ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO PM 10 Y SU AFECTACIÓN SOBRE LA POBLACIÓN DEL BARRIO PARAISO

Luis Stiven Ramírez Cueto

Facultad de Ingeniería Ambiental por ciclos propedéuticos de tecnología en desarrollo ambiental y sostenible

Corporación Universitaria Reformada

Barranquilla-Atlántico

2026

ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO PM 10 Y SU AFECTACIÓN SOBRE LA POBLACIÓN DEL BARRIO PARAISO

Luis Stiven Ramírez Cueto

Investigación presentada como requisito para optar por el título de **Tecnólogo en**

Sostenibilidad y Desarrollo Ambiental

Tutora:

Martha Mendoza

Corporación Universitaria Reformada

Departamento de Ingeniería

Barranquilla – Atlántico

2026

Contenido

Contenido 3

Resumen. 6

Abstract 7

1. Introducción 8

2. Planteamiento Del Problema 10

3. Justificación 13

4. Objetivos 15

4.1. Objetivo General 15

4.2. Objetivos Específicos 15

5. Marco referencial 16

5.1. Marco teórico 16

5.1.1. Calidad del aire y contaminación atmosférica 16

5.1.2. Material particulado y PM10 17

5.1.3. Fuentes urbanas de material particulado 17

5.1.4. Comportamiento temporal y espacial del PM10 18

5.1.5. Efectos del PM10 en la salud humana 19

5.1.6. Poblaciones vulnerables y exposición ambiental 19

5.2. Marco Legal 20

5.3. Estado Del Arte 21

6. Metodología 25

6.1. Enfoque de la investigación 25

6.2. Tipo y diseño de investigación 26

6.3. Área de estudio 26

6.4. Población y muestra 27

6.5. Fuentes de información 27

6.6. Fases de la investigación 28

6.7. Análisis de la información 30

7. Resultado Y Discusión 31

7.1. Fase 1: Recolección y organización de la información 31

7.2. Fase 2: Análisis del comportamiento temporal del PM10 33

7.3. Fase 3: Evaluación del cumplimiento de la normatividad 36

7.4. Fase 4: Interpretación de la posible afectación en la población 38

Conclusiones 40

Bibliografía 44

Listado de Tablas

Tabla 1. Normatividad aplicable a Calidad de aire. 20

Tabla 2. Concentraciones mensuales máximas y mínimas de PM10. 35

Tabla 3. Evaluación del cumplimiento normativo 37

Tabla 4. Evaluación del cumplimiento normativo de la concentración. 37

Listado de Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación de la estación Tres Avemarías. 27

Listado de Gráficos

Gráfica 1. Concentración Promedio Diario. PM10. estación tres avemarías. 34

Gráfica 2. Concentraciones mensuales máximas y mínimas de PM10. 35

Resumen.

La contaminación atmosférica por material particulado constituye uno de los principales problemas ambientales en las zonas urbanas debido a sus efectos sobre la salud humana y el ambiente. La presente investigación tuvo como objetivo analizar el comportamiento de las concentraciones de material particulado PM10 registradas en la estación de monitoreo ubicada en el barrio Paraíso de la ciudad de Barranquilla y su relación con la posible afectación en la población residente durante el año 2024. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo, utilizando como fuente principal los registros horarios de PM10 suministrados por el Establecimiento Público Ambiental Barranquilla Verde. Inicialmente se realizó un proceso de validación y depuración de la base de datos para garantizar la calidad de la información. Posteriormente se analizaron las variaciones temporales del contaminante mediante estadísticas descriptivas, considerando promedios diarios y mensuales, así como valores máximos y mínimos registrados. Los resultados evidenciaron variaciones temporales en las concentraciones de PM10, con mayores niveles registrados durante el mes de mayo y una tendencia a la disminución hacia los meses posteriores. Asimismo, se realizó la comparación de los valores registrados con los estándares establecidos en la normativa colombiana y las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud. Desde una perspectiva de salud pública, estos resultados sugieren la presencia de episodios de contaminación que podrían representar riesgos potenciales para la población vulnerable. En este sentido, la investigación aporta información relevante para el monitoreo de la calidad del aire y la formulación de estrategias orientadas a la protección de la salud y la gestión ambiental en la ciudad de Barranquilla.

Palabras clave: Material particulado PM10, calidad del aire, contaminación atmosférica, salud pública, monitoreo ambiental.

Abstract

Air pollution from particulate matter is one of the main environmental problems in urban areas due to its effects on human health and the environment. This research aimed to analyze the behavior of PM10 particulate matter concentrations recorded at the monitoring station located in the Paraíso neighborhood of Barranquilla and their relationship to the potential impact on the resident population during 2024. The research was conducted using a quantitative and descriptive approach, primarily utilizing hourly PM10 records provided by the Barranquilla Verde Public Environmental Establishment. Initially, a validation and cleaning process of the database was carried out to ensure data quality. Subsequently, temporal variations of the pollutant were analyzed using descriptive statistics, considering daily and monthly averages, as well as maximum and minimum recorded values. The results showed temporal variations in PM10 concentrations, with higher levels recorded during May and a decreasing trend in the following months. Furthermore, the recorded values were compared with the standards established in Colombian regulations and the World Health Organization's air quality guidelines. From a public health perspective, these results suggest the presence of pollution episodes that could pose potential risks to vulnerable populations. In this sense, the research provides relevant information for air quality monitoring and the development of strategies aimed at protecting health and improving environmental management in the city of Barranquilla.

Key Words: PM10 particulate matter, air quality, air pollution, public health, environmental monitoring.

1. Introducción

El material particulado es conocido como una de las partículas más pequeñas y perjudiciales para la salud humana proveniente de la contaminación atmosférica de diferentes fuentes antrópicas que han causado un gran un impacto.

Según la EPA (s.f.), el material particulado es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, que varían en tamaño, forma y composición y constituyen un elemento clave en la contaminación atmosférica.

La contaminación del aire es uno de los desafíos ambientales y de salud pública más relevantes del siglo XXI a nivel global. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), prácticamente la totalidad de la población mundial (99 %) vive en zonas donde la calidad del aire supera los límites recomendados, lo que incrementa el riesgo de desarrollar enfermedades no transmisibles como afecciones cardiovasculares, respiratorias crónicas, cáncer y neumonías, entre otras condiciones adversas. (WHO, s.f.).

Dentro de los contaminantes atmosféricos, el material particulado (PM) es especialmente crítico debido a su composición compleja y a su capacidad de penetrar los sistemas biológicos humanos. El material particulado se clasifica por su tamaño aerodinámico, siendo el PM10 (diámetro ≤10 micrómetros) un componente predominante en la contaminación urbana, originado principalmente por fuentes antrópicas como emisiones industriales, tráfico vehicular, combustión de combustibles fósiles, polvo urbano y actividades de construcción. (OMS, s.f.; EPA, 2022).

Las Investigaciones epidemiológicas a nivel global han evidenciado que el incremento de las concentraciones de PM10 tiene impactos perjudiciales sobre la salud. En Bogotá, Colombia, por ejemplo, se ha establecido que un aumento de 10 $\mu g/m^3$ de PM10 está vinculado con una elevación importante de la mortalidad aguda debido a razones respiratorias. Esto demuestra la evaluación entre estos contaminantes y sus repercusiones en la salud. (Blanco et al., 2014).

Las Políticas públicas en Colombia, que son guiadas por el Ministerio de Salud y Protección Social, enfatizan la relevancia de disminuir la exposición a este contaminante con el fin de reducir el peso de las enfermedades cardiovasculares y respiratorias, poniendo un enfoque particular en los grupos vulnerables. (Minsalud, 2021).

Los impactos negativos del PM10 en la salud de las personas se muestran de varias formas. En lo que, respecto a la respiración, está vinculado con el aumento de casos de bronquitis, asma y enfermedades agudas del aparato respiratorio, especialmente en niños y en individuos con condiciones preexistentes. (OAB, 2023).

Estudios Recientes realizados en Colombia han demostrado que las cortas exposiciones a contaminantes del aire como el PM10, pueden aumentar la probabilidad de eventos agudos como infartos en personas mayores, lo que resalta su importancia como determinante de la salud más allá de los trastornos respiratorios convencionales. (Giraldo Guzmán, 2025).

