



**Análisis Del Comportamiento Del Material Particulado (PM10 Y PM2.5) A Través Del
Modelo De Dispersión Qgis, En El Corregimiento De Juan Mina Para El Primer Semestre
Del 2022**

Manuel Alejandro De la Ossa Suarez

Fiorella Andrea Folgoso Carrascal

Corporación Universitaria Reformada

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

Barranquilla-Atlántico

2022

**Análisis Del Comportamiento Del Material Particulado (PM10 Y PM2.5) A Través Del
Modelo De Dispersión Qgis, En El Corregimiento De Juan Mina Para El Primer Semestre
Del 2022**

Manuel Alejandro De la Ossa Suarez

Fiorella Andrea Folgoso Carrascal

Investigación presentada como requisito para optar por el título de **Tecnólogo en
Sostenibilidad y Desarrollo Ambiental**

Tutora:

Ing. Martha Alicia Mendoza Hernández M.Sc.

Cotutora:

M.Sc. Margarita Castillo Ramírez

Corporación Universitaria Reformada

Departamento de Ingeniería

Barranquilla – Atlántico

2022

Contenido

Resumen	5
Abstract.....	8
1. Introducción.....	9
2. Planteamiento Del Problema	11
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.Contaminantes Criterio	17
5.1.2.Material Particulado (PM 2.5).....	18
5.1.3.Material Particulado (PM 10).....	19
5.1.4.Equipos de Monitoreo	19
5.1.5.Distribuciones Espaciales.....	20
5.1.6.Material Particulado y Efectos en la salud	21
5.1.7.Material Particulado y Efectos Ambientales	22
5.2..... Marco Legal	23
5.3..... Estado Del Arte	24
6. Metodología.....	31
6.1..... Área De Estudio	31
6.1.1.Localidades de la ciudad de Barranquilla	31
6.1.2.Corregimiento Juan Mina.....	32

6.2.	Área de Influencia	
33		
6.2.1. Actividad Económica		33
6.3.	Descripción De Los Equipos	
34		
6.4.	Monitoreo	
37		
6.5.	Análisis De Datos	
38		
7. Resultado Y Discusión		41
7.1. ... Identificación De Las Fuentes Generadoras De Emisiones De Material Particulado De PM10 Y PM2.5 Cerca A La Estación De Monitoreo De Juan Mina		41
7.2. ... Comparación De Las Concentraciones De Material Particulado PM10 Y PM2.5 En La Estación De Monitoreo De Juan Mina		43
7.2.1. Concentración PM 2.5		43
7.2.2. Concentración PM 10		46
7.3.	Análisis mediante el modelo de dispersión QGis el comportamiento del PM10 Y PM2.5 en el primer semestre del 2022 en el corregimiento de Juan Mina.	50
7.4.	Estrategias encaminadas a la mejora de la calidad de la calidad del aire en el corregimiento de Juan Mina.	56
Conclusiones y Recomendaciones		57
Bibliografía		59

Listado de Tablas

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterios en el aire	18
Tabla 2. Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para los Niveles de Prevención, Alerta o Emergencia.....	22
Tabla 3. Normatividad de calidad de aire en Colombia	23
Tabla 4. Datos técnicos del equipo de monitoreo APM-2 implementado en la estación de calidad de aire Juan Mina.....	35
Tabla 5. Límites establecidos por EPA Barranquilla Verde.....	39
Tabla 6. Concentración y comparación del contaminante PM 2.5	43
Tabla 7. Concentración PM 2.5 por día de semana	45
Tabla 8. Concentración y comparación del contaminante PM10.....	46
Tabla 9. Concentración PM 10 por día de semana	49
Tabla 10. Promedio de Velocidades y Dirección del viento estación de monitoreo Juan Mina.	51

Listado de Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación del área de Estudio Juan Mina.....	32
Ilustración 2. Sectores industriales dentro del área de influencia de 500m a la redonda de la estación de monitoreo.....	34
Ilustración 3. Equipo APM-2.....	36
Ilustración 4. Sectores industriales dentro del área de influencia de 500m a la redonda de la estación de monitoreo.....	42
Ilustración 5. Rosa de los vientos para la estación de monitoreo Juan Mina.....	52
Ilustración 6. Rosa de los vientos para la estación de monitoreo Juan Mina.....	53
Ilustración 7. Distribución de la concentración de PM10.....	54

Ilustración 8. Distribución de la concentración de PM2.5.....	55
--	----

Listado de Gráficos

Gráfica 1. Concentración Mensual de PM 2.5	44
Gráfica 2. Concentración diaria de los meses monitoreados de PM 2.5	44
Gráfica 3. Días de concentración de PM 2.5	45
Gráfica 4. Concentración de PM 2.5 por día de la semana.	46
Gráfica 5. Concentración Mensual de PM 10.	47
Gráfica 6. Concentración diaria de los meses monitoreados de PM 10.	48
Gráfica 7. Días de concentración de PM 10.....	48
Gráfica 8. Concentración de PM 10 por día de la semana.	49

Resumen

En la presente investigación se realizó un análisis del comportamiento del material particulado (PM10 y PM2,5), en el corregimiento de Juan Mina para el primer semestre del 2022. Se tomo en cuenta el punto donde se encuentra ubicada la cuarta estación de monitoreo de calidad de aire de la ciudad de Barranquilla, la cual empezó a operar a finales de marzo. El objetivo de esta estación es analizar el área de influencia por el sector económico, la carretera principal y localidades o viviendas en temas del estado de la calidad de aire. Para el monitoreo y análisis de datos se utilizó el protocolo de sistemas de vigilancia de calidad para el monitoreo de aire y el manual de equipos de calibración APM-2, este aplica el método de nefelometría utilizando la luz dispersa por partículas diminutas para determinar las concentraciones de PM10 y PM2.5 en el ambiente, que trabaja de forma continua y directa. Dentro de los análisis de los datos se contemplaron los meses de marzo hasta junio, donde el mes que mayor tuvo concentración fue abril con un valor de $63,788\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM10 y el mes con mayor concentración fue marzo $9,409\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5, así mismo por medio del modelo de Qgis se analizó este comportamiento y los sectores que se encuentran alrededor de esta estación de monitoreo.

El análisis de estas partículas permitirá información base para la toma de decisiones y acciones oportunas para sus actividades cotidianas y salvaguardar su salud.

Palabras Claves: PM10, PM2.5, contaminación del aire, Qgis, monitoreo, calidad de aire.

Abstract

In the present investigation, an analysis of the behavior of particulate matter (PM10 and PM2.5) was carried out in the district of Juan Mina for the first semester of 2022. The point where the fourth monitoring station of particulate matter is located was taken into account. air quality of the city of Barranquilla, which began to operate at the end of March. The objective of this station is to analyze the area of influence by the economic sector, the main highway and towns or homes in matters of the state of air quality. For the monitoring and analysis of data, the protocol of quality surveillance systems for air monitoring and the APM-2 calibration equipment manual were extracted, this applies the nephelometry method using light scattered by tiny particles to determine the concentrations of PM10 and PM2.5 in the environment, which works continuously and directly. Within the data analysis, the months of March to June were considered, where the month with the highest concentration was April with a value of $63,788\mu\text{m}/\text{m}^3$ for PM10 and the month with the highest concentration was March $9,409\mu\text{m}/\text{m}^3$, for PM2.5, as well Through the Qgis model, this behavior and the sectors that are around this monitoring station were analyzed. The analysis of these particles will allow basic information for decision-making and timely actions for your daily activities and safeguard your health.

Key Words: PM10, PM2.5, air pollution, Qgis, monitoring, air quality

1. Introducción

La contaminación atmosférica es definida como la presencia de elementos contaminantes en la atmosfera que alteran su composición y afectan a cualquier componente del ecosistema. Desde el punto de vista antropocéntrico, la contaminación atmosférica se refiere a los contaminantes que afectan la salud o el bienestar humano y el medio ambiente. (Celis, Morales, Zaror, & Carvacho, 2007).

La contaminación del aire con el pasar del tiempo se ha convertido en una problemática de carácter mundial, siendo este foco de diferentes investigaciones por la gran influencia que esta tiene en la salud de las personas. La población mundial (el 99%) respira un aire que supera los límites de calidad del aire establecidos por la organización mundial de la salud , colocando en peligro la salud, donde la agencia de la ONU encargada de velar por la salud publica recomienda dejar de seguir financiando los combustibles fósiles que nos matan (ONU, 2022).

Los vehículos de motor son una fuente importante de contaminación del aire y estudios recientes sugieren una asociación entre las emisiones de los automóviles y el aumento de los síntomas respiratorios o la disminución de la función pulmonar. En las zonas industriales, debido a la dependencia de las industrias de los vehículos de motor para el transporte de productos y trabajadores, debido a que se han implementado estrictos controles de emisiones para reducir la liberación de contaminantes de las fuentes estacionarias, el peso del tráfico ha ido aumentando, en comparación con las fuentes antropogénicas locales. (Almeida, Silva, Garcia, Henriques, & Miranda, 2014).

Siendo estos los principales generadores PM 10 y 2.5 que son partículas capaces de penetrar en los pulmones y torrentes sanguíneos causando impactos cardiovasculares , cerebrovasculares y respiratorios. (ONU, 2022).

Colombia según estudio del instituto nacional de salud ha tenido 17.529 muertes asociadas a factores de riesgo ambiental, habiendo 15.681 por mala calidad de aire (Hernandez, 2021). Siendo el PM 2.5 el contaminante con mayor potencial de afectación en el territorio nacional. (IDEAM).

Barranquilla por su parte, no es excepta a la exposición de la contaminación del aire , pero esta ciudad cuenta con monitoreos de los diferentes contaminantes criterios , establecidos por (EPA) Barranquilla verde que es la autoridad ambiental , dentro de estos está el material particulado PM10 y PM2.5 que son la principal problemática puesto que las concentraciones están más altas en comparación a los niveles permitidos por la organización mundial de salud. (Cepeda, 2021).

Por lo tanto esta investigación está basada en el análisis del comportamiento del material particulado (PM10y PM2.5) a través del modelo de dispersión Qgis, en el corregimiento de Juan Mina para el primer semestres del 2022 , que se encuentra localizado entre los cerros de Aguaviva, Pan de azúcar, Pital, Tubara y Guáimara a 10 km de la bahía sabanilla unida con el complejo de humedales de la banda izquierda del Rio magdalena. (Lastra, s.f). Este corregimiento de la ciudad de Barranquilla con el pasar del tiempo se ha convertido en una zona industrial, con actividades económicas como: ladrilleras, fabricación de cemento, fabricación de muebles y colchones disposición de escombros, entre otros, convirtiéndose en una de las áreas más transcurridas por vehículos pesados por lo que es de mayor interés analizar el comportamiento del material particulado.

2. Planteamiento Del Problema

La contaminación del aire es una problemática que cada día aumenta por las diferentes actividades que realiza el hombre ya sean en áreas urbanas o rurales causando no solo afecciones al medio ambiente si no a la salud humana. A su vez esta contaminación trae consigo muchas de las enfermedades respiratorias que por hoy van incrementando en especial en las poblaciones más vulnerables. A partir de lo anterior, este tema se ha convertido en una de las principales preocupaciones de salud pública y de organizaciones mundiales las cuales comentan que nueve de cada diez personas respiran aire con altos niveles de contaminantes y siete millones de personas mueren cada año por la contaminación del aire ambiente de exteriores y doméstico (OMS, 2021).

En tal sentido, el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA), en la primera entrega de informes, de unas estaciones que instalaron en cuatro municipios del departamento del Atlántico, revela que son contundentes que las partículas de emisiones por las diferentes actividades realizadas en el departamento tienen efectos sobre la salud de los habitantes. No obstante, la ciudad de Barranquilla cuenta actualmente con 4 estaciones de monitoreo, dando conocimiento que el estado de la calidad de aire en el último año ha presentado un estado aceptable para los contaminantes CO, SO₂, O₃, PM₁₀ y PM_{2.5}, los cuales no sobrepasa el límite máximo permisible establecidos por la normatividad ambiental colombiana en la resolución 2254 del 2017.

Barranquilla es una de las ciudades que a nivel nacional cuenta con una vigilancia constante en temas de mediciones de calidad de aire, esta con 4 estaciones de monitoreo, y una de ellas queda ubicada en el corregimiento de, Juan Mina. La autoridad ambiental EPA Barranquilla Verde es quien tiene a cargo estas estaciones, y la encargada de la ubicación de estas, para ello

consideran fuentes de emisión o generación de diversos contaminantes. Juan Mina, cumple con estas características y al ser un corregimiento de Barranquilla puede influir en la distribución de la carga de contaminantes hacia la ciudad, y aun más por lo que en los últimos años este corregimiento ha venido presentando un incremento a nivel industrial desarrollando diversas actividades relacionadas como producción, tratamiento de residuos, transporte de carga pesada, almacenamiento entre otros, los cuales muchas de estas actividades generan altas emisiones hacia la atmósfera aumentando la concentraciones del ambiente. Si bien se conocen que los contaminantes criterios causan afecciones a la salud, es importante estudiarlos desde su fuente de generación. Uno de ellos es el Material Particulado el cual tiene diversos tamaños. La estación de monitoreo de Juan Mina monitorea este contaminante para partículas de tamaño 10micras y 2.5 micras con una frecuencia de 24 horas, 7 días a la semana (Barranquilla A. d., 2022)

Estos monitoreos permiten analizar la concentración que se encuentra presente en el ambiente, es así como la importancia de analizar la dispersión que estos pueden tener en el ambiente que este trabajo investigativo se enfocara en el análisis del comportamiento del material particulado a través del modelo de dispersión en el corregimiento de Juan Mina con datos tomados durante el primer semestre del 2022, el cual permita generar conocimiento dando respuestas al interrogante principal.

