1464>
92. El Congreso de la Republica. Ley 1266 de 2008 [Internet]. 2008. Disponible en: <https://www.oas.org/es/sla/ddi/docs/CO%2014%20Ley%201266%20Habeas%20Data.pdf>
93. Organización Mundial de la Salud. Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire [Internet]. 2021. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf>

Anexos

Partículas finas específicas de incendios forestales y riesgo de ingresos hospitalario en condados urbanos y rurales (37)	
Objetivo	Abordar los impactos en la salud del humo de los incendios forestales. Usando un modelo de transporte químico, y hacer atribuciones de origen del PM _{2.5} modelado.
Metodología	Modelo mixto lineal generalizado para estimar el riesgo relativo de ingresos hospitalarios en los días de ola de humo en comparación con los días de comparación emparejados sin humo de incendios forestales.
Población	Ingresos hospitalarios de urgencia por enfermedades cardiovasculares (ECV) y respiratorias en los registros de facturación de 2004–2009 del Estudio de Contaminación del Aire de Cohorte de Medicare (MCAPS), en el Oeste de EE. UU.
Resultado	La exposición a corto plazo al PM _{2.5} específico de los incendios forestales se asoció con el riesgo de enfermedades respiratorias en la población de edad avanzada en el oeste de los EE. UU. durante los días de mucho humo.
Estrategia y términos	Base de datos: PubMed Formula de búsqueda: AND Health
Evaluación del impacto en la salud del episodio de humo de incendios forestales del estado de Washington de 2020: exceso de carga para la salud atribuible al aumento de las exposiciones a PM_{2.5} y las posibles reducciones de la exposición (74).	
Objetivo	Comprender la magnitud y los impactos espaciales desproporcionados del aumento de las concentraciones de PM _{2.5} en la salud de la población atribuible al episodio de humo de incendios forestales de 2020 en Washington, y estimar los beneficios potenciales de las intervenciones

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Metodología	Se consideró las incertidumbres en la relación exposición-respuesta utilizando diferentes enfoques basados en el coeficiente de causa específica (CRF) y la razón de probabilidad (OR)
Población	Población expuesta de cada condado en Washington estimada en 2019 de la Oficina del Censo de EE. UU.
Resultado	Los hallazgos del estudio estiman que hubo un exceso considerable de mortalidad debido a concentraciones elevadas de PM _{2.5} durante el episodio de humo de incendios forestales de 2020 en Washington.
Estrategia y términos	Base de datos: PubMed Formula de búsqueda: Wildfire AND Health
Impactos diferenciales en la salud cardiopulmonar del transporte local y de largo alcance del humo de incendios forestales (75).	
Objetivo	Estimar la morbilidad y mortalidad cardiopulmonar asociadas con las partículas finas (PM _{2.5}) del humo de los incendios forestales (WFS) en Front Range de Colorado entre 2010 y 2015.
Metodología	Se evaluó la asociación entre WFS PM _{2.5} y las hospitalizaciones y la mortalidad de pacientes hospitalizados cardiopulmonares mediante un diseño de estudio cruzado de casos estratificado en el tiempo
Población	Pacientes hospitalizados por eventos cardiopulmonares en la Asociación de Hospitales de Colorado durante el período del 1 de enero de 2010 al 30 de septiembre de 2015
Resultado	La exposición a WFS PM _{2.5} se asoció positivamente con hospitalizaciones por todos los resultados respiratorios combinados, asma, EPOC y bronquitis aguda; y morbilidad cardiovascular.
Estrategia y términos	Base de datos: Google Académico Formula de búsqueda: Cardiopulmonary Health AND Wildfire Smoke

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Impacto de emisiones de incendios forestales: El Tepozteco 2016 (21)	
Objetivo	Se presenta un estudio de caso sobre una quema prescrita para manejo agrícola que se convirtió en incendio forestal en el parque nacional El Tepozteco del 5 al 9 de abril de 2016.
Metodología	Se determinó la trayectoria de los contaminantes emitidos, se simularon trayectorias inversas con el modelo HYSPLIT y el programa VSMOKE
Población	Lo población que habitan San Juan Tlacotenco y Santo Domingo Ocotitlán
Resultado	El incendio forestal ocurrido en el Parque Nacional El Tepozteco del 5 al 9 de abril de 2016 liberó al aire una cantidad considerable de contaminantes tóxicos. En este caso de estudio, muestran que el impacto de las concentraciones de contaminantes en la comunidad fue moderado.
Estrategia y términos	Base de datos: Scielo Formula de búsqueda: Incendios forestales y Emisiones de contaminantes.
Efecto de los Incendios forestales sobre la calidad del aire en dos ciudades colombianas (20)	
Objetivo	Determina el posible efecto que tienen las emisiones producidas por los incendios forestales producidos en el norte de sur América, sobre la calidad del aire de dos ciudades colombianas: Medellín y Bucaramanga y se comparan con los resultados obtenidos para Bogotá.
Metodología	Se tomaron los datos de PM ₁₀ , PM _{2.5} , y CO suministrados por las redes de monitoreo de calidad del aire de las ciudades de estudio y se compararon con la cantidad de incendios forestales, tomados de satélites, producidos en la zona durante el período de análisis.
Muestra	La calidad del aire de las ciudades Medellín, Bucaramanga y Bogotá.

EXPLORACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS, LA SALUD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Resultado	Se mostró que las emisiones producidas por los incendios forestales con fuentes en zonas alejadas de los centros urbanos afectan la calidad de aire de estos en Colombia.
Estrategia y términos	Base de datos: Repositorio Universidad Nacional de Colombia. Formula de búsqueda: Incendios y calidad del aire.

Anexo 1. Estado del arte



10203

Medellín,

Señora
ANA CAROLINA CASTRILLON GONZALEZ
Dirección: No reporta
Teléfono: No reporta
Correo electrónico: anacastrillon234@gmail.com

Asunto: Respuesta a las comunicaciones oficiales recibidas con radicados No.033286 del 08 de septiembre y No. 033734 del 12 de septiembre de 2022.

Respetada Señora Ana Carolina,

En atención a las comunicaciones del asunto mediante las cuales solicita:

“(...) Buenas tardes, deseaba saber si es posible acceder a los datos de los incendios forestales que se hayan dado dentro del Valle de Aburrá dentro del periodo de tiempo que comprende 2015-2019. O en su defecto informarme de a donde me puedo dirigir para averiguar esta información. Es para un trabajo de grado de pregrado y no se donde (sic) encontrar esta información o como la puedo encontrar. Muchas Gracias. (...)”

Esta Entidad se permite manifestar que, a su correo electrónico le serán enviados en formato Excel los siguientes archivos:

- Base de Datos de Incendios ingresados al SNIF (Sistema Nacional de Información Forestal) desde el 01 de enero de 2016 al 02 de septiembre de 2019.
- Base de datos de Incendios reportados por los Cuerpos de Bomberos del Valle de Aburrá del 2019.

En cuanto a los datos solicitados relacionados con los registros de incendios forestales dentro del territorio metropolitano del año 2015, es preciso advertir que no se cuenta con dicha información, ya que la construcción de los protocolos de Evaluación de Impacto



Ambiental se hicieron efectivos a partir del año 2016, donde se tienen consignados los reportes enviados por los Cuerpos de Bomberos y desde allí se priorizó la aplicación de estos según la magnitud del evento.

Cualquier inquietud adicional podrá ser atendida por cualquiera de los canales de atención, correo electrónico atencionausuario@metropol.gov.co o a los teléfonos 604- 3856000 extensiones 127 y 141, Oficina de atención al Usuario, para la entidad siempre será un placer atender todas sus inquietudes, quejas, reclamos o sugerencias. El objetivo es ofrecer a usted y todos los usuarios la mejor atención y calidad en los servicios prestados.

Cordialmente,

CLAUDIA NELLY GARCÍA AGUDELO
Jefe Oficina Asesora Jurídica Ambiental
Firmado el 14/09/2022

SANDRA CAROLINA CORZO ZARATE
Contratista
Firmado el 13/09/2022

JULIANA RUA OROZCO
Contratista
Firmado el 13/09/2022

Revisó

Proyectó

Anexos:

- Base de Datos de Incendios ingresados al SNIF (Sistema Nacional de Información Forestal) desde el 01 de enero de 2016 al 02 de septiembre de 2019.
- Base de datos de Incendios reportados por los Cuerpos de Bomberos del Valle de Aburrá del 2019.

Nota: Esta respuesta se emitió con el apoyo de María Yaneth Rúa García, Profesional Universitario Gestión del Riesgo.

Código SIM: 1392065; 1392570




F-PGI -05, versión: 06
Oficio
Página 1 de 2



CORANTIOQUIA

CORANTIOQUIA - Subdirección de Sostenibilidad y Gestión Territorial Medellín
COMUNICACIONES OFICIALES INTERNAS
ANA CAROLINA CASTRILLON GONZALEZ
Fecha: 30-sep-2022 06:09 PM Pág: 2
Anexos: 1 DOCUMENTO
Archivar en:
Radicado por: Eliana Lizzet Jimenez Torres



160-COI2209-24757
Favor citar este número al responder

Medellín,

Señora
ANA CAROLINA CASTRILLON GONZALEZ
Estudiante
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Email: anacastrillon234@gmail.com.
Medellín, Antioquia

Asunto: Respuesta comunicación con radicado 160-COE2209-31899.