El Estos materiales particulados (PM) los podemos encontrar principalmente en dos categorías dependiendo del tamaño, por un lado, podemos encontrar se clasifica por su tamaño, para lo cual se tiene el PM10, estas son partículas las cuales son partículas con un tamaño menor o igual a 10 micrómetros, y por otro lado podemos se tienen las partículas de PM 2.5, estas partículas son partículas un poco más diminutas teniendo un tamaño menor o igual a 2.5 micrómetro siendo estas más peligrosas para las comunidades ya que tienen mayor facilidad para ingresar a los pulmones y sistema respiratorio, Además también tenemos el Pm 1.0 el cual ya es el más pequeño que podemos encontrar teniendo en cuenta que tiene un diámetro aerodinámico menor o igual a 1 micrómetro.(Camfil, 2019) En este documento estaremos analizando la influencia que tiene el material particulado PM 10 en la población del barrio paraíso, Atlántico para ver los efectos que tiene sobre la salud de aquellas personas que habitan cerca.

2. Planteamiento Del Problema

La contaminación atmosférica constituye uno de los principales problemas ambientales y de salud pública en las zonas urbanas del mundo. Entre los contaminantes más relevantes se encuentra el material particulado (PM), el cual puede generarse a partir de diversas fuentes, tales como las emisiones vehiculares, procesos industriales y la resuspensión de polvo proveniente de vías en mal estado. Estas partículas suspendidas en la atmósfera representan un riesgo significativo para la salud humana debido a su pequeño tamaño y a su capacidad de ingresar al sistema respiratorio (Ramírez, 2026).

Dentro de este grupo de contaminantes, el material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros (PM10) es considerado uno de los más preocupantes desde el punto de vista sanitario, ya que puede penetrar fácilmente en las vías respiratorias y generar efectos adversos en la salud. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) señala que la exposición a este contaminante se relaciona con el aumento de la mortalidad y la morbilidad asociada a enfermedades respiratorias y cardiovasculares. En este sentido, la contaminación por partículas se ha consolidado como uno de los principales problemas ambientales en áreas urbanas, especialmente en ciudades que experimentan procesos acelerados de urbanización y crecimiento del parque automotor.

En Colombia, la contaminación por material particulado ha sido identificada como una de las principales problemáticas de calidad del aire en diferentes centros urbanos. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2022) ha reportado la presencia de concentraciones elevadas de PM10 en diversas ciudades del país, particularmente durante ciertos periodos en los que se incrementa la presencia de partículas en la atmósfera. Ante esta situación, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible estableció mediante la Resolución 2254 de 2017 los niveles máximos permisibles para contaminantes criterio, entre ellos el material

particulado PM10, con el objetivo de proteger la salud pública y mejorar la gestión de la calidad del aire en el país (MADS, 2017).

En el contexto regional, Barranquilla, como una de las principales ciudades del Caribe colombiano, presenta una dinámica urbana caracterizada por el crecimiento de actividades comerciales, industriales y del transporte, factores que pueden contribuir al deterioro de la calidad del aire. La vigilancia de la calidad del aire en la ciudad ha evidenciado la presencia permanente de material particulado y otros contaminantes atmosféricos asociados tanto a fuentes antropogénicas como a condiciones meteorológicas propias de las zonas costeras (Duarte, 2020).

De acuerdo con reportes de monitoreo ambiental, las concentraciones promedio de PM10 en Barranquilla han oscilado entre 39 y 51 µg/m³ en diferentes estaciones de monitoreo, entre ellas Móvil, Policía y Tres Ave Marías, evidenciando variaciones temporales y espaciales en la concentración de este contaminante (Duarte, 2020). Asimismo, se han registrado concentraciones de hasta 68 µg/m³ en sectores cercanos a vías con alta congestión vehicular, lo cual indica que el material particulado tiende a acumularse en zonas de intenso flujo vehicular (Rua & López, 2021). Aunque en algunos periodos los niveles de calidad del aire han sido clasificados como “buenos” o “aceptables”, el IDEAM (2020) advierte que en determinados momentos las concentraciones de material particulado pueden representar un riesgo para grupos poblacionales vulnerables.

A nivel local, sectores urbanos con características como vías en mal estado, alta circulación vehicular y actividades cotidianas propias de zonas densamente pobladas pueden favorecer la generación y resuspensión de material particulado en el ambiente. En el barrio Paraíso, estas condiciones podrían estar contribuyendo a la presencia de concentraciones de PM10 en el aire que potencialmente afectan la calidad ambiental y la salud de los habitantes del sector. La exposición prolongada a este contaminante se ha relacionado con diversos efectos adversos en la

salud, tales como la disminución de la función pulmonar, el agravamiento de enfermedades respiratorias como el asma y la bronquitis, así como el aumento de enfermedades cardiovasculares y de los ingresos hospitalarios por estas causas (EPA, 2016).

Sin embargo, a pesar de la información disponible sobre la calidad del aire a nivel urbano en Barranquilla, existe una limitada evidencia específica sobre la concentración de material particulado PM10 en sectores residenciales particulares como el barrio Paraíso y sobre la posible afectación que este contaminante podría generar en la población que allí reside. Esta situación evidencia la necesidad de desarrollar estudios que permitan analizar el comportamiento del PM10 en este sector y comprender su posible relación con las condiciones ambientales y de salud de la comunidad.

En este contexto, se plantea la necesidad de analizar la concentración del material particulado PM10 en el barrio Paraíso y evaluar su posible afectación sobre la población residente, con el propósito de generar información que contribuya al conocimiento de la calidad del aire en este sector y sirva como base para futuras acciones de gestión ambiental y protección de la salud pública.

A partir de lo anterior se formula la siguiente pregunta problema:

¿Cómo se comportan las concentraciones de material particulado PM10 registradas en la estación de monitoreo del barrio Paraíso de la ciudad de Barranquilla, y cuál es su relación con la afectación en la población residente durante el periodo 2024?

3. Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de generar conocimiento científico a escala local sobre la concentración y los posibles efectos del material particulado PM10 en el barrio Paraíso, ubicado en la ciudad de Barranquilla. Aunque a nivel internacional existe amplia evidencia sobre los impactos del material particulado en la salud humana, gran parte de estos estudios se desarrollan en contextos urbanos generales o en grandes ciudades, lo cual limita la comprensión de las dinámicas específicas que pueden presentarse en sectores residenciales particulares.

La Organización Mundial de la Salud advierte que la contaminación por partículas inhalables constituye uno de los principales riesgos ambientales para la salud pública, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas y en proceso de expansión (OMS, 2021). En este sentido, para que las estrategias de control y prevención resulten efectivas, es fundamental contar con información contextualizada que permita identificar las fuentes de contaminación, los niveles de exposición y las poblaciones potencialmente vulnerables en áreas específicas.

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2022) publica informes nacionales sobre la calidad del aire que incluyen datos relacionados con contaminantes criterio como el PM10. Sin embargo, estos reportes generalmente presentan la información a escala de ciudad o región, lo que dificulta el análisis detallado de la problemática en sectores urbanos particulares. Por esta razón, el desarrollo de investigaciones enfocadas en comunidades específicas permite complementar la información oficial disponible y profundizar en la comprensión de los fenómenos asociados a la calidad del aire desde una perspectiva local y comunitaria.

Desde el punto de vista de la salud pública, esta investigación resulta relevante debido a que facilita la identificación de posibles riesgos asociados a la exposición al material particulado en la

población residente del barrio Paraíso. Diversos estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición prolongada al PM10 puede incrementar el riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como contribuir al aumento de la mortalidad prematura (Pope & Dockery, 2006; World Health Organization [WHO], 2021). Asimismo, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, 2013) clasifica la contaminación del aire exterior como carcinógeno del Grupo 1, destacando su relación con el desarrollo de cáncer de pulmón.

En zonas residenciales como el barrio Paraíso, donde habitan poblaciones vulnerables como niños, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias preexistentes, la exposición a material particulado puede agravar afecciones como el asma, la bronquitis crónica y diversas enfermedades cardiovasculares. En este contexto, el análisis de la influencia del material particulado sobre la población del sector resulta fundamental para identificar posibles riesgos ambientales y sanitarios, así como para orientar estrategias de prevención que contribuyan a la protección de la salud de los habitantes.

Adicionalmente, los resultados de esta investigación pueden aportar insumos relevantes para la formulación de recomendaciones y estrategias orientadas a la reducción de la contaminación atmosférica y al mejoramiento de la calidad del aire en el barrio Paraíso. De esta manera, el estudio puede servir como base para la toma de decisiones por parte de las autoridades ambientales y locales, así como para el fortalecimiento de acciones de gestión ambiental en el territorio.