¿El modelo de dispersión Qgis permite analizar las fuentes de contaminación de PM10 y PM2,5 en el área de influencia del corregimiento de Juan Mina?

3. Justificación

Cuando el material particulado está presente en la atmósfera ocasiona diversos impactos, como son: la flora, fauna y el hombre, entre ellos, la reducción visual en la atmósfera, ocasionada por la absorción y dispersión de la luz. También, la presencia del material particulado va de la mano con el incremento del riesgo de muerte por causas cardiopulmonares en estudios realizados en adultos.

La presente investigación facilita el análisis de condiciones atmosféricas relacionadas con la concentración de Material Particulado para el tamaño de PM 10 y PM 2.5, datos que son suministrados por la estación de Juan Mina. Con base a ello se podrá determinar las concentraciones de este contaminante, y proponer aquellas medidas correctivas que contribuyan a la disminución de estas sustancias persistentes en el aire.

Esta problemática toma relevancia debido se puede llegar a conocer condiciones ambientales con respecto a la calidad del aire basado en la cuantificación de las emisiones que generan las concentraciones del material particulado y los impactos respectivos que estos ocasionan.

El corregimiento Juan Mina pertenece a la ciudad de Barranquilla y se encuentra ubicado a 5km al suroccidente del casco urbano, sobre la prolongación de la carrera 38. Se encuentra en un sector estratégico donde hay diferentes actividades económicas a nivel industrial. (Cañas, 2016)

Teniendo en cuenta su lugar estratégico, encontramos sectores industriales con gran relevancia, como lo son el sector de construcción (ladrillera, concreto y cemento), parques industriales, planta de tratamiento de residuos peligrosos y especiales, compra, producción y comercialización de carbón de origen vegetal. (TIEMPO, 2021). Con esto buscamos resaltar que hay diferentes niveles de impactos por las distintas prácticas empleadas en el entorno de este sector.

La presente investigación es de interés, debido a que los modelos de dispersión nos permitirán focalizar el punto de emisión o aquellas actividades que lo provocan; así mismo, analizar las masas de aire y aquellos métodos de reducción que se pueden implementar en base a los resultados.

No obstante, es fundamental la elaboración de investigaciones encaminadas a la línea de epidemiología ambiental (calidad de aire), para generar bases o datos de las concentraciones de diferentes contaminantes con relación a las enfermedades asociadas a las mismas.

4. Objetivos

4.1.Objetivo General

Analizar del comportamiento del material particulado (PM10 Y PM2.5) a través del modelo de dispersión QGis, en el corregimiento de Juan mina para el primer semestre del 2022.

4.2.Objetivos Específicos

- Determinar las concentraciones de PM10 y PM 2.5 durante el primer semestre del 2022 del corregimiento de Juan Mina.
- Analizar mediante el modelo de dispersión QGis el comportamiento del PM10 Y PM2.5 en el primer semestre del 2022 en el corregimiento de Juan Mina.
- Proponer estrategias encaminadas a la mejora de la calidad del aire en el corregimiento de Juan Mina.

5. Marco referencial

5.1.Marco teórico

La contaminación del aire en los últimos años ha tomado gran importancia debido a los grandes impactos provocados en la salud humana, siendo este objeto de estudio e investigaciones, donde se han implementado diferentes modelos de dispersión para el análisis de cada uno de los contaminantes. Colombia por su parte se encuentra en el sexto país con el aire más contaminado de Latinoamérica. (OPS, 2018). Teniendo en cuenta esto la ciudad de Barranquilla cuenta actualmente con un índice en calidad del aire aceptable para los contaminantes criterios como PM10, PM2. 5, CO, SO2 y Ozono. (BarranquillaVerde, 2020)

Según la investigación realizada por Daniela Rojas , Julián Salazar , Daniel Montoya y Edinson Muñoz titulada problemática de la contaminación del aire en Colombia y estrategias de solución para la calidad de aire en Medellín , área metropolitana del valle de aburra (Antioquia) comentan que el 80% de las emisiones provocadas son del parque automotor , provenientes de la combustión de los combustibles fósiles igualmente explican que este tema ha sido de poca relevancia y actualmente Colombia no cuenta con un plan nacional para mejorar la calidad del aire donde se establezcan medidas a las políticas públicas relativas a los combustibles fósiles, ya que las normas establecidas para los límites permisibles de los contaminantes, no cuentan con los valores aceptados lo que significa la muerte de personas vulnerables conformada por niños y adulto mayores. (Rojas, Salazar, Montoya, & Muñoz, 2020).

Para finalizar la investigación de Alvis Camacho y Elián David titulada Impacto ambiental generado por el material particulado , sobre la calidad del aire en la zona de influencia de los proyectos carbonífero del Departamento del Cesar destacan Que las concentraciones de material particulado guardan un patrón estadístico asociado a los períodos secos y lluvioso de las zonas,

donde gracias a las representaciones espaciales desarrolladas en golden Surfer muestra las área con mayor influencia de concentración de PM10 del departamento del Cesar. (Camacho & Elian, 2012) Cabe resaltar que en esta investigación se hizo el análisis del material particulado en la salud, donde se llegó a la conclusión que siete de cada diez pacientes acuden al médico por problemas en el sistema respiratorio, siendo el motivo más frecuente la bronconeumonía en niños menores de dos años y ancianos.

5.1.1. Contaminantes Criterio

Los contaminantes son sustancias que se liberan en grandes cantidades en el ambiente, con gran variedad de fuentes y que presentan riesgo para la salud y bienestar de los humanos. (García, Grutter, & Cintora, 2007) Además, están normados, por lo que se les ha establecido un límite máximo de concentración en el medioambiente, con el propósito de generar alertas y medidas públicas para proteger la salud humana y mejorar la calidad del aire.

Están establecidos los distintos parámetros para determinar y analizar la calidad del aire, estos parámetros crecen o decrecen dependiendo de la cantidad de contaminación que se encuentre en un lugar en concreto, los niveles están dados según la combustión de los motores diésel, también por los niveles de los gases arrojados por las fábricas industriales, de reacciones químicas que se generan en la atmosfera, etc. Los límites de seguridad para la salud de las personas son dados por la organización mundial de la salud (OMS). (Rincón & Gutiérrez, 2021)

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterios en el aire

Contaminante	Nivel máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición
PM10	50	Anual
	100	24 horas
PM2.5	25	Anual
	50	24 horas
SO2	50	24 horas
	100	1 hora
NO2	60	Anual
	200	1 hora
O3	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

Fuente: (MADS, 2017)

El ente encargado del control y evaluación de la calidad del aire en Colombia es el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Los contaminantes criterio que monitorea la Secretaría Distrital de Ambiente a través de la RMCAB (excepto el plomo) son, las partículas PM2.5 y PM10, el dióxido de azufre (SO2), monóxido de carbono (CO), el ozono (O3), el dióxido de nitrógeno (NO2) y Óxidos de nitrógeno (NOx). (Minambiente, 2017)

5.1.2. Material Particulado (PM 2.5)

El material particulado PM2.5 (Particulated Matter), son partículas muy pequeñas que tienen un diámetro menor o igual a 2.5 micrómetros, quiere decir que es menor que el grosor de un cabello humano, son una mezcla que puede contener polvo, hollín, sustancias químicas orgánicas y metales. Estas partículas pueden ser producidas por las fábricas, automóviles, camiones, quema de madera y otras actividades; es también conocido como partículas finas en suspensión. El PM2.5 es un indicador con gran importancia, ya que por su diminuto tamaño entra fácilmente a los pulmones y hay estudios que muestran que llega a la sangre, alcanzando al ADN 20 humano, lo cual a futuro puede provocar cáncer, igualmente enfermedades cardiacas y pulmonares. Es el contaminante que más muertes causa. (Rincón & Gutiérrez, 2021)

5.1.3. Material Particulado (PM 10)

Son partículas con un diámetro menor o igual a 10 micrómetros, principalmente se tratan de partículas emitidas directamente a la atmosfera por las actividades humanas y fenómenos naturales; por su tamaño generalmente se depositan cerca a su lugar de origen y generan mayor afección a las vías respiratorias ya que tienen mayor capacidad de acceso a ellas. Las partículas PM10 tienen distintas fuentes, el polvo superficial se encuentra suspendido en la atmosfera por el tránsito de los vehículos y por el viento, el cual igualmente recircula partículas procedentes de la erosión de las rocas, partículas de sal procedentes de la espuma de mar. El polvo mencionado puede contener distintos tipos de contaminantes como fibras, esporas de moho, biocontaminantes, alérgenos, productos de combustión, etc. (Rincón & Gutiérrez, 2021)

5.1.4. Equipos de Monitoreo

Los equipos de monitoreo ambiental son dispositivos electrónicos utilizados para el registro y análisis de las condiciones ambientales. Su objetivo principal es detectar eventos inesperados, mantener la calidad y proteger a los trabajadores en el área donde hallan estándares de contaminación más altos. Estos pueden ser manuales o automatizados.

Estos varían dependiendo de su función. Por lo general, los más comunes son: la estación meteorológica, el anemómetro y el barómetro. Además, hay otras clases, aunque no tan populares como: la bomba aspiradora, los colectores solares o las bombas centrífugas. El objetivo principal es proteger al ambiente de las condiciones que pueden dañarlo. (Sánchez, 2021)

Los equipos de monitoreo ambiental permiten medir el daño originado por la actividad humana, que, mediante la deforestación, explotación de recursos naturales y producción de gases de efecto invernadero origina la destrucción de ecosistemas.

Por estas razones el monitoreo ambiental es una herramienta para conocer si una actividad o proceso que afecte al ambiente esta se encuentra dentro del rango permitido por la normativa vigente. Los equipos para registrar estos fenómenos consisten en sensores utilizados para estimar todas aquellas situaciones relacionadas con el medio ambiente como: presión, temperatura, humedad; localidad geográfica. (Sánchez, 2021)

5.1.5. Distribuciones Espaciales

La contaminación atmosférica puede inducir mortalidad prematura, por lo cual es importante evaluar y reducir la exposición de la población a altas concentraciones de contaminantes mediante medidas de control. Los modelos de calidad del aire (MCA) se emplean para construir mapas de valores medios o máximos de contaminantes, o mapas de exposición y excedencias de niveles críticos. Se usan en el proceso de gestión ambiental para la selección y evaluación de políticas ambientales de acuerdo con la evaluación de los costos y beneficios de la aplicación de éstas (Qiu et al. 2015), con el objetivo de reducir la exposición poblacional a contaminantes ambientales. (García, Mar, & Ruiz, 2018)

Los MCA son un conjunto complejo de modelos matemáticos que se encuentran acoplados (Grell et al. 2005) para simular numéricamente las concentraciones de contaminantes, su transporte meteorológico y sus transformaciones fisicoquímicas, usando como insumo fundamental las emisiones, cuya distribución espacial y temporal asume supuestos u observaciones sobre las actividades humanas (económicas, recreativas, de transporte, etc.). (García, Mar, & Ruiz, 2018)

La distribución espacial se desarrolla con el software Qgis el cual utiliza modelos de datos inteligentes que permiten representar variables continuas en el espacio. Este programa incluye

varias herramientas. Para medir la concentración de contaminación en la zona, se consideró valores de PM 2.5 y PM 10. (Santilla, Rodríguez, Orozco, Ríos, & Bayas, 2021)

5.1.6. Material Particulado y Efectos en la salud

Los estudios sobre el material particulado en la salud humana hacen énfasis en que el tamaño de las partículas se encuentra inversamente proporcional al potencial de generación de enfermedades y complicaciones pulmonares, cuando son partículas con menos de 10 micrómetros de diámetro suponen los mayores problemas, debido a que alcanzan mayores profundidades en los pulmones y algunas hasta son capaces de llegar al torrente sanguíneo. (EPA, 2022)

El conocido Material Particulado es una sustancia sólida presente en la atmósfera bien sea por causas naturales y antropogénicas, en este caso hacemos referencia al aumento de las actividades antropogénicas, estas actividades se mantienen en un constante crecimiento aportando a la degradación de la calidad de vida y calidad de aire.

Múltiples estudios científicos dicen que la exposición a la contaminación por partículas tiende a afectar en su mayoría a personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños y adultos mayores, como principalmente son:

- Muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares
- Infartos de miocardio no mortales
- Latidos irregulares
- Asma agravada
- Función pulmonar reducida
- Síntomas respiratorios aumentados, como irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar. (EPA, 2022)

5.1.7. Material Particulado y Efectos Ambientales

En los impactos negativos al medio ambiente por parte del material particulado, podemos nombrar y destacar 3 problemáticas principales:

- Deterioro en la visibilidad

Las partículas más pequeñas (PM_{2,5}) son la causa principal de visibilidad reducida (bruma) en ciudades grandes y desarrolladas con alto flujo vehicular.