Cordial saludo señora Castrillón,

Mediante comunicación con radicado corporativo 160-COE2209-31899 del 12 de septiembre de 2022, usted le solicita a la Corporación información sobre los incendios forestales ocurridos en el Valle de Aburrá entre los años 2015 y 2020, con datos de ser posible, identifiquen su intensidad, tamaño, duración y ubicación geográfica.

Teniendo en cuenta lo anterior CORANTIOQUIA le informa que, la jurisdicción de la Corporación se circunscribe a las áreas rurales de los 10 municipios del Valle de Aburrá, teniendo esto presente no tenemos información sobre posibles afectaciones en cerros tutelares o espacios públicos del Valle de Aburrá, o en otras áreas al interior de las zonas urbanas.

La Corporación en el último año ha venido emitiendo alertas por deforestación para toda la jurisdicción que corresponde a 80 municipios del departamento de Antioquia,

Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: www.corantioquia.gov.co



SA-CER440982 SC-CER341300

Carrera 65 n.º 44A - 32. Tel: 604 493 88 88 - Ext. 1900
www.corantioquia.gov.co - Municipio: Medellín, Antioquia
Correo electrónico: regionalizacion@corantioquia.gov.co



CORANTIOQUIA

donde solamente tenemos jurisdicción en las áreas rurales del Área Metropolitana, dichas alertas en la mayoría de los casos están asociadas a incendios forestales, mediante correo electrónico fueron compartidas las mismas en formato KMZ y SHP.

La metodología de detección de alertas contempla la utilización del Índice de Calcinación Normalizada también conocido como NBR, es un índice que compara la relación entre la longitud de onda de luz en el infrarrojo cercano y el de onda corta; para determinar la gravedad de la calcinación, para calcular el índice espectral se utilizan imágenes satelitales de Sentinel 2 y Landsat 8 y 9.

Para mayor información puede comunicarse con el funcionario Juan Fernando García (jugarcia@corantioquia.gov.co).

Atentamente,

JENNY MARCELA RUIZ SALDARRIAGA
Subdirectora de Sostenibilidad y Gestión Territorial

Anexo: Copia correo electrónico quemas (PDF)
Copia: No aplica

Respuesta a: 160-COE2209-31899 del 12 de septiembre de 2022
Asignación: SR-22-1308

Elaboró: Juan Fernando García Julio,

Revisó: Jenny Marcela Ruiz Saldarriaga,

Fecha de elaboración: 2022-09-21

Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: www.corantioquia.gov.co



SA-CER440982



SC-CER341300



Carrera 65 n.º 44A - 32. Tel: 604 493 88 88 - Ext. 1900

www.corantioquia.gov.co - Municipio: Medellín, Antioquia

Correo electrónico: regionalizacion@corantioquia.gov.co

Anexo 3. Datos de incendios forestales en el Valle de Aburrá– Corantioquia 2017-2019

Medellín, 26 de septiembre de 2022

Profesor Juan Gabriel Piñeros Jiménez
Coordinador del grupo de investigación Salud y Ambiente.

PRESENTE

Por este medio le envié un cordial saludo, y aprovecho para solicitarle respetuosamente acceso a la información dispuesta por el grupo de investigación de Salud y ambiente correspondiente a las concentraciones de PM 2.5, en el municipio de Bello, obtenidos de torres y estaciones de monitoreo de la calidad de aire ubicado en esta zona, durante los meses de febrero, marzo, abril y los meses de septiembre, octubre y noviembre, desde el año 2015 hasta el 2019.

Sin más que agregar por el momento, le agradezco de antemano la atención prestada a la presente solicitud.

Atentamente,

Ana Carolina Castrillon G.

Ana Carolina Castrillon Gonzalez

CC. 1020488375

Alumno séptimo semestre de Administración en Salud, Énfasis en gestión sanitaria y ambiental

Universidad de Antioquia.

Medellín, 26 de septiembre de 2022

Profesor Juan Gabriel Piñeros Jiménez
Coordinador del grupo de investigación Salud y Ambiente.

PRESENTE

Por este medio le envié un cordial saludo, y aprovecho para solicitarle respetuosamente acceso a la información dispuesta por el grupo de investigación de Salud y ambiente correspondiente a los registros individuales de prestación de servicios (Urgencias) diarios y los registros de mortalidad o defunciones por las patologías que según la Clasificación Internacional de Enfermedades, versión 10 (CIE-10), se definen como enfermedades respiratorias (ICD-10 códigos J00-J22) y cardiovasculares (ICD-10 códigos I20-I25), en hombres y mujeres, entre las edades de 0-5 y más de 64 años, en el municipio de Bello, durante los años 2015-2019.

Sin más que agregar por el momento, le agradezco de antemano la atención prestada a la presente solicitud.

Atentamente,

Ana Carolina Castrillon G.

Ana Carolina Castrillon Gonzalez

CC. 1020488375

Alumno séptimo semestre de Administración en Salud, Énfasis en gestión sanitaria y ambiental

Universidad de Antioquia.