4. Objetivos

4.1.Objetivo General

Analizar el comportamiento de las concentraciones de material particulado PM10 registradas en la estación de monitoreo ubicada en el barrio Paraíso de la ciudad de Barranquilla, y su relación con la afectación en la población residente durante el periodo 2024.

4.2.Objetivos Específicos

- Determinar el comportamiento temporal de las concentraciones de PM10 en la estación de monitoreo del barrio Paraíso para el año 2024.
- Evaluar el cumplimiento de las concentraciones de PM10 frente a los estándares de calidad del aire establecidos en la normatividad vigente y las guías internacionales.
- Analizar la relación entre las concentraciones de PM10 y los indicadores de afectación en la población del barrio Paraíso desde un enfoque de salud pública.

5. Marco referencial

El material particulado (PM10) es un contaminante del aire compuesto por partículas con un diámetro aerodinámico de 10 micrómetros o menos, que pueden ingresar al sistema respiratorio humano. (OMS,2021), La exposición a este tipo de partículas está asociada con un aumento en la morbilidad y mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (WHO, 2021).

Las fuentes esenciales de PM10 causadas por el ser humano en áreas urbanas abarcan las emisiones de automóviles, la actividad de las industrias y el levantamiento de polvo en caminos en mal estado. (WHO,2021).

5.1.Marco teórico

5.1.1. Calidad del aire y contaminación atmosférica

La calidad del aire se refiere al estado de la atmósfera en relación con la presencia de contaminantes que pueden afectar el ambiente y la salud humana. En zonas urbanas, la calidad del aire se ve influenciada por múltiples factores como el crecimiento del parque automotor, las actividades industriales, la construcción, la resuspensión de polvo y las condiciones meteorológicas que favorecen la acumulación de contaminantes en la atmósfera (WHO, 2021; Belis et al., 2023).

La contaminación atmosférica es considerada actualmente uno de los principales riesgos ambientales para la salud pública a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud, la exposición a contaminantes atmosféricos está asociada con millones de muertes prematuras cada año y con el incremento de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y metabólicas (WHO, 2021). En consecuencia, el monitoreo de la calidad del aire se ha convertido en una herramienta fundamental para la gestión ambiental y la toma de decisiones en materia de salud pública y planificación urbana (IDEAM, 2024).

En América Latina, el deterioro de la calidad del aire en áreas urbanas está estrechamente relacionado con procesos de urbanización acelerada, crecimiento vehicular y expansión de las ciudades, lo que incrementa la emisión de contaminantes atmosféricos y la exposición de la población (Guo et al., 2023).

5.1.2. Material particulado y PM10

El material particulado (PM) es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, compuesta por polvo, metales, compuestos orgánicos, carbono elemental, sulfatos, nitratos y otros componentes químicos (Gómez-Plata et al., 2022). Estas partículas se clasifican según su tamaño aerodinámico, siendo el PM10 aquel que posee un diámetro menor o igual a 10 micrómetros.

El PM10 tiene la capacidad de penetrar en el sistema respiratorio humano, depositándose principalmente en las vías respiratorias superiores y medias, lo que puede generar procesos inflamatorios y afectar la función pulmonar (Li et al., 2022). Aunque las partículas más finas como PM2.5 han recibido mayor atención en investigaciones recientes, el PM10 sigue siendo un contaminante relevante en ciudades latinoamericanas debido a la resuspensión de polvo urbano, el tráfico vehicular y las actividades de construcción (Debelu et al., 2024).

Diversos estudios han señalado que las concentraciones de PM10 suelen incrementarse en áreas urbanas con alta circulación vehicular, suelos expuestos y condiciones meteorológicas que favorecen la dispersión limitada de contaminantes (Echeverry-Prieto et al., 2023).

5.1.3. Fuentes urbanas de material particulado

Las fuentes de material particulado en áreas urbanas pueden clasificarse en fuentes móviles, fuentes fijas y fuentes difusas. Las fuentes móviles corresponden principalmente al tráfico

vehicular, mientras que las fuentes fijas incluyen industrias, procesos productivos y combustión en instalaciones industriales (Belis et al., 2023).

Por otra parte, las fuentes difusas incluyen la resuspensión de polvo de vías deterioradas, actividades de construcción, almacenamiento de materiales y transporte de carga. Estas fuentes tienen una contribución importante al PM10 en ciudades en desarrollo, donde el mantenimiento de la infraestructura vial y el control del polvo urbano son limitados (Gómez-Plata et al., 2022).

Estudios recientes sobre contaminación relacionada con el tráfico han demostrado que las emisiones vehiculares y la resuspensión de partículas son responsables de una proporción significativa del material particulado en áreas urbanas, lo que aumenta la exposición de la población que vive cerca de vías con alto flujo vehicular (Debelu et al., 2024).

5.1.4. Comportamiento temporal y espacial del PM10

Las concentraciones de PM10 presentan variaciones temporales y espaciales que dependen de factores como las condiciones meteorológicas, el patrón de tráfico, la dirección del viento, la precipitación, la humedad relativa y la morfología urbana (Murad et al., 2023).

El análisis temporal de datos provenientes de estaciones de monitoreo permite identificar tendencias, picos de contaminación y periodos críticos de exposición. Estas variaciones son importantes para comprender la dinámica del contaminante y su posible relación con eventos ambientales o actividades humanas específicas (IDEAM, 2024).

Investigaciones realizadas en ciudades colombianas han mostrado que las concentraciones de PM10 pueden variar significativamente entre diferentes sectores urbanos debido a la influencia de las fuentes locales de emisión y las condiciones meteorológicas (Wilches-Visbal et al., 2024).

5.1.5. Efectos del PM10 en la salud humana

La exposición al material particulado se ha asociado con múltiples efectos adversos en la salud humana. Diversos estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición prolongada al PM10 incrementa el riesgo de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y mortalidad prematura (Orellano et al., 2024).

Entre los efectos más frecuentes se encuentran la disminución de la función pulmonar, el agravamiento del asma, la bronquitis crónica y el aumento de hospitalizaciones por enfermedades respiratorias (Li et al., 2022). Además, revisiones sistemáticas recientes han evidenciado que la exposición a material particulado puede aumentar el riesgo de infecciones respiratorias y exacerbaciones de enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (Nakhjirgan et al., 2024).

De igual manera, investigaciones realizadas en diferentes países han demostrado que las concentraciones elevadas de PM10 pueden asociarse con incrementos en la mortalidad cardiovascular y respiratoria, especialmente en adultos mayores y poblaciones vulnerables (Pouri et al., 2024).

5.1.6. Poblaciones vulnerables y exposición ambiental

Los efectos de la contaminación atmosférica no se distribuyen de manera uniforme en la población. Existen grupos que presentan mayor susceptibilidad a los contaminantes atmosféricos, entre ellos niños, adultos mayores, mujeres gestantes y personas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares preexistentes (WHO, 2021).

La exposición continua a material particulado en zonas residenciales cercanas a fuentes de emisión puede incrementar el riesgo de afectaciones en la salud de estas poblaciones vulnerables. Por esta razón, los estudios locales que analizan la relación entre contaminantes atmosféricos y

afectaciones en la población permiten identificar riesgos ambientales específicos y orientar medidas de prevención (Guo et al., 2023).

En este sentido, la evaluación de las concentraciones de PM10 en sectores urbanos específicos y su relación con indicadores de afectación en la población constituye un elemento clave para fortalecer la gestión de la calidad del aire y la protección de la salud pública.

5.2.Marco Legal

A continuación se relacionan las principales normas vigentes asociadas con la regulación del material particulado PM10 en Colombia. Se describen brevemente sus contenidos.

Tabla 1. Normatividad aplicable a Calidad de aire.

Norma	Año	Entidad	Alcance de la norma
Constitución Política de Colombia	1991	Estado colombiano	Establece el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano (Art. 79) y la obligación del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente y prevenir el deterioro ambiental (Art. 80).
Ley 99 de 1993	1993	Congreso de la República	Crea el Ministerio de Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Establece principios para la gestión ambiental y el control de la contaminación.
Decreto 948 de 1995	1995	Ministerio de Ambiente	Reglamento de protección y control de la calidad del aire. Regula las emisiones contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes móviles y fijas.
Resolución 650 de 2010	2010	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establece el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire en Colombia. Define criterios para la medición de contaminantes atmosféricos.
Resolución 2154 de 2010	2010	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establece el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.
Resolución 2254 de 2017	2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establece la norma nacional de calidad del aire ambiente y fija los límites máximos permisibles para contaminantes criterio, incluido el PM10.