- Daño medioambiental

El viento puede transportar las partículas a través de largas distancias y luego, estas pueden instalarse en el suelo o el agua. Según la composición química, los efectos de esta sedimentación pueden provocar: que los lagos y arroyos se vuelvan ácidos - cambio en el balance nutricional de las aguas costeras y de las grandes cuencas fluviales - reducción de los nutrientes del suelo - daño en los bosques sensibles y cultivos agrícolas - efectos perjudiciales sobre la diversidad de ecosistemas - contribución a los efectos de la lluvia ácida.

- Daño sobre materiales

El PM puede manchar y dañar la piedra y otros materiales, incluidos los objetos importantes a nivel cultural, como estatuas y monumentos. Algunos de estos efectos están relacionados con los efectos de la lluvia ácida sobre los materiales. (EPA, 2022)

Tabla 2. Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para los Niveles de Prevención, Alerta o Emergencia.

Contaminante	Tiempo de exposición	Prevención	Alerta	Emergencia
PM ₁₀	24 horas	155 - 254	255 - 354	≥ 355
PM _{2.5}	24 horas	38 - 55	56 - 150	≥ 151

Fuente: (MADS, 2017)

5.2.Marco Legal

Tabla 3. *Normatividad de calidad de aire en Colombia*

NORMA	Descripción de la Norma
Resolución 2254 de 2017	Por el cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. (MADS, 2017)
Resolución 909 de 2008	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. (MAVDT, Resolución 909, 2008)
Decreto – Ley 2811 de 1974	Por medio de este se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, el cual regula el manejo de los recursos naturales renovables, vela por la defensa del ambiente, establece los incentivos y estímulos económicos, define las tasas retributivas de servicios ambientales. (MAVDT, 1974)
Ley 99 de 1993	Norma base para la gestión ambiental a nivel nacional. Esta Ley Nacional se establece como un referente y apoyo normativo para la ejecución de cualquier proyecto de carácter ambiental. Así mismo como hace referencia al apoyo y función de las instituciones públicas (MAVDT, 1993)

Fuente: (Minambiente,2022)

5.3.Estado Del Arte

Las zonas costeras presentan muchas implicaciones con el tema de los contaminantes y el tráfico de barcos asociados a mercancía y turismo, en países como Vietnam el transporte marítimo desempeña un papel importante en el transporte de pasajeros y mercancías, pero también libera una gran cantidad de emisiones atmosféricas que aún no se han cuantificado exhaustivamente. Según (Huyen et al ., 2022) en su estudio desarrolló inventarios de emisiones (EI) basados en encuestas para 2015 y 2018 para evaluar el impacto de la regulación nacional en la reducción del azufre de combustible (S) en las emisiones en la bahía de Ha Long. Proporcionando gracias a su investigación información para el desarrollo de estrategias de reducción de emisiones y la evaluación de los efectos asociados en la salud utilizando herramientas de modelado de dispersión. Por otra parte, desde la óptica de una zona costera en América del Sur, la investigación desarrolla en Lima, Perú publicada durante la conferencia “Proceedings of the 2019 IEEE 26th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2019”, en la cual se propone un sistema de evaluación superior utilizando el análisis de Grey Clustering basado en la lógica difusa, con una propuesta metodológica en cual se evaluara la calidad del aire en Lima en toda el área costera. En este trabajo, se aplicó el método de funciones de peso de blanqueamiento triangular de punto central (CTWF), también se demostró que el modelo propuesto es exacto, comparable y aplicable. Y finalmente se obtuvieron diez puntos de monitoreo de las ciudades de Lima Metropolitana del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú - Senamhi. El método CTWF que fue aplicado utilizo parámetros de calidad del aire como PM10, PM2.5, SO2 y N02. Luego, los resultados se clasificaron utilizando el Índice de Calidad Común del Aire Promedio Anual (YACAQI). En consecuencia, los resultados mostraron la mayoría de las ciudades menos

contaminadas, esta investigación traza el camino para investigaciones futuras en calidad del aire y sus contaminantes en Lima, Perú (Delgado & Aguirre, 2019).

En consiguiente en el Sur de Italia en Taranto, se desarrolló una investigación sobre los contaminantes asociados a la zona costera de la ciudad, esta investigación se llevó a cabo mediante modelos de dispersión basados en inventarios de emisiones y campos meteorológicos son la herramienta principal de las agencias de control para apoyar la evaluación de la calidad del aire y la distribución de fuentes en áreas industriales complejas. Todo esto aplicando un sistema de modelización para estimar la contribución anual a las concentraciones totales de diferentes fuentes contaminantes en Taranto, una de las áreas más industrializadas de Italia, donde las emisiones urbanas típicas se superponen a las industriales ubicadas cerca del límite de la ciudad. Además, las emisiones de la industria y el tráfico fueron, en su mayor parte, responsables de las concentraciones simuladas de NO_x, mientras que las concentraciones primarias simuladas de PM₁₀ y PM_{2.5} parecían estar vinculadas a las emisiones industriales. Finalmente en esta investigación, para demostrar el nivel de representatividad del sistema utilizado en este estudio, las predicciones del modelo se compararon con los datos medidos de calidad del aire, en esta zona costera (San Jose R., 2013), (EEA/EMEP-CORINAIR., 2009).

De acuerdo con (García et al., 2019), en su investigación se analizaron los niveles de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} registrados en cuatro estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en el área urbana de Valladolid (España) durante 2015-2016. Para lograr esto, se determinó la evolución de las concentraciones de partículas a diferentes escalas de tiempo. Las concentraciones medias oscilaron entre 15,3 y 17,6 $\mu\text{g m}^{-3}$ para PM₁₀ y entre 8,9 y 14,8 $\mu\text{g m}^{-3}$ para PM_{2.5}. Las medias mensuales más altas se registraron en otoño e invierno. La diferencia entre las concentraciones medias los fines de semana y los días laborables para PM₁₀ fue de

alrededor de $3 \mu\text{g m}^{-3}$ en la mayoría de las estaciones de medición y fue de $1 \mu\text{g m}^{-3}$ para PM_{2.5}.

Dentro de este estudio se encontró que los valores medios fueron de aproximadamente 21 y $17\text{-}21 \mu\text{g m}^{-3}$, respectivamente, para PM₁₀. Los valores máximos medios para PM_{2.5} fueron de $12 \mu\text{g m}^{-3}$, excepto en uno de los sitios de medición, con $17 \mu\text{g m}^{-3}$ para el máximo de la mañana y $1 \mu\text{g m}^{-3}$ más para el pico nocturno. Como resultado y aporte para esta investigación y para la comunidad científica se determinó que los niveles de fondo de las concentraciones de partículas estimados en la mayoría de las áreas de muestreo fueron de alrededor de 15 y $7,7 \mu\text{g m}^{-3}$ para las fracciones de partículas PM₁₀ y PM_{2,5}. Además, también en España se encontró la investigación de la revista *Atmospheric Environment* en donde se resalta el interés de la comunidad científica en los últimos años en las zonas urbanas por la resuspensión al polvo de las carreteras como una de las principales fuentes de partículas atmosféricas en un entorno urbano. Dada la escasez de estudios sobre la variabilidad de la fracción PM₁₀ de los sedimentos depositados en la carretera, nuestra comprensión de los principales factores que controlan este contaminante está incompleta. Durante esta investigación se diseñó y aplicó una nueva metodología de muestreo para recoger la masa depositada de PM₁₀ de 1 m² de pavimento de carretera. La fracción de polvo de carretera PM₁₀ se muestreó directamente de los carriles de tráfico activos en 23 sitios de muestreo durante una campaña en Barcelona (España) (Amato et al., 2009).

Según (Gui et al., 2020), pocos estudios han explorado los vínculos de la contaminación del aire y los perfiles lipídicos infantiles y las dislipidemias. El objetivo de la investigación publicada por este investigador era explorar este tema en niños y adolescentes chinos. Este estudio incluyó a 12.814 niños de 7 a 18 años que participaron en una encuesta nacional en 2013. Se utilizó un modelo espacial-temporal basado en satélites para predecir partículas medias de 3 años (2011-

2013) con diámetros $\leq 1,0 \mu\text{m}$ (PM1), $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM2,5), $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM10) y concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂). Se emplearon modelos mixtos lineales generalizados para evaluar las relaciones entre la contaminación del aire y el colesterol total (TC), los triglicéridos (TG), el colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDL-C), el colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL-C) y las dislipidemias. Como resultado de esta no se encontraron asociaciones para la contaminación del aire y otros lípidos en la sangre. Las exposiciones a largo plazo a PM1, PM2.5, PM10 y NO₂ se asociaron positivamente con los niveles de TC y el riesgo de hipercolesterolemia en niños y adolescentes. De acuerdo con esto, (Araujo, 2011) Por otro lado, si bien tanto los gases como las partículas se han relacionado con efectos perjudiciales para la salud, más evidencia implica que los componentes de las partículas (PM) son los principales responsables de una gran parte de los efectos proaterogénicos. Múltiples enfoques experimentales han revelado la capacidad de los componentes de las partículas para desencadenar y/o mejorar las reacciones de radicales libres en las células y los tejidos, tanto ex vivo como in vivo (Araujo, 2011)

Desde el desarrollo de la industrialización colombiana y la cultura de crecimiento de las grandes ciudades de Colombia, se destaca un estudio realizado desde el sector industrial en el año 2021, como parte del octavo Congreso Colombiano y Conferencia Internacional en Calidad de Aire y Salud Pública, CASAP 2021 – Proceedings, en donde la estimación y el desglose de espacio tiempo de la metodología de fuentes industriales estacionarias se ha mejorado recientemente a través de las diferentes herramientas disponibles en la Secretaría de Medio Ambiente de Bogotá (SDA). Según la base de datos de 2018, la distribución del uso de combustible en fuentes industriales estacionarias fue de gas natural (87% de fuentes estacionarias), seguido del carbón (4%), el diesel (3%) y otros combustibles (6%). Como resultado de esta investigación se destaca que las emisiones totales estimadas para fuentes

industriales estacionarias fueron: 2,74 E+02 t/a PM10, 8,43 E+01 t/a PM2.5, 7,46 E+02 t/a NOX, 6.22E+02 t/a SO2, 2,72E+02 t/a CO, 2,98 E+01 t/a COV (Vásquez et al., 2021).

Adicionalmente, según (Almeida et al., 2014) los vehículos de motor son una fuente importante de contaminación del aire y estudios recientes sugieren una asociación entre las emisiones de los automóviles y el aumento de los síntomas respiratorios o la disminución de la función pulmonar. En las zonas industriales, debido a la dependencia de las industrias de los vehículos de motor para el transporte de productos y trabajadores y debido a que se han implementado estrictos controles de emisiones para reducir la liberación de contaminantes de las fuentes estacionarias, el peso del tráfico ha ido aumentando, en comparación con las fuentes antropogénicas locales.

Según el inventario de emisiones altamente resuelto espacialmente de contaminantes atmosféricos seleccionados en el entorno urbano de Kuala Lumpur, las emisiones contaminantes atmosféricos de la industria y el tráfico están causando problemas urgentes de calidad del aire y clima en las zonas urbanas. Este estudio tiene como objetivo estimar las emisiones del transporte por carretera y la pequeña industria en Kuala Lumpur, y revisar la distribución espacial de las emisiones estimadas. Los datos de emisiones para 2015 de las pequeñas industrias y el tráfico por carretera para PM10, PM2.5, SO2, NO2 y NOx se recopilaron, procesaron y luego se agregaron a una resolución de 1 km² utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) y las herramientas de software de la base de datos de inventario de emisiones: ArcGIS y el Kit de Herramientas de Inventario de Los resultados de este estudio muestran que las emisiones totales de PM10, PM2.5, SO2, NO2 y NOx son 8234.4, 3991.7, 2589.3, 5168.8 y 56927 t/y, respectivamente, donde cerca del 99 % del total de las emisiones estimadas se originaron de fuentes de tráfico por carretera. En promedio, la población de Kuala Lumpur emite 4,55, 2,21,

1,43, 2,86 y 31,5 kg/a/persona de PM10, PM2,5, SO2, NO2 y NOx, respectivamente (Azhari et al.,2021).

De acuerdo con investigaciones relacionadas a los métodos y modelos de dispersión para modelar contaminantes, encontramos la investigación de (Ward-Caviness et al., 2016), en donde se exploraron la asociación entre el envejecimiento biológico acelerado y la contaminación del aire, como un mecanismo potencial que vincula la contaminación del aire y la salud. Estimamos la exposición a largo plazo a PM10, PM2.5, absorción PM2.5/carbono negro (BC) y NOx a través de modelos de regresión de uso de la tierra en individuos de la cohorte KORA F4. El envejecimiento biológico acelerado se evaluó utilizando la longitud de los telómeros (TeloAA) y tres medidas epigenéticas: aceleración de la edad de metilación del ADN (DNAmAA), aceleración de la edad epigenética extrínseca (correlacionada con los recuentos de células inmunitarias, EEAA) y aceleración de la edad epigen. También investigamos las asociaciones específicas por sexo entre la contaminación del aire y el envejecimiento biológico, dada la asociación publicada entre el sexo y las medidas de envejecimiento.

Por otro lado, según (Ljungman et al., 2019), para estudiar la exposición a largo plazo a la contaminación del aire por partículas, el carbono negro y sus componentes de origen en relación con la cardiopatía isquémica y el accidente cerebrovascular, se basaron en bases de datos de emisiones detalladas, datos de monitoreo y modelos de dispersión de alta resolución, calculamos las contribuciones de fuentes a PM con diámetro aerodinámico = 10 μ m (PM10), PM con diámetro aerodinámico = 2,5 μ m (PM2,5) y carbono negro (BC) del desgaste de la carretera, los gases de escape del tráfico. Se utilizaron los datos del registro de los participantes de cuatro cohortes para obtener la incidencia de IHD y accidente cerebrovascular por primera hospitalización o muerte.

De igual forma, según (Hooper et al., 2018), en su estudio sobre Contaminación del aire ambiente y bronquitis crónica en una cohorte de EE. UU. Mujeres, para el estimar las concentraciones medias anuales de PM_{2,5}, PM₁₀ y NO₂ se utilizó un modelo nacional de regresión del uso de la tierra con suavizado espacial en las direcciones domésticas de las participantes en un estudio prospectivo de cohortes a nivel nacional de los Estados Unidos de hermanas de mujeres con cáncer de mama. La bronquitis crónica incidente y la bronquitis crónica prevalente, la tos y la flema, se evaluaron mediante cuestionarios. De lo cual se encontró que la exposición a PM₁₀ se relacionó con la prevalencia de bronquitis crónica. Entre los que nunca fuman, la exposición al PM_{2,5} y al NO₂ se asoció con bronquitis crónica y síntomas de los componentes. De acuerdo con la investigación niveles de partículas suspendidas totales (pst), PM₁₀ y PM_{2.5} y su relación en lugares públicos de la ciudad Riohacha, caribe colombiano, el investigador (Rojano et al., 2013), presento su estudio enfocado en determinar las concentraciones de partículas en suspensión totales (TSP) y partículas con un tamaño inferior a 10 y 2,5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2,5}) en el área urbana de la ciudad de Riohacha en Colombia. Para esta investigación utilizo de instrumentos un muestreador de alto volumen para TSP y PM₁₀ y un muestreador de bajo volumen (Partisol) para PM_{2.5}, todo en seis estaciones de monitoreo. Los resultados mostraron que las concentraciones medias de PM₁₀ oscilaron entre 43,69 y 19,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el PST osciló entre 86,02 y 27,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el promedio de PM_{2,5} fue de 14,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otra parte, en el Valle del Cauca los investigadores (Jimenez & Moreno, 2019), presentaron una evaluación de las concentraciones atmosféricas de partículas de 10 micrómetros (PM₁₀) y 2,5 micrómetros (PM_{2,5}) monitoreadas en cuatro puntos del área urbana del municipio de Vijes durante los meses de mayo, junio y julio de 2019. Sobre la base de esto, se analizó la dinámica de dispersión teniendo en cuenta la meteorología del área en estudio y se estableció su relación con las fuentes de contaminación cerca de los puntos de monitoreo.

6. Metodología

6.1. Área De Estudio

Barranquilla es una de las principales ciudades de Colombia, se encuentra localizada en el departamento del Atlántico. Limita por el oriente con el río Magdalena, al norte con el mar Caribe, hacia el occidente con los municipios de Puerto Colombia, Galapa y por último al sur con Soledad (BARRANQUILLA, 2000). Actualmente cuenta con 1.274.250 habitantes ocupando la cuarta posición en las listas de los centros más poblados de Colombia. (Lopez, 2022) Esta ciudad se caracteriza por tener un clima tropical seco con una temperatura de 28° centígrados y una humedad relativa de 76%. Barranquilla no tiene estaciones, pero tiene dos periodos en el año, fenómeno de la Niña y el Niño. (BARRANQUILLA, 2000).

6.1.1. Localidades de la ciudad de Barranquilla

La ciudad de Barranquilla está organizada en 5 localidades según el acuerdo distrital No.006 de agosto de 2006 (Barranquilla A. d., 2022).

Localidad suroccidente: Limita al norte con la carrera 38, al suroriente con la cordialidad, al este con la calle Murillo y al suroccidente con Galapa, zonas urbanas, rurales y el corregimiento de Juan Mina.

Localidad suroriente
Limita al norte con la carrera 38, al suroriente con el río Magdalena, al suroccidente con el Murillo y al sur con el municipio de Soledad.

Localidad norte-centro histórico
Limita al nororiente con el río Magdalena, al norte con la carrera 46 autopista al mar hasta la calle 84, continuando en la calle 82 con carrera 64 hasta unir con el río Magdalena y por último al occidente con la circunvalar.

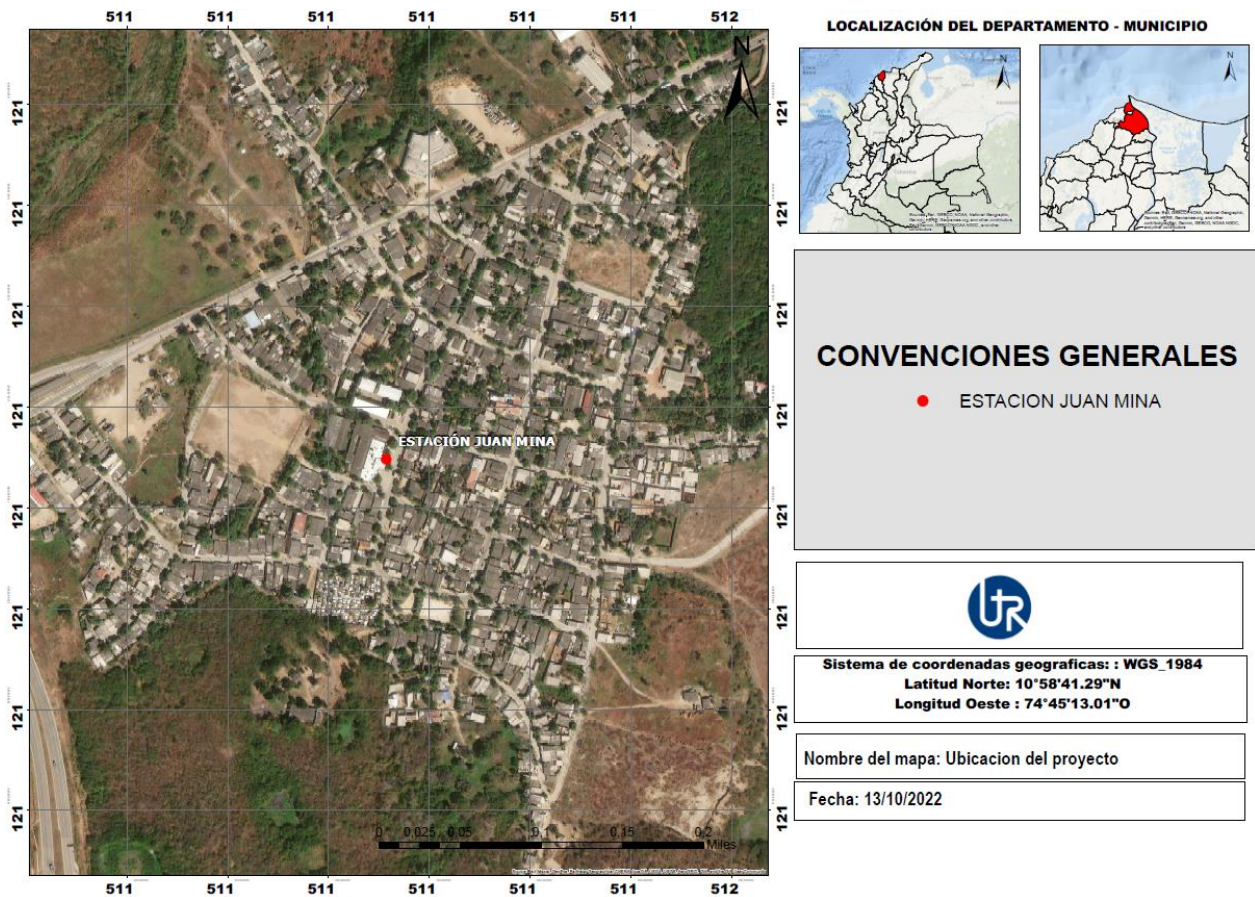
Localidad metropolitana
Limita al suroriente con la cordialidad empalmado con la calle 45 con carrera 21, al suroeste con la circunvalar incluyendo zonas de expansión urbana y rural.

Localidad Riomar
Limita al norte con el río Magdalena, al occidente con el municipio de Puerto Colombia, al sur con la carrera norte de la 46 autopista al mar hasta la calle 84 y al oriente con la carrera 46 con calle 84 continuando hasta la calle 82 y al arroyo de la 84 y finaliza en el río Magdalena, zonas rurales y urbanas hasta el corregimiento la Playa (Barranquilla A. d., 2022).

6.1.2. Corregimiento Juan Mina

El área de estudio de este proyecto corresponde a Juan mina que es uno de los corregimientos de la ciudad de Barranquilla, se encuentra ubicado entre los cerros de Aguaviva, Pan de azúcar, Pital, Tubara y Guáimara a 10 km de la bahía sabanilla unida con el complejo de humedales de la banda izquierda del Rio magdalena. Su clima al igual que Barranquilla es cálido, seco y tropical con temperaturas de 28° centígrados. Este corregimiento se encuentra conectado con Barranquilla por la carrera 38, denominada a partir de allí como carretera del algodón hasta el municipio de Tubará (Lastra, s.f) Actualmente Juan Mina en infraestructura ha avanzado, la gran mayoría de sus calles se encuentran pavimentadas, parques recreacionales, y zonas verdes.

Ilustración 1. Ubicación del área de Estudio Juan Mina



Fuente: (Autores, 2022).

6.2. Área de Influencia

La ubicación de la última estación de calidad de aire en el corregimiento de Juan Mina fue con base a estudios de fuentes de emisiones que constituye a una zona industrial en crecimiento y en sus alrededores, ya que se encuentran ladrilleras, incineradoras de residuos peligrosos, cementeras, lo cual se ve reflejado por quejas presentadas por la comunidad asociadas a problemas de calidad de aire de la zona. “Por eso fue necesario atender este sector con una estación de monitoreo, la cual va a ayudar a la vigilancia de la contaminación atmosférica y velar por la salud de los habitantes, mejorando así su calidad de vida”, aseguró el director. (GOV.CO, 2022).

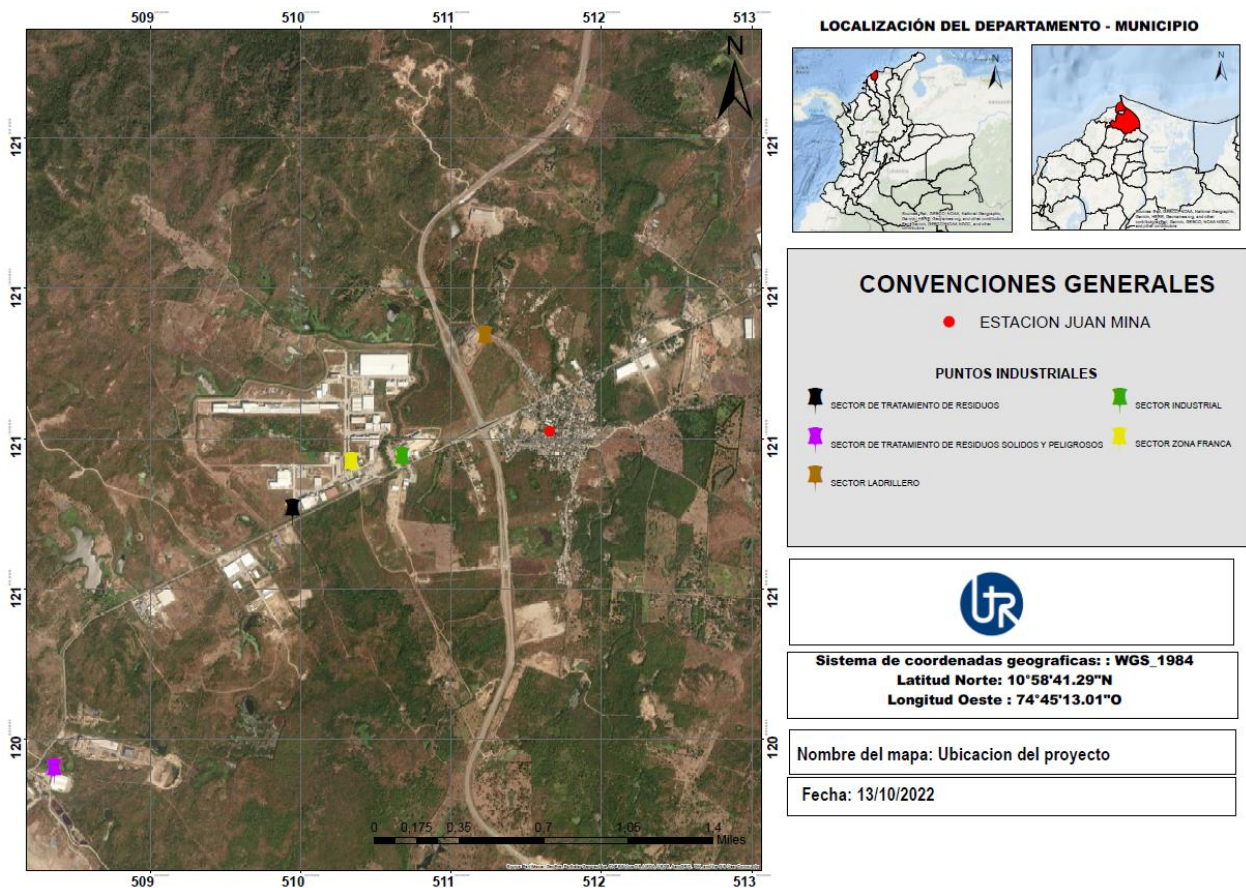
6.2.1. Actividad Económica

El corregimiento de Juan Mina con el pasar del tiempo se ha convertido en una zona industrial, donde se encontrarán actividades económicas tales como:

- Ladrilleras
- Fabricación de cemento
- Fabricación de vidrios blindados
- Fabricación de baldosas
- Fabricación de jabones
- Fabricación de colchones y muebles
- Fabricación de cajas de cartón
- Disposición y tratamiento de residuos peligrosos
- Disposición de escombros

De igual manera su población se dedica a la ganadería obteniendo los derivados de esta para su comercio y la venta de carbón vegetal. Sin embargo, se encuentran negocios de pequeñas escalas como restaurantes. Tiendas de barrios, ferreterías, droguerías, café internet, misceláneas etc.