Norma	Año	Entidad	Alcance de la norma
CONPES 3943	2018	Departamento Nacional de Planeación	Política para el mejoramiento de la calidad del aire en Colombia. Establece estrategias para reducir emisiones contaminantes y proteger la salud pública.
Guías de Calidad del Aire de la OMS	2021	Organización Mundial de la Salud	Establecen valores guía internacionales para contaminantes atmosféricos como PM10 con el fin de proteger la salud humana.

Fuente: (Ramírez L, 2026)

5.3.Estado Del Arte

En las últimas décadas, el rápido crecimiento de las áreas urbanas, el incremento del número de vehículos y el progreso industrial han tenido un impacto considerable en la degradación de la calidad del aire en varias zonas del mundo. El material particulado (MP), en particular las fracciones finas como el PM10, es uno de los contaminantes atmosféricos más alarmantes, destacando por su habilidad para mantenerse suspendido en el aire y infiltrarse en el sistema respiratorio humano, provocando numerosos impactos negativos en la salud.

El PM10, que se define como partículas con un diámetro aerodinámico de 10 micrómetros o menos, puede provenir de fuentes naturales como el polvo del suelo sin embargo, en entornos urbanos suele estar fuertemente vinculado a factores humanos, tales como la quema de combustibles fósiles, la actividad industrial y el tráfico de vehículos. Diversas investigaciones han asociado la exposición extendida al PM10 con afecciones respiratorias, cardiovasculares y un incremento en la mortalidad prematura, lo que hace que su seguimiento y regulación sea una prioridad para las autoridades ambientales y de salud pública.

Los niveles de contaminación por PM10 están asociados con un aumento en la prevalencia de síntomas respiratorios de tos y flema, bronquitis crónica y EPOC en la ciudad de Medellín. (Orduz, 2013) Esto indica que esta contaminación aérea no solo se asocia a efectos de corta duración sino también con efectos respiratorios de larga duración. (Orduz, 2013) Existe una asociación entre la

prevalencia de EPOC y bronquitis crónica y los altos niveles de PM10 en Guayabal. Los niveles de PM10 en Guayabal, se encuentran por encima de los valores recomendados internacionalmente. Los niveles de PM10 se deben en un 90% al tráfico automotor. Los valores de PM10 en Guayabal se encuentran por debajo de la norma colombiana y por encima de la norma internacional de la OMS. Las emisiones de las fuentes móviles en la zona de Guayabal aportan el 37% del total emitido en el Valle de Aburrá" (Orduz, 2013)

Este articulo nos habla sobre un estudio que se llevó a cabo en Medellín, Colombia el cual nos dice que ciertas asociaciones que tiene el material particulado pm10 con las enfermedades respiratorias teniendo como principal enfermedad la bronquitis para este estudio se realizaron pruebas con personas de diferentes edades además personas que manifestaban haber fumado, También nos dice que vivir en área contaminada por PM10, durante 5 años o más, está unida a una mayor prevalencia de síntomas respiratorios, como la bronquitis crónica y EPOC. El riesgo relativo de desarrollar EPOC es significativamente mayor en el área de niveles altos de contaminación por PM10. Esto indica que la contaminación aérea por PM10 tiene efectos de larga duración sobre la enfermedad respiratoria crónica en adultos.(Orduz, 2013)

Por otro lado, tenemos que, en un estudio en Yucatán, México descubrieron que "En este proyecto se destaca que las estadísticas obtenidas de la relación entre las enfermedades cardiovasculares y respiratorias como la neumonía, dan cuenta de un aumento de mortalidad de un 30 al 40 % por exposición crónica a contaminantes como PM10 y O3, en particular se detectó un 49 % de mortalidad por neumonía asociada a la exposición a ozono." (Figueroa, 2016).

De este articulo podemos saber que cuando aumenta la temperatura al mismo tiempo aumentan las muertes por neumonía las cuales son causadas en cierta parte por el material particulado y con la ayuda del ozono. Este material particulado puede ser aún más dañino si se presenta en niño o en adultos mayores de edad ya que su sistema respiratorio es mucho más

vulnerable, por un lado el sistema respiratorio de los niños está en desarrollo lo que hace que sean indefensos a este tipo de contaminación, por otro lado los adultos mayores de edad son todo lo contrario ya que ellos pueden tener sus sistemas respiratorios deteriorados lo que los hace más sensibles a los efectos de las partículas PM10. (Ramírez, 2026)

Por estas razones son importantes estos estudios ya que nos ayudan a buscar la manera de contrarrestar o minimizar estas enfermedades que pueden llegar a hacer muy peligrosas hasta el punto de acabar con la vida de cualquier ser humano.

En Colombia, variedad de estudios han evaluado las concentraciones de material particulado en todas las regiones, por ejemplo, en Manizales, se observaron concentraciones de pm10 con un promedio de 35.93 µg/m³ en 2016, 34.39 µg/m³ en 2017 y 29.69 µg/m³ entre octubre de 2018 y febrero de 2019, con los números mas altos evidenciados en zonas de alto movilidad vehicular. (franco pineda, 2020) Este estudio nos informa sobre las concentraciones de material particulado, en especifico en la ciudad de Manizales, gracias a este estudio realizado se pudieron dar cuenta que entre octubre de 2018 y febrero de 2019 tuvieron los números mas latos registrados en esa ciudad producida por la gran movilidad vehicular.

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes debido a la creciente urbanización. De los contaminantes que más afectan a la calidad del aire está el material particulado atmosférico. En este estudio fueron evaluados los niveles de PM10 mediante dos metodologías en la Región Norte-Centro Histórico de Barranquilla entre abril y octubre del año 2018. Las concentraciones fueron determinadas empleando el método gravimétrico con un muestreador de bajo costo Stacked Filter Unit (SFU) y el equipo Partisol, validado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Los resultados obtenidos por estas dos metodologías fueran comparados utilizando diferentes análisis estadísticos. durante el año 2018 se registró una concentración de pm10 con un promedio de 46.40 µg/m³ en el sector norte.

(Barraza Villareal, Camila Andrea, Sánchez Quintero, Leidy María, 2019), Este estudio realizado en la ciudad de barranquilla evaluaron y compararon utilizando diferentes métodos estadísticos, durante el proceso descubrieron que en el 2018 tuvo un promedio elevado en el sector norte de la ciudad.

En este estudio, se cuantificó la contribución de fuentes de material particulado (PM10 y PM2.5) en Barranquilla. Se efectuaron muestreos por períodos de 48 horas, en la Universidad de la Costa, con el equipo Partisol 2000-iD y filtros de teflón de 47 mm. Fueron determinados los elementos mayores y traza utilizando fluorescencia de rayos-X, especies iónicas con cromatografía iónica y Black Carbon (BC) con el método de reflectancia. El modelo Positive Matrix Factorization (PMF) estimó los aportes de fuentes emisoras el PM. La concentración promedio de PM10 fue 46,6 µg/m3 y 12,0 µg/m3 para PM2.5. Los mayores aportes para PM10 fueron BC, Cl y Ca, para PM2.5 fueron BC, S y Cl. Se obtuvieron fuentes similares para ambas fracciones de PM: aerosol marino (Cl y Na+), suelo suspendido (Al, Si, Ti, Fe) y tráfico vehicular (BC, Mn y Zn). (Núñez blanco, yuleysi Paola, 2019), Este estudio tuvo en cuanto el tiempo ya que se realizo en cierta hora y teniendo un tiempo estipulado, en este estudio el equipo utilizado fue el Partisol 2000-iD con filtros de teflón, con estas mediciones tenemos el que material particulado que esta mas presente es el pm10 ya que tuvo mayor promedio que el pm2.5 teniendo en particular las mismas fuentes de emisión.

6. Metodología

El marco metodológico constituye el conjunto de procedimientos, técnicas y estrategias que orientan el desarrollo de la investigación, permitiendo dar respuesta a los objetivos planteados y garantizar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. En este apartado se describe el enfoque, tipo y diseño de la investigación, así como las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección y análisis de la información.