Ilustración 2. Sectores industriales dentro del área de influencia de 500m a la redonda de la estación de monitoreo.



Fuente: (Autores, 2022).

6.3.Descripción De Los Equipos

El equipo usado en la estación de Juan Mina es el APM-2 que consta con los siguientes componentes principales:

- Bomba de vacío
- Tubo de admisión
- Entrada del impactador

- Fotómetro
- Sensores de temperatura, humedad y presión
- Impactador virtual
- Unidad de control con monitor y lector de tarjetas SD
- Modem GPRS
- Caja de acero inoxidable (estilo gabinete)

El equipo APM-2 aplica el método de nefelometría utilizando la luz dispersa por partículas diminutas para determinar las concentraciones de PM10 y PM2.5 en el ambiente, resaltando que es de forma continua y directa. Consta de un sistema con una entrada de impactador para fraccionar las partículas y otro impactador virtual para dividir la corriente de aire en dos corrientes individuales para la determinación alternada y cuasi-simultanea de las fracciones de material particulado suspendido, PM10 y PM2.5. (COMDE-DERENDA, 2022).

También podemos incluir algunos datos específicos con el que consta el equipo APM-2 para su funcionamiento:

Tabla 4. Datos técnicos del equipo de monitoreo APM-2 implementado en la estación de calidad de aire Juan Mina

Datos técnicos	Medidas	Valores específicos
Caudal		3,3 l/min
Duración de la medición		Continua
Fuente de alimentación		230 V, 50/60 Hz o 110 V AC 50/60 Hz

Datos técnicos	Medidas	Valores específicos
Consumo de energía	típico aprox.	27 W / 46 VA
Consumo de energía	máx.	48 W / 85 VA
Rango de medición		0 ... 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Resolución		1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dimensiones	Ancho	320 mm
	Altura	560 mm
	Profundidad	270 mm
Peso	Aprox.	16 kg
Rango de temperatura de funcionamiento		-20 ... +50 °C
Rango de humedad de funcionamiento		5 ... 95 % HR

Fuente: (COMDE-DERENDA, 2022)

Ilustración 3. Equipo APM-2



Fuente: (EPA Barranquilla Verde,2022)

6.4.Monitoreo

La estación móvil de Juan Mina realiza un monitoreo de los contaminantes criterios PM10 y PM2.5 constante, es decir, las veinticuatro horas del día de los siete días de la semana 24/7. Además, realiza un conteo de partículas lo que accederá a tener datos concretos y precisos, concediendo información de primera mano a la ciudadanía para la toma de decisiones y acciones oportunas para sus actividades cotidianas y salvaguardar su salud. (Barranquilla A. d., 2022) obstante, el equipo de monitoreo APM-2 con el que cuenta la estación móvil, tiene como principales funciones:

- Control en tiempo real de las partículas
- Medición de PM2,5 y PM10, alternando en intervalos cortos
- Panel de control con monitor de gran tamaño que muestra todos los parámetros de medición
- Función de actualización del software
- Módem GPRS tribanda
- Medición de los valores ambientales

(COMDE-DERENDA, 2022)

No obstante, ante de iniciar los monitoreos se valida la medición de los equipos deben pasar por un proceso de calibración, el cual se hace a través del siguiente proceso:

El instrumento entra en la fase de "Inicialización", el papel de filtro se alimenta en un paso y la placa de presión se coloca en posición alta, contra el papel de filtro. Luego, la bomba se pone en marcha: el dispositivo pasa a la fase de «Secado de papel» con visualización de la cuenta atrás del tiempo de secado.

Luego, el instrumento pasa al modo "Blank" y muestra la cuenta regresiva del tiempo de precalentamiento del contador GM y la medición del conteo en blanco.

El instrumento realiza el primer blanco de una serie de 10 calibraciones. El instrumento repetirá 10 veces la medida en blanco, según lo programado en el campo «Número de calibración».

Cuando se terminan los 10 espacios en blanco, la pantalla muestra el promedio de las medidas de N espacios en blanco. Luego, el cursor se coloca frente a "Inserción de calibre de referencia" y este mensaje parpadea. Se debe insertar y hacer clic en el calibre de referencia, guiado por los dos pines.

El instrumento verifica el indicador de referencia, luego el cursor se mueve a «Calibración» y el instrumento inicia la calibración. En el siguiente campo, el valor instantáneo de conteo se muestra a la izquierda y el valor promedio de conteo se muestra a la derecha.

Finalización de la calibración del manómetro Beta: el instrumento vuelve a colocar la placa de presión contra el filtro para reiniciar las mediciones o realizar una nueva calibración. (Environnement S.A L' Instrumentation de l'environnement. Octubre, 2007).

6.5.Análisis De Datos

Para el análisis de datos se requiere de los datos obtenidos por el equipo de la estación para ello estos valores deben ser validados cada uno teniendo en cuenta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, así como los formatos FPM-GAM-01-06 Temperatura Shelter, FPM-GAM-01-01 Formato Registro CERO Y SPAM, FPM-GAM-01-05 Calibración Ver Material Particulado V01, FPM-GAM-01-03 Calibración – Verificación MFC V1 y FPM-

GAM-01-02 Calibración Multipunto V1, establecidos por la entidad EPA Barranquilla Verde quien suministro los datos.

Para determinar el rango de validación, el laboratorio de calidad ambiental del EPA Barranquilla verde. Desarrolló un análisis histórico, teniendo en cuenta los datos generados desde el año 2018. Se realizó un análisis para cada una de las variables monitoreadas para establecer valores máximos y mínimos, una vez realizado este paso se procedió a establecer valores límites para cada variable, cabe resaltar que los datos que superen los límites máximos o mínimos deberán ser invalidados solo si se comprueba que no están asociados a eventos meteorológicos. (BarranquillaVerde, 2020). Para estos datos se estableció la siguiente bandera “DA”. Los límites establecidos son los siguientes:

Tabla 5. Límites establecidos por EPA Barranquilla Verde.

Parámetros	Límites	Bandera
PM10	Menor a 5 ug/m ³ – Mayor a 150 ug/m ³	
PM 2,5	Menor a 3 ug/m ³ – Mayor a 70 ug/m ³	DA

Fuente: (BarranquillaVerde, 2020).

Una vez realizadas las verificaciones de formatos y la aplicación de las diferentes banderas e invalidaciones, se procede a llevar cabo el análisis de los datos por medio de estadística en Excel, esto para tener resultados claros y evitar confusiones con los resultados, de esta forma obtener una mejor comprensión del estudio en cuestión. Se resalta que el tipo de análisis de datos es cuantitativo, por lo anterior mencionado este nos proporciona estadísticas exactas de tal forma ser asertivos con los resultados reales que se quieren obtener.

Los datos reportados de calidad del aire deben cumplir con ciertos requisitos mínimos en cuanto a cantidad de datos presentados, cálculos, análisis y comparación con la norma nacional de acuerdo con la Resolución 2254 de 2017.

Por otro lado, la función de esta herramienta Qgis se basa en la toma de datos de forma numérica y datos topográficos como entrada y ejecutar mapas de dispersión del material particulado como salida. Teniendo en cuenta que esta herramienta fue diseñada bajo el modelo matemático Gaussiano los datos de interés son datos climatológicos como la dirección y velocidad del viento y datos de la zona de estudio como las coordenadas donde se desea o está implementada la fuente de emisión y su respectivo. La herramienta se diseñó bajo el lenguaje de programación Python y QGIS y herramientas flexibles en la cuales acepta archivos como lo son las hojas de Excel, adicional, este programa es de libre acceso y fácil de usar que permitieron bajo pocas líneas de código identificar y dimensionar de manera rápida el efecto de las emisiones de fuentes fijas sobre la calidad del aire.

Una vez analizado los datos gráficamente se utiliza la herramienta Qgis para analizar espacialmente la Calidad del Aire con respecto a los contaminantes (PM_{2.5}, PM₁₀), la distribución de los parámetros de calidad del aire de manera espacial considerando las actividades económicas que se llevan a cabo.

7. Resultado Y Discusión

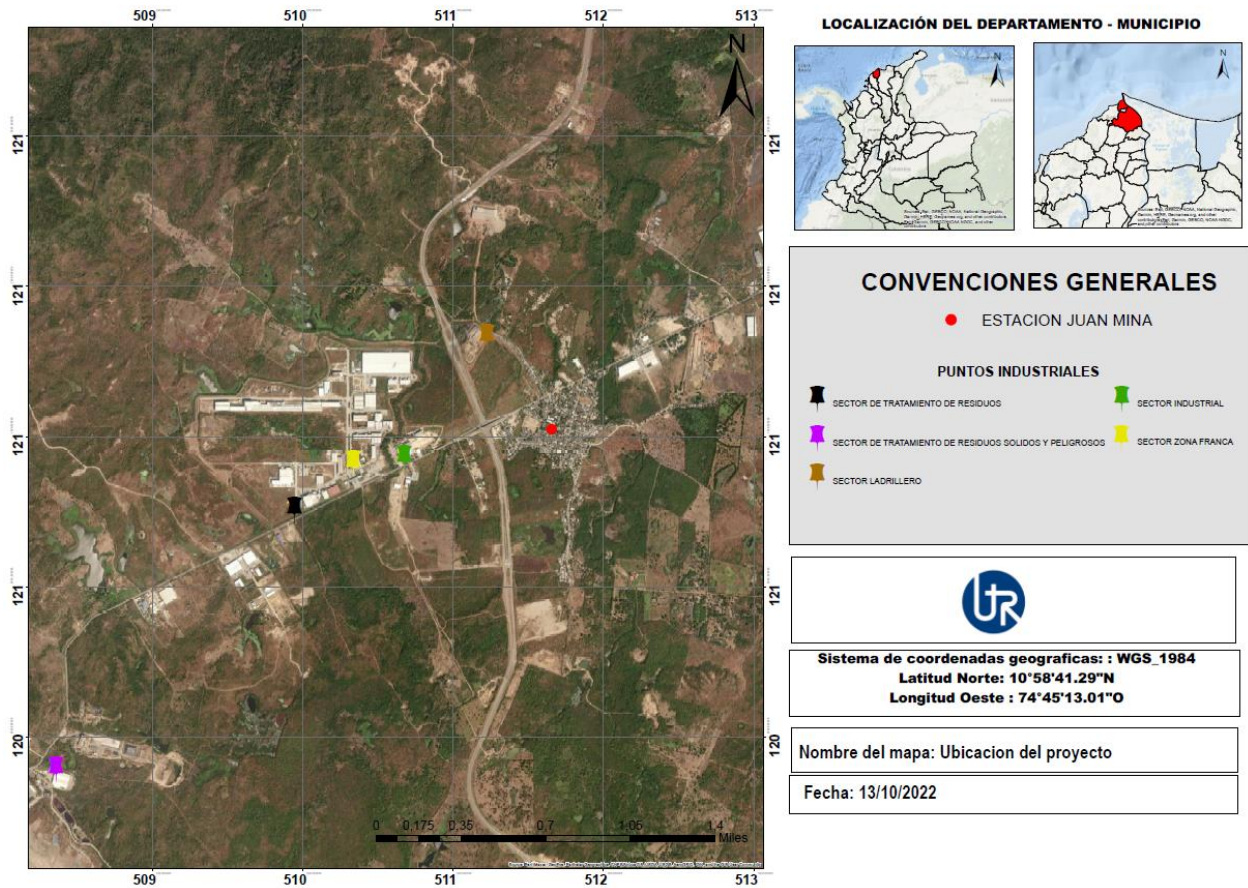
7.1. Identificación De Las Fuentes Generadoras De Emisiones De Material Particulado De PM10 Y PM2.5 Cerca A La Estación De Monitoreo De Juan Mina

Para la identificación de las fuentes fijas se contó con el Establecimiento Publico Ambiental Barranquilla Verde, revisando los expedientes de las empresas e industrias que se encuentran ubicadas, sin embargo, se dirigió al lugar para poder identificar de primera mano, estos sectores que están en áreas cercanas a donde se encuentra la estación de monitoreo, para ello se identificaron:

- Ladrilleras
- Fabricación de cemento
- Fabricación de vidrios blindados
- Fabricación de baldosas
- Fabricación de jabones
- Fabricación de colchones y muebles
- Fabricación de cajas de cartón
- Disposición y tratamiento de residuos peligrosos
- Disposición de escombros

No obstante, por medio del programa Qgis, se trazó un diámetro de 500m a la redonda desde donde se encontraba la estación para analizar esos sectores que emiten constantemente en cercanías a la misma.

Ilustración 4. Sectores industriales dentro del área de influencia de 500m a la redonda de la estación de monitoreo.



Fuente: (Autores, 2022).

Esto desde el punto de vista satelital nos rectifica los sectores que pueden estar influyendo de manera directa e indirecta sobre la estación de monitoreo y por ende conlleva a que impacte sobre la población cercana. Según investigaciones periodísticas, varios de los pobladores en ciertas épocas se quejan de las emisiones que estos realizan a la atmosfera por ende es importante, realizar el análisis en esta zona para observar las concentraciones de PM10 y PM2.5 que generan estas actividades. No obstante, cabe resaltar que no solo se atribuye estas concentraciones de la carga de contaminantes a esas fuentes fijas, hay un porcentaje de estas que son móviles, pero para el presente estudio no se consideraron por el tiempo reciente que lleva la estación de calidad de aire de la zona.

7.2.Comparación De Las Concentraciones De Material Particulado PM10 Y PM2.5 En La Estación De Monitoreo De Juan Mina

7.2.1. Concentración PM 2.5.

Para las comparar las concentraciones del material particulado se requirió tener en cuenta la norma nacional de calidad del aire (Resolución 2254 del 2017) y los límites permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), para poder analizar el comportamiento horario, diario y mensual del material particulado (PM10 y PM2.5) en el corregimiento de Juan Mina, para ello se tuvo en cuenta los datos de la estación de monitoreo de calidad de Juan Mina.

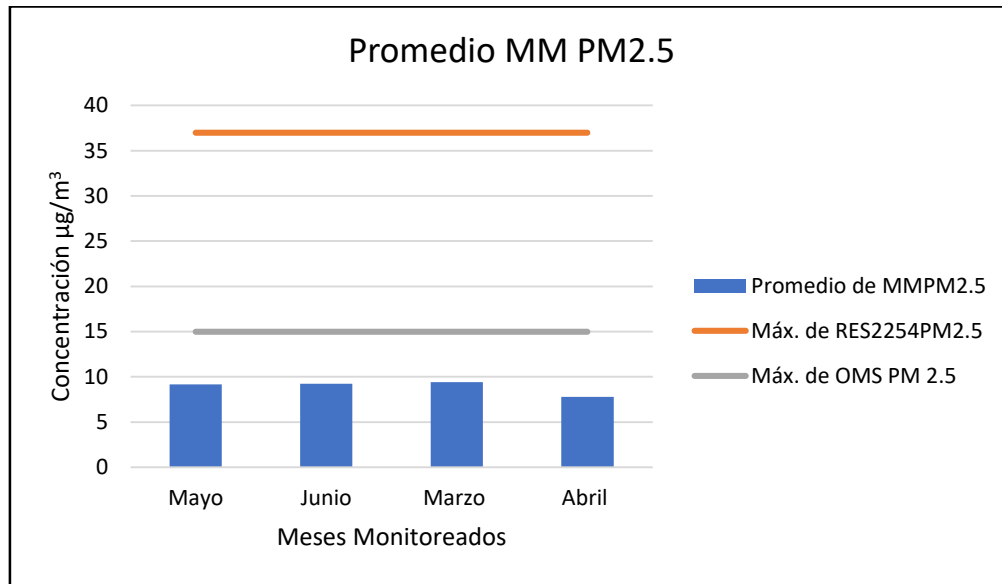
Tabla 6. Concentración y comparación del contaminante PM 2.5

Mes	Promedio de MMPM2.5	Máx. de RES2254PM2.5	Máx. de OMS PM 2.5
Mayo	9,157464718	37	15
Junio	9,243398843	37	15
Marzo	9,409000657	37	15
Abril	7,780534336	37	15

Fuente: (Autores,2022)

En la tabla 6 se observa las concentraciones de los cuatro meses de monitoreo para ello se hizo el analisis por medio de la Media Móvil por mes, y así poder analizar si cumple o no con respecto a la norma colombiana Resolución 2254 y la establecida por la OMS para material particulado 2.5. es así como con base a esta tabla se obtuvieron los siguientes gráficos:

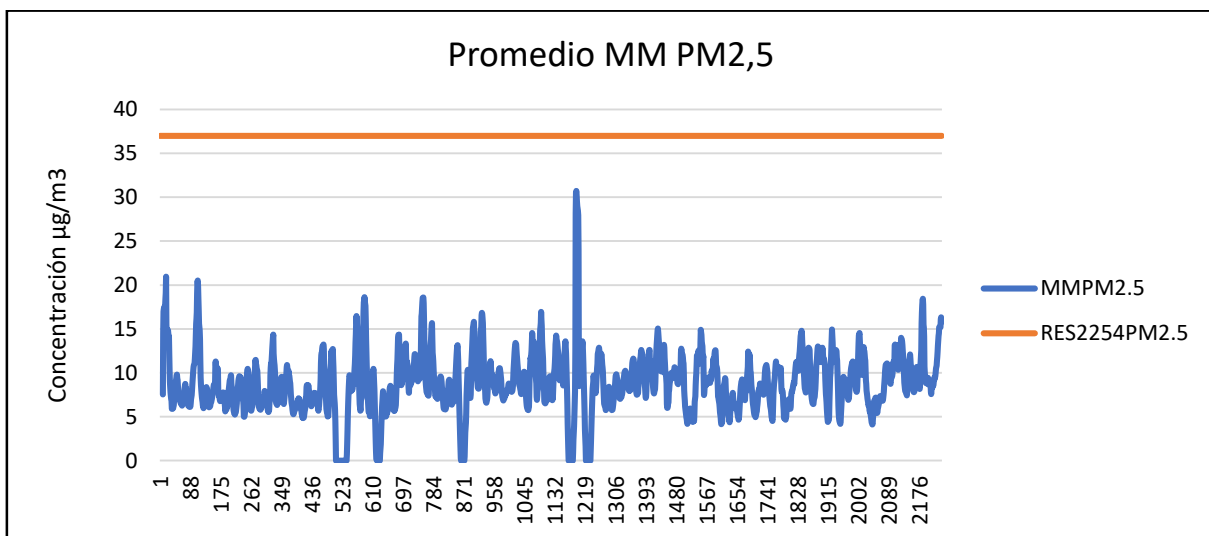
Gráfica 1. Concentración Mensual de PM 2.5



Fuente: (Autores, 2022)

El comportamiento que se analiza en el gráfico 1, puede corroborar lo que comenta la tabla, todos cumplen con los límites establecidos tanto para la Resolución 2254 del 2017 que es $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como la estipulada por la OMS que no es superar el umbral de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No obstante, en el gráfico 2 podemos analizar las concentraciones en su totalidad (no agrupadas mensualmente si no por promedio de hora diaria).

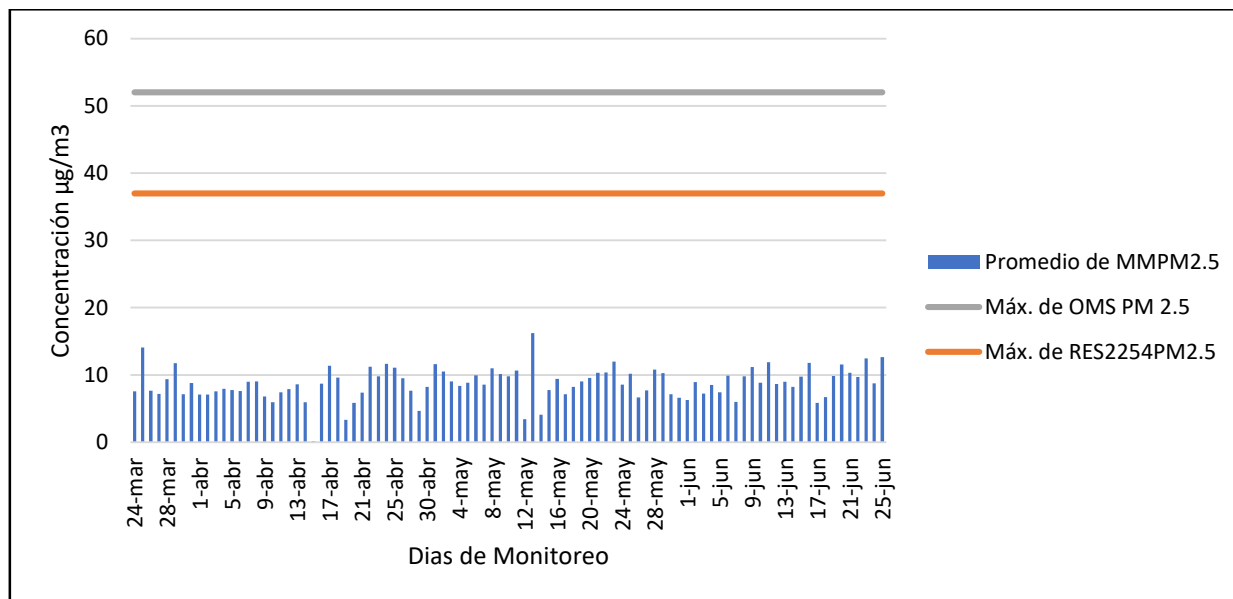
Gráfica 2. Concentración diaria de los meses monitoreados de PM 2.5



Fuente: (Autores, 2022)

Así mismo, dentro del desarrollo del proyecto se analizó el día que mayor frecuencia de emisiones se obtuvo para ello el grafico 3 muestra que el día 12 de mayo fue el día que mayor captación de PM2.5 recibió el equipo de la estación.

Gráfica 3. Días de concentración de PM 2.5



Fuente: (Autores, 2022).

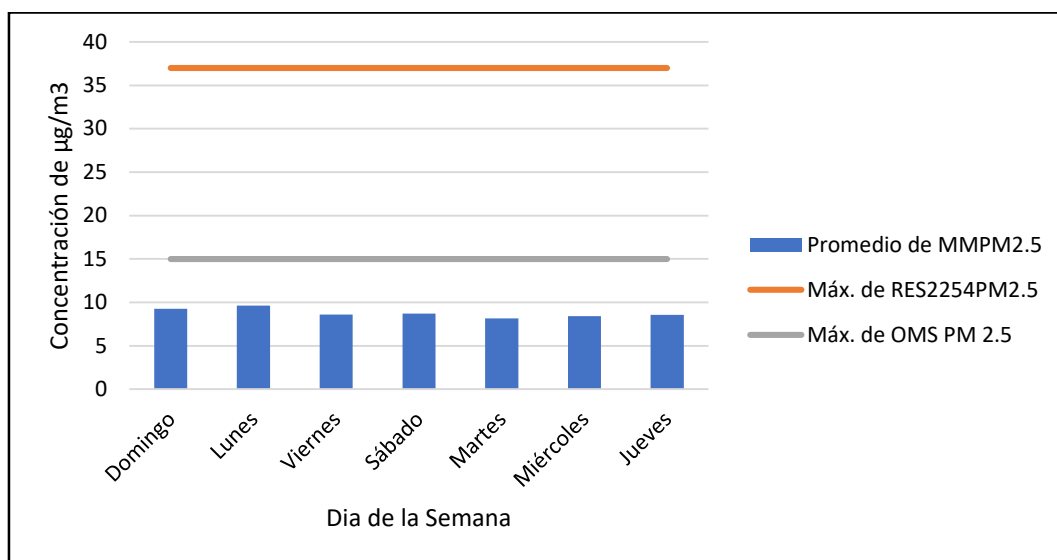
Por otro lado, se vio la importancia de analizar el día de la semana que mayores emisiones en cercanías a la estación monitoreo y para ello se analizó que:

Tabla 7. Concentración PM 2.5 por día de semana

Día de la Semana	Promedio de MMPM2.5	Máx. de RES2254PM2.5	Máx. de OMS PM 2.5
Lunes	9,627882055	37	15
Martes	8,139989316	37	15
Miércoles	8,423298611	37	15
Jueves	8,570555556	37	15
Viernes	8,58599537	37	15
Sábado	8,6979146	37	15
Domingo	9,263890675	37	15

Fuente: (Autores, 2022)

Gráfica 4. Concentración de PM 2.5 por día de la semana.



Fuente: (Autores, 2022).

Con base a la gráfica 4 y la tabla 7 se puede analizar que los días de la semana que mas se emiten son los lunes y los domingos, esto conlleva a analizar que las empresas tienen turnos continuos de 24 horas 7 días a la semana en donde no paran sus procesos de producción.

7.2.2. Concentración PM 10

Para las comparar las concentraciones del material particulado PM 10 se llevo a cabo el análisis de las mismas variables utilizadas para PM 2.5, obteniendo así la siguiente información suministrada en la tabla 8.