La metodología adoptada en este estudio se orienta al análisis del comportamiento de las concentraciones de material particulado PM10 registradas en la estación de monitoreo ubicada en el barrio Paraíso de la ciudad de Barranquilla durante el periodo 2024, así como a la evaluación de su relación con la afectación en la población residente del sector. Para ello, se emplea un enfoque cuantitativo basado en el análisis de datos ambientales provenientes de registros de monitoreo de calidad del aire y en la recopilación de información relacionada con indicadores de afectación en la comunidad.

De esta manera, el marco metodológico permite establecer un proceso sistemático para la obtención, organización y análisis de la información, con el fin de generar resultados que contribuyan a la comprensión del comportamiento del material particulado PM10 y sus posibles implicaciones en la salud de la población del barrio Paraíso.

6.1.Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo con un componente analítico, debido a que se basa en el análisis de datos ambientales provenientes de registros de monitoreo de calidad del aire y su relación con indicadores de afectación en la población.

El enfoque cuantitativo permite analizar de manera objetiva el comportamiento de las concentraciones de material particulado PM10 registradas en la estación de monitoreo ubicada en el barrio Paraíso durante el año 2024, así como evaluar su cumplimiento frente a los estándares establecidos en la normatividad vigente y analizar su posible relación con la afectación en la población residente.

6.2.Tipo y diseño de investigación

El estudio corresponde a una investigación de tipo descriptivo correlacional donde:

- Es Descriptiva, porque busca caracterizar el comportamiento temporal de las concentraciones de PM10 registradas en la estación de monitoreo durante el periodo de estudio.
- Correlacional, porque pretende analizar la relación entre las concentraciones de PM10 y los indicadores de afectación en la población residente del barrio Paraíso.

El diseño de investigación es no experimental y transversal, dado que no se manipulan las variables de estudio y se analizan datos existentes correspondientes al periodo 2024.

6.3.Área de estudio

El estudio se desarrolla en el barrio Paraíso, ubicado en la ciudad de Barranquilla, departamento del Atlántico, Colombia. Este sector corresponde a una zona urbana residencial que presenta dinámicas propias de áreas con crecimiento urbano, circulación vehicular y posibles fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos.

La información ambiental utilizada en la investigación proviene de la estación de monitoreo de calidad del aire ubicada en el barrio Paraíso, la cual forma parte del sistema de vigilancia de calidad del aire operado por las autoridades ambientales competentes. El análisis se centra en las concentraciones de material particulado PM10 registradas durante el año 2024.

Ilustración 1. Ubicación de la estación Tres Avemarías.



Fuente: (Ramírez L,2026).

6.4.Población y muestra

Está conformada por todos los registros de concentración de PM10 generados por la estación de monitoreo del barrio Paraíso durante el año 2024. Así mismo la muestra corresponde a los datos de concentración de PM10 registrados en la estación durante el periodo de estudio, considerando los valores diarios o horarios disponibles en la base de datos de monitoreo.

La población social corresponde a los habitantes residentes en el barrio Paraíso, quienes pueden estar expuestos a la presencia de material particulado en el aire.

Para el análisis de la afectación en la población se considerará una muestra de residentes del barrio, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, teniendo en cuenta la disponibilidad y disposición de los participantes.

6.5.Fuentes de información

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán dos tipos de fuentes de información:

- Fuentes secundarias: Registros de concentraciones de PM10 provenientes de la estación de monitoreo del barrio Paraíso.
- Informes de calidad del aire publicados por entidades ambientales.
- Normativa nacional e internacional sobre calidad del aire.

6.6.Fases de la investigación

Fase 1. Recolección y organización de la información

En esta fase se realizará la recopilación de los datos de concentración de PM10 registrados en la estación de monitoreo ubicada en el barrio Paraíso durante el año 2024, la cual es administrada por la autoridad ambiental Establecimiento publico ambiental Barranquilla Verde, quien facilito la información que registra la estación. Es así como:

- Solicitud de información a la autoridad ambiental correspondiente.
- Organización de la base de datos de concentraciones de PM10.
- Clasificación de los datos por periodos temporales (diarios o mensuales).

Esta fase permite obtener la información necesaria para analizar el comportamiento temporal del contaminante.

Fase 2. Análisis del comportamiento temporal del PM10

En esta fase se realizará el análisis estadístico descriptivo de las concentraciones de PM10 registradas en la estación de monitoreo.

Se evaluarán aspectos como:

- Promedios diarios y mensuales.
- Valores máximos y mínimos registrados.
- Variaciones temporales de las concentraciones.
- Identificación de posibles picos de contaminación.

Este análisis permitirá determinar el comportamiento del material particulado durante el periodo de estudio.

Fase 3. Evaluación del cumplimiento de la normatividad

Posteriormente se realizará una comparación entre las concentraciones registradas de PM10 y los estándares establecidos en la normativa nacional e internacional.

Se tomarán como referencia:

- Resolución 2254 de 2017 (norma colombiana de calidad del aire).
- Guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Esta fase permitirá identificar si las concentraciones registradas cumplen o superan los límites establecidos.

Fase 4. Análisis de la afectación en la población

En esta fase se analizará la posible relación entre las concentraciones de material particulado PM10 registradas en la estación de monitoreo del barrio Paraíso durante el año 2024 y los posibles efectos en la salud de la población residente del sector, desde un enfoque de salud pública. Para el análisis de la afectación en la población se realizará mediante la interpretación de los niveles de concentración de PM10 registrados y su contraste con la evidencia científica disponible sobre los efectos del material particulado en la salud humana.

Para el desarrollo de esta fase se realizarán las siguientes actividades:

▪ Identificación de los periodos en los que se registraron mayores concentraciones de PM10 en la estación de monitoreo del barrio Paraíso durante el año 2024.

▪ Análisis de los niveles de exposición al material particulado con base en los valores registrados y su comparación con los estándares establecidos en la normativa nacional y en las guías internacionales de calidad del aire.

▪ Revisión de literatura científica sobre los efectos del PM10 en la salud humana, especialmente en relación con enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

▪ Interpretación de los posibles riesgos para la población residente del barrio Paraíso, considerando la presencia de grupos vulnerables como niños, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias preexistentes.

6.7.Análisis de la información

El análisis de la información se realizará mediante estadística descriptiva, utilizando medidas como, Promedios, Valores máximos y mínimos, Tendencias temporales, Comparación con límites normativos. Para el análisis de la relación entre las concentraciones de PM10 y la afectación en la población se utilizarán herramientas de análisis comparativo y correlacional.

7. Resultado Y Discusión

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir del análisis de las concentraciones de material particulado PM10 registradas en la estación de monitoreo ubicada en el barrio Paraíso de la ciudad de Barranquilla durante el periodo de estudio correspondiente al año 2024. El análisis se desarrolló de acuerdo con las fases metodológicas establecidas en la investigación las cuales incluyen la recolección y organización de la información ambiental, el análisis del comportamiento temporal del contaminante, la evaluación del cumplimiento frente a los estándares normativos de calidad del aire y la interpretación de los posibles efectos sobre la población desde un enfoque de salud pública.

7.1.Fase 1: Recolección y organización de la información

En la primera fase de la investigación se realizó la recopilación y organización de la base de datos correspondiente a las concentraciones de material particulado PM10 registradas en la estación de monitoreo del barrio Paraíso durante el año 2024. Esta información fue suministrada por el Establecimiento Público Ambiental Barranquilla Verde, entidad responsable de la administración y operación del sistema de monitoreo de calidad del aire en la ciudad.

La base de datos proporcionada contenía registros horarios de concentración de PM10, los cuales fueron organizados y depurados con el fin de garantizar la calidad de la información antes de su análisis. Durante el proceso de revisión se identificaron registros incompletos o ausentes, lo que permitió determinar el nivel de completitud de la base de datos disponible para el periodo analizado.

No obstante, la entidad se le había solicitado a la autoridad ambiental el registro del 2025 de la estación, pero comunicaron que la estación se encontraba en mantenimiento durante todo ese año

y que no contaba con la información completa, sin embargo, facilitaron el año 2024, aun asi presentando datos atípicos.

Previo al análisis del comportamiento de las concentraciones de material particulado PM10, se realizó un proceso de validación y control de calidad de la información, con el fin de garantizar la confiabilidad de los registros utilizados en el estudio. Este procedimiento se desarrolló siguiendo criterios comúnmente aplicados en redes de monitoreo de calidad del aire, como los establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Environmental Protection Agency (EPA) y las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

1. Verificación de la integridad de los registros

Inicialmente se realizó una revisión de la base de datos suministrada por el Establecimiento Público Ambiental Barranquilla Verde, correspondiente a los registros de la estación de monitoreo del barrio Paraíso durante el periodo comprendido entre mayo y julio de 2024.