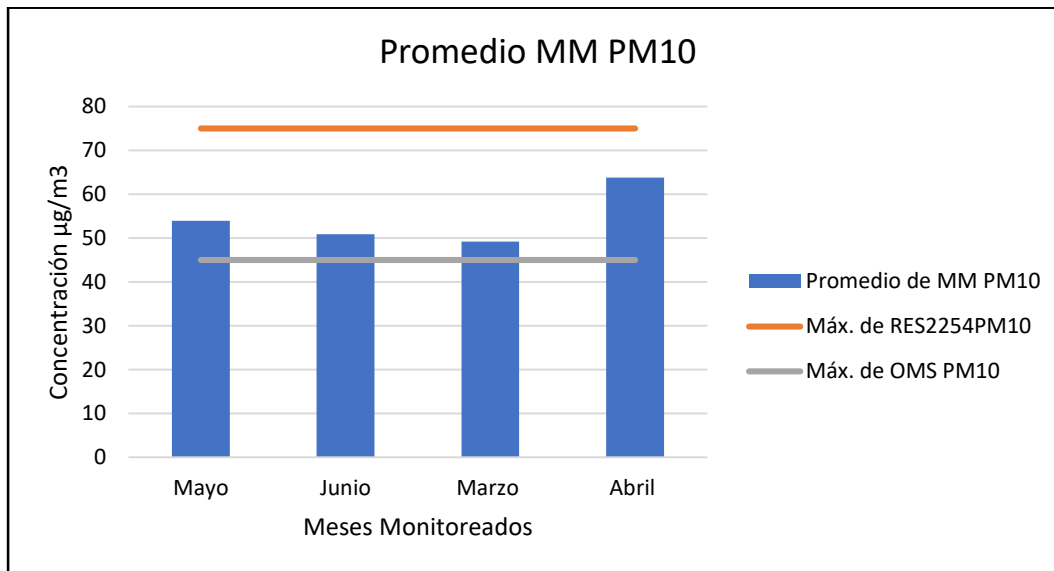
Tabla 8. Concentración y comparación del contaminante PM10.

Mes	Promedio de MMPM10	Máx. de RES2254 PM10	Máx. de OMS PM 10
Mayo	53,96472801	75	45
Junio	50,89776944	75	45
Marzo	49,17217514	75	45
Abril	63,78835764	75	45

Fuente: (Autores, 2022).

En la tabla 8 se observa las concentraciones de los cuatro meses de monitoreo para ello se hizo el analisis por medio de la Media Móvil por mes, y así poder analizar si cumple o no con respecto a la norma colombiana Resolución 2254 y la establecida por la OMS para material particulado PM 10 es así como con base a esta tabla se obtuvieron los siguientes gráficos:

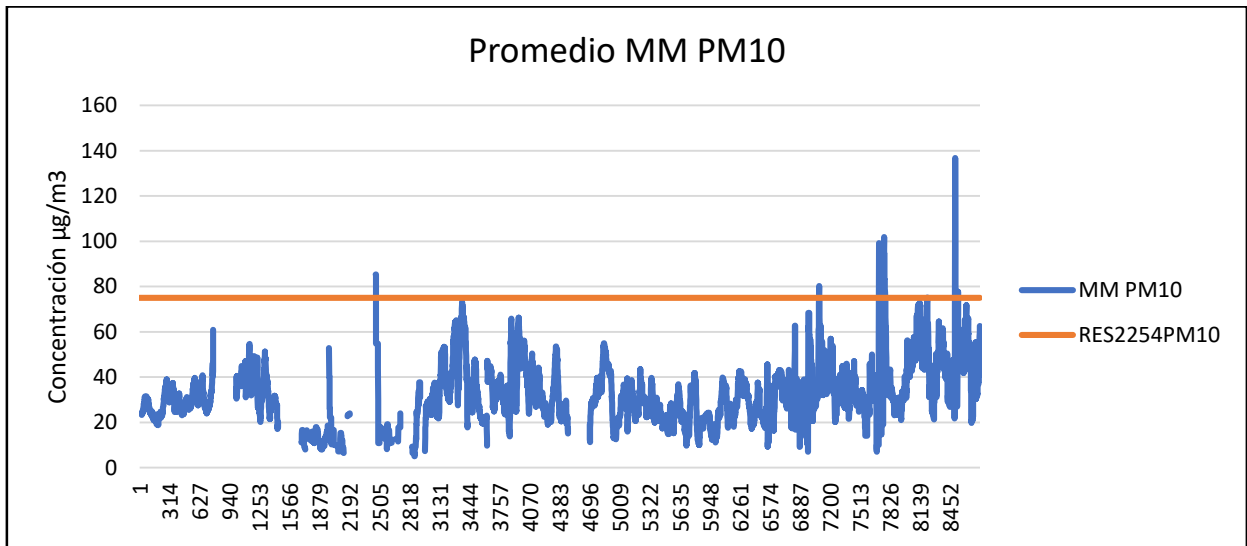
Gráfica 5. Concentración Mensual de PM 10.



Fuente: (Autores, 2022)

El comportamiento que se analiza en el grafico 5, con respecto a lo evidenciado en el grafico 1 que muestra las concentraciones de PM2.5, para el caso de la concentración de PM10 NO cumple con los limites establecidos por la OMS por ende supera el umbral de 45 µg/m³, y se analiza que están recibiendo mucha carga de este contaminante en áreas cercanas a donde hay población. No obstante, para lo estipulado en la Resolución 2254 del 2017 cumple con el limite el cual es 75 µg/m³. No obstante, en el gráfico 6 podemos analizar las concentraciones en su totalidad (no agrupadas mensualmente si no por promedio de hora diaria).

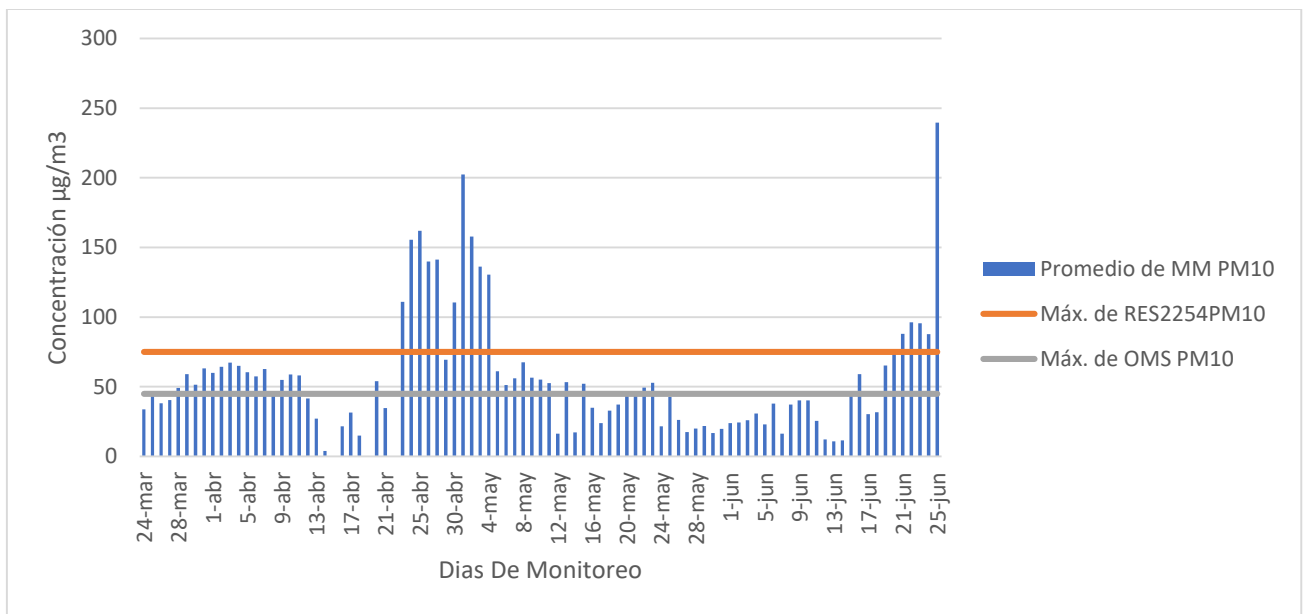
Gráfica 6. Concentración diaria de los meses monitoreados de PM 10.



Fuente: (Autores,2022)

En la gráfica 6 se puede notar unos intervalos donde no se presentaron registro de datos de PM10, por ende, analizó el día que mayor frecuencia de emisiones se obtuvo para ello el gráfico 7 muestra que entre los días 30 de abril y 4 mayo fue el día que mayor captación de PM10 recibió el equipo de la estación.

Gráfica 7. Días de concentración de PM 10



Fuente: (Autores, 2022).

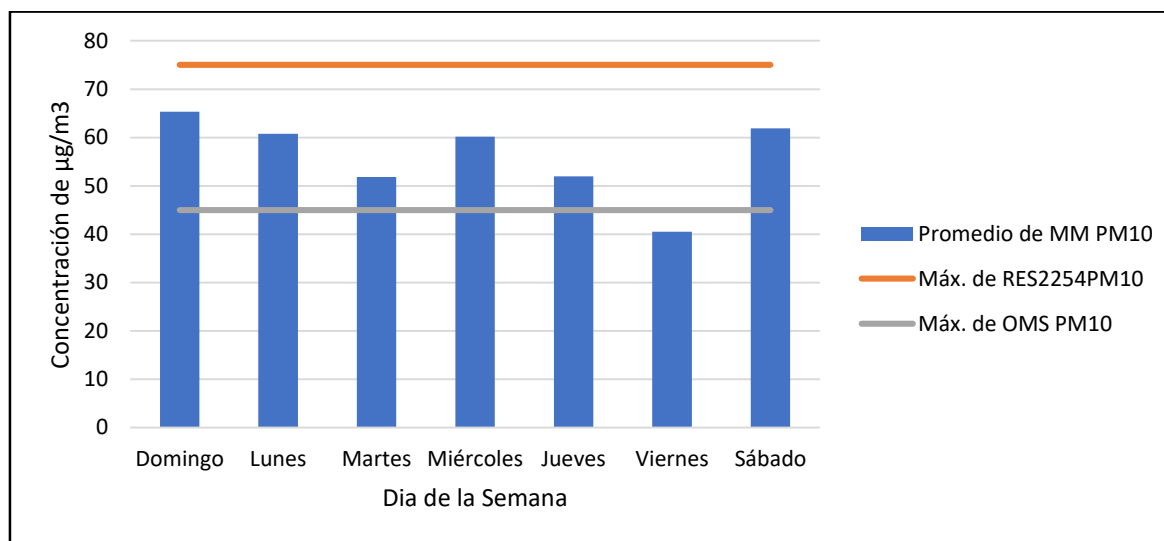
Por otro lado, se vio la importancia de analizar el día de la semana que mayores emisiones en cercanías a la estación monitoreo y para ello se analizó que:

Tabla 9. Concentración PM 10 por día de semana

Día de la Semana	Promedio de MM PM10	Máx. de RES2254 PM10	Máx. de OMS PM10
Lunes	60,77953814	75	45
Martes	51,8445137	75	45
Miércoles	60,1507029	75	45
Jueves	51,96841168	75	45
Viernes	40,47778108	75	45
Sábado	61,88087054	75	45
Domingo	65,33517685	75	45

Fuente: (Autores, 2022)

Gráfica 8. Concentración de PM 10 por día de la semana.



Fuente: (Autores, 2022).

Con base a la gráfica 8 y la tabla 9 se puede analizar que los días de la semana que mayor se emisiones tiene son los sábados, y domingos esto conlleva a analizar que las empresas tienen turnos continuos de 24 horas 7 días a la semana en donde no paran sus procesos de producción. No obstante, los días lunes y miércoles se consideran de altas concentraciones de PM10 en esta zona.

7.3. Análisis mediante el modelo de dispersión QGIS el comportamiento del PM10 Y PM2.5 en el primer semestre del 2022 en el corregimiento de Juan Mina.