Para el periodo analizado se esperaban 2.208 registros horarios, considerando la frecuencia de medición de la estación. Posteriormente se verificó la presencia de valores válidos para cada registro.

Como resultado de esta revisión se identificaron:

- 1.461 registros válidos.
- 747 registros con datos faltantes.

Esto corresponde a un 66,17 % de completitud de la información disponible.

De acuerdo con los criterios de control de calidad utilizados en redes de monitoreo atmosférico, la completitud de los datos es un indicador fundamental para evaluar la representatividad de las series temporales. En este caso, los registros faltantes fueron excluidos del análisis estadístico con el fin de evitar distorsiones en los resultados.

Este nivel de disponibilidad de datos permitió realizar el análisis estadístico correspondiente, aunque se reconoce que la presencia de registros faltantes constituye una limitación para la interpretación completa del comportamiento del contaminante durante el periodo evaluado.

La organización de la base de datos permitió estructurar la información en diferentes escalas temporales (horaria, diaria y mensual), lo cual facilitó el desarrollo del análisis posterior del comportamiento del PM10.

Posteriormente se realizó un análisis exploratorio de los datos con el propósito de identificar posibles valores atípicos o extremos, los cuales pueden presentarse debido a errores de medición, fallas instrumentales o condiciones ambientales particulares. Para ello se aplicaron técnicas de estadística descriptiva, incluyendo:

- Cálculo de promedios.
- Cálculo de medianas.
- Análisis de valores máximos y mínimos.
- Revisión de la dispersión de los datos.

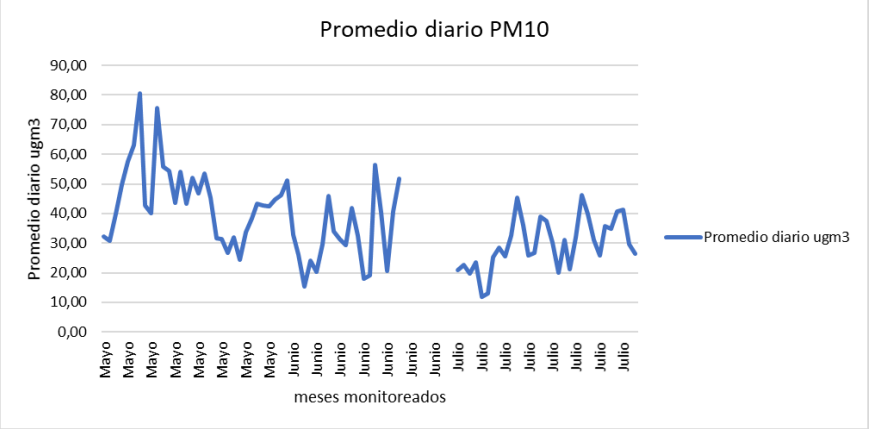
Los valores extremos identificados fueron revisados en función de su coherencia con la dinámica esperada del contaminante y con la literatura científica sobre concentraciones de PM10 en zonas urbanas.

7.2.Fase 2: Análisis del comportamiento temporal del PM10

El análisis del comportamiento temporal de las concentraciones de PM10 permitió identificar patrones de variación a lo largo del periodo de estudio, así como episodios de mayor concentración del contaminante. A continuación, se muestra todo lo relacionado con el análisis de la información:

Los datos se analizaron desde el 1 de mayo hasta el 31 de julio, fueron los meses que estuvo en operación durante el 2024 la estación de las 3 avemarías.

Gráfica 1. Concentración Promedio Diario. PM10. estación tres avemarías.



Fuente: (Ramírez L, 2026)

Estos resultados evidencian que, aunque el promedio general de las concentraciones se mantiene en niveles moderados, se presentan episodios puntuales en los que las concentraciones alcanzan valores considerablemente más elevados. A partir del análisis estadístico descriptivo de los registros horarios se obtuvieron que el promedio horario diario por mes fue:

- Mayo: 80,69 µg/m³
- Junio: 56,44 µg/m³
- Julio: 46,17 µg/m³

Se puede atribuir que en el mes de mayo se presente mayo concentración de PM10, debido a que según estudios del IPCC, la transición entre periodos climáticos y fenómenos de transporte de partículas a gran escala afectan la concentración de esta partícula, sin embargo, también se considera en la ciudad de Barranquilla que se presenta el fenómeno natural de las arenas del sahara, Mayo marca el inicio de la temporada alta de transporte de polvo desde el desierto del Sahara a través del Atlántico hacia la cuenca del Caribe y el interior de Colombia. Aunque el pico

suele darse entre junio y agosto, las primeras oleadas significativas impactan la calidad del aire desde mayo. (Méndez J,2018).

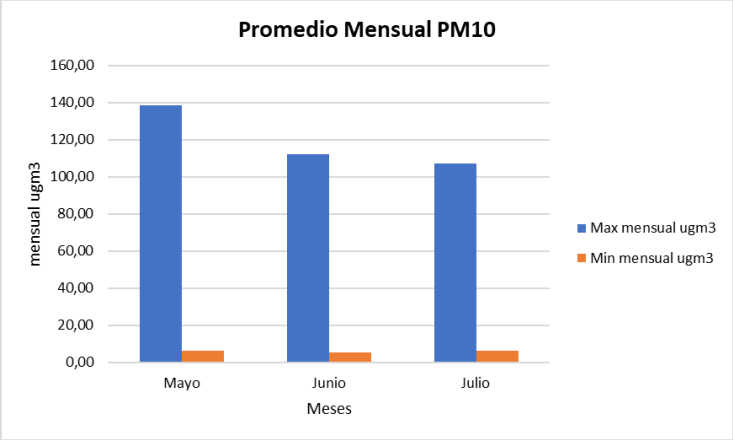
No obstante, también se analizó el comportamiento de las concentración máximas y mínimas por 24h mensualmente, para ellos se obtuvo:

Tabla 2. Concentraciones mensuales máximas y mínimas de PM10.

Meses	Max mensual ugm^3	Min mensual ugm^3
Mayo	138,65	6,13
Junio	111,91	5,31
Julio	106,90	6,03

Fuente: (Ramírez L, 2026)

Gráfica 2. Concentraciones mensuales máximas y mínimas de PM10.



Fuente: (Ramírez L, 2026)

El valor máximo registrado se presentó el mes de mayo de 2024 alcanzando una concentración de 138,65 µg/m³, lo cual sugiere la presencia de episodios temporales de mayor acumulación de partículas en la atmósfera. El análisis de los promedios mensuales permitió identificar variaciones importantes entre los meses analizados. En este sentido, mayo registró el mayor promedio mensual de PM10, seguido por junio, con 111,91 µg/m³, mientras que julio presentó el promedio más bajo con 106,90 µg/m³.

Este comportamiento evidencia una tendencia descendente en las concentraciones de PM10 desde mayo hacia julio, lo cual podría estar asociado a diferentes factores ambientales, tales como cambios en las condiciones meteorológicas, variaciones en la dinámica del tráfico vehicular o modificaciones en las fuentes de emisión presentes en el entorno urbano. Asimismo, el análisis de los promedios diarios permitió identificar los días con mayores concentraciones de material particulado. Entre los valores más altos registrados se encuentran (Se anexa tabla de concentraciones):

- 8 de mayo: 80,69 µg/m³
- 11 de mayo: 75,68 µg/m³
- 7 de mayo: 63,23 µg/m³
- 6 de mayo: 57,53 µg/m³
- 17 de junio: 56,44 µg/m³

Estos resultados indican que los episodios de mayor concentración se concentraron principalmente durante el mes de mayo, lo que sugiere que en este periodo se presentaron condiciones que favorecieron la acumulación de material particulado en la atmósfera.

7.3.Fase 3: Evaluación del cumplimiento de la normatividad

En esta fase se realizó la comparación entre las concentraciones de PM10 registradas en la estación de monitoreo y los estándares establecidos en la normativa nacional e internacional de calidad del aire. De acuerdo con la Resolución 2254 de 2017, el límite máximo permisible para el material particulado PM10 en un promedio de 24 horas es de 100 µg/m³. Por otra parte, las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) establecen un valor guía diario más estricto de 45 µg/m³. Siendo así se compilo la comparación en la siguiente tabla:

Tabla 3. Evaluación del cumplimiento normativo

Indicador	Valor
Valor guía OMS 24h	45 µg/m³
Límite Colombia 24h	100 µg/m³

Fuente: (Ramírez L, 2026)

Los resultados obtenidos muestran que durante el periodo analizado no se registraron superaciones del límite diario establecido por la normativa colombiana, lo cual indica que, desde el punto de vista regulatorio nacional, las concentraciones observadas se mantienen dentro de los rangos permitidos.

Tabla 4. Evaluación del cumplimiento normativo de la concentración.

Fecha	Mes	Promedio diario ugm^3	OMS 24h	Resolución 2254 de 2017
05/05/2024	Mayo	49,76	Sí	No
06/05/2024	Mayo	57,53	Sí	No
07/05/2024	Mayo	63,23	Sí	No
08/05/2024	Mayo	80,69	Sí	No
11/05/2024	Mayo	75,68	Sí	No
12/05/2024	Mayo	55,88	Sí	No
13/05/2024	Mayo	54,35	Sí	No
15/05/2024	Mayo	54,22	Sí	No
17/05/2024	Mayo	51,94	Sí	No
18/05/2024	Mayo	46,69	Sí	No
19/05/2024	Mayo	53,58	Sí	No
20/05/2024	Mayo	45,47	Sí	No
01/06/2024	Junio	46,32	Sí	No
02/06/2024	Junio	51,08	Sí	No
09/06/2024	Junio	46,05	Sí	No
17/06/2024	Junio	56,44	Sí	No
21/06/2024	Junio	51,71	Sí	No
11/07/2024	Julio	45,23	Sí	No
22/07/2024	Julio	46,17	Sí	No

Fuente: (Ramírez L, 2026)

Sin embargo, al comparar los resultados con el valor guía establecido por la OMS, se identificó que 19 días superaron el valor recomendado de 45 µg/m³, lo que evidencia que aunque los niveles registrados cumplen con la normativa nacional, existen episodios en los que las concentraciones pueden representar un mayor riesgo para la salud pública según estándares internacionales.

La distribución mensual de estas excedencias muestra que mayo concentró el mayor número de días con superación del valor guía de la OMS, seguido de junio y julio. Estos resultados sugieren que el periodo de mayor exposición potencial al contaminante se presentó durante el mes de mayo.

7.4.Fase 4: Interpretación de la posible afectación en la población

La interpretación de los resultados desde un enfoque de salud pública permite analizar los posibles efectos que las concentraciones de PM10 registradas podrían tener sobre la población residente en el barrio Paraíso.

Diversos estudios científicos han demostrado que la exposición a material particulado puede generar efectos adversos en la salud humana, especialmente en poblaciones vulnerables como niños, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares. Aunque durante el periodo analizado no se registraron superaciones del límite diario establecido por la normativa colombiana, la presencia de 19 días con concentraciones superiores al valor guía recomendado por la OMS sugiere la existencia de episodios de contaminación que podrían representar un riesgo potencial para la salud de la población.

Estos episodios pueden contribuir al aumento de síntomas respiratorios, irritación de las vías respiratorias, agravamiento del asma y otras afecciones respiratorias, particularmente en individuos con mayor susceptibilidad.

Además, el hecho de que los valores más altos se hayan concentrado en un periodo específico del año indica la necesidad de realizar un seguimiento continuo del comportamiento del contaminante, con el fin de identificar posibles factores que influyan en la variación de las concentraciones de PM10 en el área de estudio.

Desde esta perspectiva, los resultados obtenidos en esta investigación aportan información relevante para la comprensión del comportamiento del material particulado en el barrio Paraíso y constituyen un insumo importante para fortalecer las estrategias de gestión de la calidad del aire y la protección de la salud pública en la ciudad de Barranquilla.

Conclusiones

A partir del análisis del comportamiento de las concentraciones de material particulado PM10 registradas en la estación de monitoreo ubicada en el barrio Paraíso de la ciudad de Barranquilla durante el periodo analizado del año 2024, se establecen las siguientes conclusiones:

En primer lugar, el análisis de la información permitió identificar el comportamiento temporal del material particulado PM10 durante el periodo comprendido entre mayo y julio de 2024. Los resultados mostraron que las concentraciones presentaron variaciones a lo largo del tiempo, evidenciando episodios puntuales de incremento en los niveles del contaminante, particularmente durante el mes de mayo, el cual registró el promedio mensual más alto en comparación con los meses posteriores. Este comportamiento refleja la influencia de diferentes factores ambientales y urbanos que pueden incidir en la dinámica de las concentraciones de material particulado en el área de estudio.

En segundo lugar, el análisis estadístico descriptivo evidenció que las concentraciones de PM10 presentaron un promedio horario cercano a los 36 µg/m³, con valores máximos que alcanzaron niveles superiores a los 130 µg/m³ en episodios específicos. Estos resultados indican que, aunque las concentraciones promedio se mantienen en niveles moderados, pueden presentarse picos temporales que reflejan episodios de mayor contaminación atmosférica.

Respecto al cumplimiento de la normativa de calidad del aire, los resultados mostraron que durante el periodo analizado no se registraron superaciones del límite diario establecido por la normativa colombiana (Resolución 2254 de 2017). No obstante, al comparar los valores registrados con las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se identificaron varios días en los que las concentraciones superaron el valor guía recomendado, lo que evidencia que, aunque se cumple con el estándar nacional, existen episodios que podrían representar riesgos potenciales para la salud de la población.

Asimismo, el análisis de los datos permitió evidenciar que el periodo con mayor frecuencia de excedencias frente al valor guía internacional se concentró en el mes de mayo, lo cual sugiere que durante este periodo se presentaron condiciones que favorecieron la acumulación de material particulado en la atmósfera.

Desde la perspectiva de la salud pública, los resultados obtenidos indican que la presencia de episodios de concentraciones elevadas de PM10 podría representar un factor de riesgo para la población residente en el barrio Paraíso, especialmente para grupos vulnerables como niños, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias preexistentes. Aunque no se evidencian superaciones de la norma nacional, la presencia de concentraciones superiores a los valores recomendados por organismos internacionales sugiere la necesidad de fortalecer las acciones de vigilancia y control de la calidad del aire.

Es importante destacar que una de las principales limitaciones del estudio corresponde a la disponibilidad de datos, ya que la base suministrada presentó registros faltantes y no cubrió la totalidad del año 2024. Esta situación puede influir en la representatividad del análisis temporal del contaminante y resalta la importancia de fortalecer la continuidad y completitud de los sistemas de monitoreo de calidad del aire.

Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos en la investigación, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer la gestión de la calidad del aire y la protección de la salud pública en el área de estudio:

- Se recomienda fortalecer los procesos de monitoreo continuo de la calidad del aire en la ciudad de Barranquilla, garantizando la disponibilidad y completitud de los registros generados por las estaciones de monitoreo. La continuidad en la recolección de datos es fundamental para mejorar la representatividad de los análisis y facilitar la identificación de tendencias a largo plazo en el comportamiento de los contaminantes atmosféricos.
- Se sugiere que la autoridad ambiental local continúe implementando estrategias orientadas a la reducción de las fuentes de emisión de material particulado, especialmente aquellas asociadas al tráfico vehicular, la resuspensión de polvo en vías urbanas y las actividades de construcción, las cuales constituyen fuentes relevantes de PM10 en zonas urbanas.
- Se recomienda desarrollar estudios complementarios que permitan analizar la relación entre la calidad del aire y los efectos en la salud de la población mediante la integración de información epidemiológica, registros hospitalarios o encuestas de percepción ambiental en la comunidad.
- Se propone ampliar el análisis de las concentraciones de material particulado a periodos más extensos, incluyendo series de datos anuales o multianuales que permitan identificar tendencias temporales más robustas y evaluar la influencia de factores meteorológicos sobre la variación del contaminante.

- Se recomienda fortalecer los programas de educación ambiental y sensibilización comunitaria relacionados con la calidad del aire, con el fin de promover una mayor conciencia en la población sobre los riesgos asociados a la contaminación atmosférica y fomentar la participación ciudadana en los procesos de gestión ambiental.
- Se sugiere que futuras investigaciones incorporen el análisis de otros contaminantes atmosféricos relevantes, como PM2.5, dióxido de nitrógeno (NO_2) y ozono (O_3), con el propósito de obtener una visión más integral de la calidad del aire en la ciudad de Barranquilla y sus posibles efectos sobre la salud de la población.

Bibliografía

Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. (2013). *Outdoor air pollution: A leading environmental cause of cancer deaths*. IARC Press. https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-outdoor-air-pollution-a-leading-environmental-cause-of-cancer-deaths/

Barraza, V., Sánchez Quintero, C., & María, L. (2019). *Evaluación de la concentración de material particulado PM10 en la región norte – centro histórico de la ciudad de Barranquilla*. Universidad de la Costa. https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/fd3b2de0-4135-408b-9aee-d87ebac62dd5

Belis, C., Matkovic, V., Ballocci, M., Jevtic, M., Millo, G., Mata, E., & Van Dingenen, R. (2023). Assessment of health impacts and costs attributable to air pollution in urban areas. *Environment International, 182*, 108347. https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108347

Camfil. (s.f.). *PM1: El nuevo objetivo para proteger la salud*. https://www.camfil.com/es-es/insights/estandares-normativas/pm1proteger-salud

Debelu, D., Mengistu, D., Aschalew, A., Mengistie, B., & Deriba, W. (2024). Global public health implications of traffic related air pollution: A systematic review. *Environmental Health Insights, 18*. https://doi.org/10.1177/11786302241272403

Echeverry-Prieto, G., Sánchez, A., & Ramírez, J. (2023). Cambios en la calidad del aire asociados al tráfico automotor en Cali, Colombia. *Ingeniería y Competitividad, 25*(1). https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1

Environmental Protection Agency. (s.f.). *Health and environmental effects of particulate matter (PM)*. https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm

Franco, P., & Daniel, A. (2020). *Análisis y caracterización del material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad de Manizales* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79214

Gómez-Plata, L., Agudelo-Castañeda, D., Castillo, M., & Teixeira, E. (2022). PM10 source identification in a coastal city in Colombia. *Aerosol and Air Quality Research, 22*(10). https://doi.org/10.4209/aaqr.210293

Guo, J., Chai, G., Song, X., Hui, X., Li, Z., Feng, X., & Yang, K. (2023). Long-term exposure to particulate matter and cardiovascular and respiratory diseases. *Frontiers in Public Health, 11*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1134341

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia*. IDEAM. https://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/informes-del-estado-de-la-calidad-del-aire-en-colombia

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2020). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2020*. IDEAM. https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-14/informe_del_estado_de_la_calidad_del_aire_en_colombia_2020.pdf

Li, N., Ma, J., Ji, K., & Wang, L. (2022). Association of PM2.5 and PM10 with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 19*(1), 243–254. https://doi.org/10.1080/15412555.2022.2070062

Méndez, J. F., Pinto-Herrera, L. C., & Belalcázar-Cerón, L. C. (2018). Estudio de una intrusión de polvo sahariano en la atmósfera de Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 17*(32), 17–34. https://doi.org/10.22395/rium.v17n32a1

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). *Resolución 601 de 2006: Por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión*. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-601-de-2006.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire*. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Diseno.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (s.f.). *Minsalud comprometido con la calidad del aire*. https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Minsalud-comprometido-con-la-calidad-del-aire-.aspx

Murad, J., Roa Martínez, M., & Roa Martínez, M. (2023). Incidencia de la altura para la medición de la calidad del aire de PM10 y PM2.5. *Ingeniería y Competitividad, 25*(3). https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3

Nakhjirgan, P., Kashani, H., & Kermani, M. (2024). Exposure to outdoor particulate matter and respiratory diseases: A systematic review. *Environmental Geochemistry and Health, 46*. https://doi.org/10.1007/s10653-023-01807-1

Núñez Blanco, Y. (2019). *Estimación de fuentes de material particulado atmosférico (PM10 y PM2.5) en la ciudad de Barranquilla, Colombia* [Trabajo de grado, Universidad de la Costa]. https://hdl.handle.net/11323/6017

Orellano, P., Kasdagli, M.-I., Pérez Velasco, R., & Samoli, E. (2024). Long-term exposure to particulate matter and mortality. *International Journal of Public Health, 69*. https://doi.org/10.3389/ijph.2024.1607683

Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association, 56*(6), 709–742.

Pouri, N., Karimi, B., Kolivand, A., & Mirhoseini, S. H. (2024). Ambient dust pollution and mortality: Systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment, 912*, 168945. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168945

Wilches-Visbal, J., Castillo-Pedraza, M., & Martínez-Miranda, M. (2024). Concentración atmosférica de material particulado previo a la pandemia por COVID-19 en Colombia. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, 43*.

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. WHO. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228

World Health Organization. (s.f.). *Global Health Observatory: Air pollution*. https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution

Anexos.

Anexo 1. Concentración promedio diario de mayo a julio del 2024.

Fecha	Meses	Promedio diario ugm^3
01/05/2024	Mayo	
02/05/2024	Mayo	32,20
03/05/2024	Mayo	30,89
04/05/2024	Mayo	39,81
05/05/2024	Mayo	49,76
06/05/2024	Mayo	57,53
07/05/2024	Mayo	63,23
08/05/2024	Mayo	80,69
09/05/2024	Mayo	42,83
10/05/2024	Mayo	40,18
11/05/2024	Mayo	75,68
12/05/2024	Mayo	55,88
13/05/2024	Mayo	54,35
14/05/2024	Mayo	43,71
15/05/2024	Mayo	54,22
16/05/2024	Mayo	43,44
17/05/2024	Mayo	51,94
18/05/2024	Mayo	46,69
19/05/2024	Mayo	53,58
20/05/2024	Mayo	45,47
21/05/2024	Mayo	31,73
22/05/2024	Mayo	31,32
23/05/2024	Mayo	26,59
24/05/2024	Mayo	32,01
25/05/2024	Mayo	24,29
26/05/2024	Mayo	33,56
27/05/2024	Mayo	38,47
28/05/2024	Mayo	43,27
29/05/2024	Mayo	42,82
30/05/2024	Mayo	42,45
31/05/2024	Mayo	44,63
01/06/2024	Junio	46,32
02/06/2024	Junio	51,08
03/06/2024	Junio	32,72
04/06/2024	Junio	26,01

Fecha	Meses	Promedio diario ugm^3
05/06/2024	Junio	15,42
06/06/2024	Junio	24,16
07/06/2024	Junio	20,31
08/06/2024	Junio	29,66
09/06/2024	Junio	46,05
10/06/2024	Junio	34,02
11/06/2024	Junio	31,29
12/06/2024	Junio	29,27
13/06/2024	Junio	41,83
14/06/2024	Junio	32,61
15/06/2024	Junio	17,89
16/06/2024	Junio	19,04
17/06/2024	Junio	56,44
18/06/2024	Junio	40,33
19/06/2024	Junio	20,56
20/06/2024	Junio	40,67
21/06/2024	Junio	51,71
22/06/2024	Junio	
23/06/2024	Junio	
24/06/2024	Junio	
25/06/2024	Junio	
26/06/2024	Junio	
27/06/2024	Junio	
28/06/2024	Junio	
29/06/2024	Junio	
30/06/2024	Junio	
01/07/2024	Julio	21,00
02/07/2024	Julio	22,74
03/07/2024	Julio	19,82
04/07/2024	Julio	23,40
05/07/2024	Julio	11,91
06/07/2024	Julio	12,91
07/07/2024	Julio	25,18
08/07/2024	Julio	28,41
09/07/2024	Julio	25,52
10/07/2024	Julio	32,49
11/07/2024	Julio	45,23
12/07/2024	Julio	35,97

Fecha	Meses	Promedio diario ugm^3
13/07/2024	Julio	25,97
14/07/2024	Julio	26,73
15/07/2024	Julio	38,95
16/07/2024	Julio	37,35
17/07/2024	Julio	30,12
18/07/2024	Julio	20,02
19/07/2024	Julio	31,12
20/07/2024	Julio	21,14
21/07/2024	Julio	31,92
22/07/2024	Julio	46,17
23/07/2024	Julio	39,82
24/07/2024	Julio	31,14
25/07/2024	Julio	25,97
26/07/2024	Julio	35,65
27/07/2024	Julio	34,89
28/07/2024	Julio	40,68
29/07/2024	Julio	41,32
30/07/2024	Julio	29,66
31/07/2024	Julio	26,48