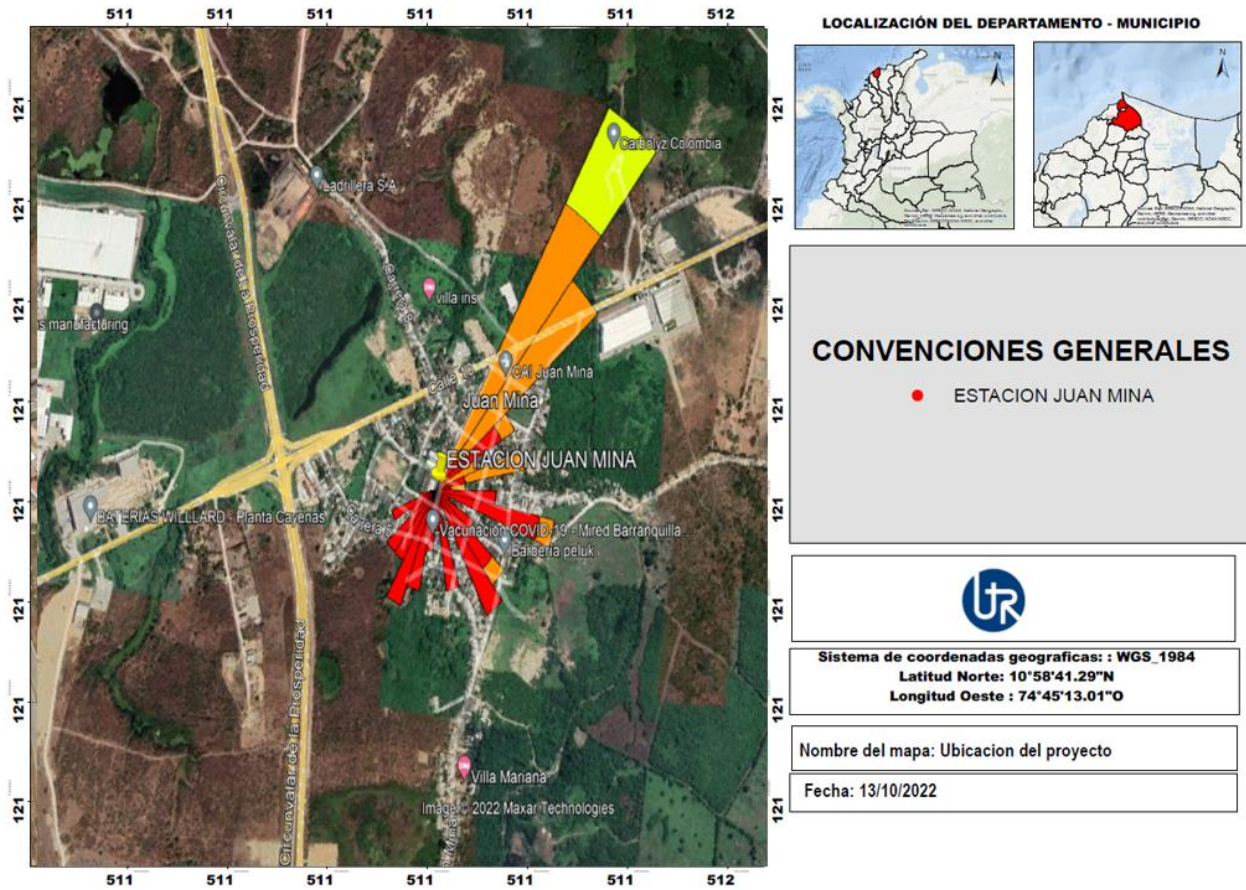
Los modelos matemáticos aplicados a la modelación ambiental como la calidad del aire son herramientas útiles que nos ayudan a analizar los impactos y deterioros del medio ambiente, e igual para poder proponer estrategias de manejo ambiental. De esta forma los Sistema de Información Geográfica (SIG) son instrumentos vitales para el manejo y proporción de los recursos que de igual manera que los modelos permiten dimensionar los posibles impactos ambientales. Es así que por medio de esta herramienta se realizaron los siguientes mapas donde se muestra la concentración de los datos de PM10 y PM2.5 y hacia donde se simula que va su distribución. Así mismo, se realizó el análisis de la rosa de los vientos que permite observar hacia donde esta partícula puede trasladarse. No obstante, cabe resaltar que los mapas estipulados anteriormente como la identificación de los sectores de aérea de influencia fueron realizados por el programa. Es de esta manera que la ilustración 5 nos permite analizar hacia donde se dirigen los vientos, para ello se considero los datos meteorológicos suministrados por la misma estación y posterior al suministro estos fueron promediados por días los parámetros de velocidad y dirección del viento ya que la rosa de los vientos para su análisis así lo estipula.

Tabla 10. Promedio de Velocidades y Dirección del viento estación de monitoreo Juan Mina.

DIA	PROMEDIO DIRECCION MARZO	PROMEDIO VELOCIDAD MARZO	PROMEDIO DIRECCION ABRIL	PROMEDIO VELOCIDAD ABRIL	PROMEDIO DIRECCION MAYO	PROMEDIO VELOCIDAD MAYO	PROMEDIO DIRECCION JUNIO	PROMEDIO VELOCIDAD JUNIO
1	98,4375	2,4375	98,4375	1,51666667	214,645833	0,95	166,833333	1,2375
2	43,125	3,3375	44,0625	1,625	159,333333	1,60833333	211,854167	0,94583333
3	34,6875	2,85416667	30	2,20416667	134,279091	2,15	239	1,15833333
4	30	4,025	101,25	1,58333333	48,75	2,07916667	233,4375	0,77916667
5	27,1875	4,07916667	92,7916667	1,80833333	135,781828	0,825	185,583333	0,75
6	30	3,32916667	31,875	2,41666667	204,354167	0,62916667	204,354167	1,07083333
7	34,6875	2,55	69,3541667	1,8	155,625	1,29616108	210,916667	1,45
8	35,625	3,125	48,75	1,99583333	128,4375	1,42083333	237,125	1,0625
9	56,25	2,55416667	56,25	2,58333333	101,25	1,55	162,1875	0,7
10	83,4166667	2,29166667	26,25	3,91666667	161,391304	0,6375	146,229167	0,90833333
11	39,375	2,17083333	29,0625	3,34583333	187,395833	1,19583333	159,354167	1,45833333
12	97,5	1,70833333	30	3,57083333	190,25	1,27083333	217,479167	0,6375
13	72,1875	2,77083333	28,125	2,73333333	120,9375	1,11666667	134,041667	1,20833333
14	30	4,125	33,75	2,61666667	143,395833	1,25	185,541667	1,02083333
15	33,75	3,45	38,4375	2,74583333	101,25	1,12083333	231,5	0,76666667
16	68,4166667	2,40416667	54,3541667	1,825	35,625	1,47916667	235,3125	0,79583333
17	37,125	2,355	197,708333	1,69583333	177,166667	0,66666667	110,625	1,47916667
18	30,9375	3,2625	246,541667	1,43333333	223,125	0,8875	209,041667	0,79166667
19	33,75	3,2125	209,041667	1,18333333	179,041667	0,76666667	194,041667	0,60833333
20	33,75	2,81666667	197,75	1,3125	223,125	0,89583333	139,6875	1,03333333
21	30	3,78333333	201,458333	1,57083333	51,5625	1,84166667	22,5	1,4125
22	30	3,52083333	200,625	0,8875	40,3125	2,2375	116,25	1,09583333
23	34,6875	2,82083333	131,009532	1,33969262	29,0625	1,97916667	95,625	1,1125
24	31,3043478	2,92608696	52,5	2	137,8125	1,02916667	137,8125	1,22916667
25	33,75	2,575	121,833333	1,5	80,6041667	1,48333333	166,038462	0,63846154
26	73,125	2,25	54,375	1,80833333	130,3125	1,15416667	0	0
27	67,5	2,69166667	38,4375	2,475	176,25	0,9625	0	0
28	32,8125	3,40833333	40,3125	2,38	89,9791667	1,30416667	130,178571	1,31428571
29	29,0625	3,4375	57,1875	2,1875	89,0416667	1,4625	89,9791667	1,925
30	34,6875	2,45833333	72,1875	1,60833333	137,8125	1,0625	102,25	1,71818182
31	29,0625	2,74583333			134,958333	1,4875		

Fuente: (Autores, 2022)

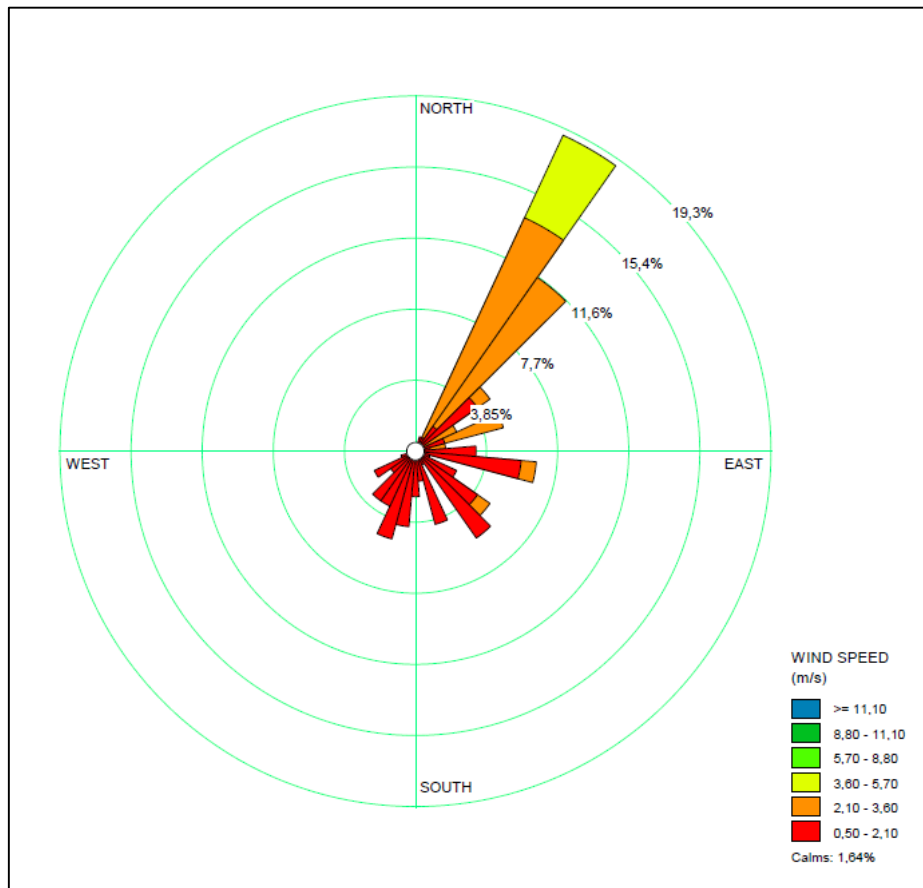
Ilustración 5. Rosa de los vientos para la estación de monitoreo Juan Mina



Fuente:(Autores,2022)

Esta rosa de los vientos me permite analizar hacia donde se dirigen las velocidades del viento, los cuales tienen direcciones que van en el sentido Norte-Este, lo cual indica que el desplazamiento del contaminante llega a los barrios de Barranquilla aledaños al corregimiento de Juan Mina. No obstante, para analizar un rango de frecuencia se apoyo de la herramienta WRPLOT, para validar esta rosa de los vientos.

Ilustración 6. Rosa de los vientos para la estación de monitoreo Juan Mina

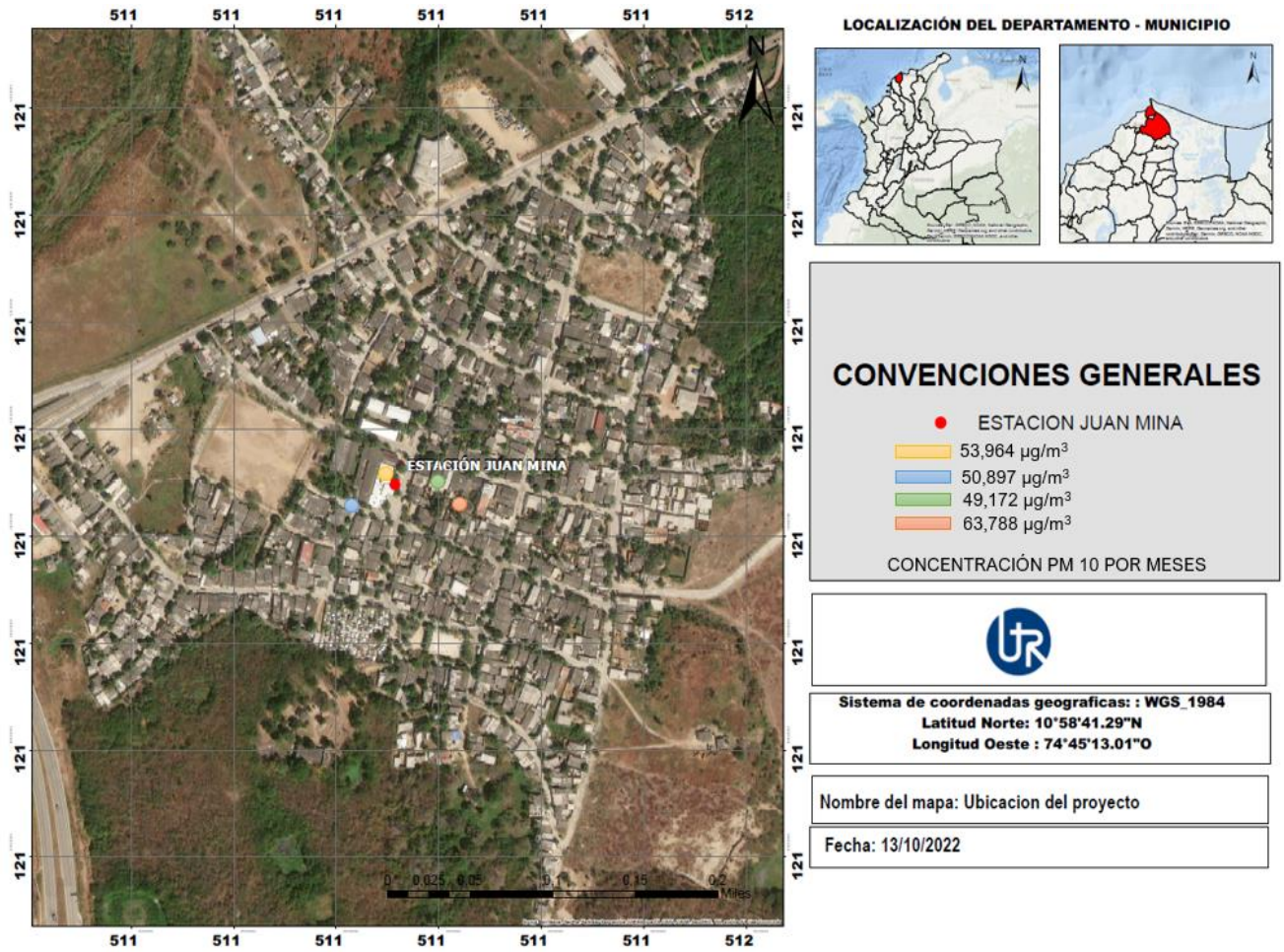


Fuente: (Autores, 2022)

En esta rosa de los vientos nos permite ya analizar las velocidades en unidades de m/s que se generaron con base a la información suministrada por el equipo, dando así que prevalecen velocidades que van desde 2.10 m/s a 3.60 m/s.

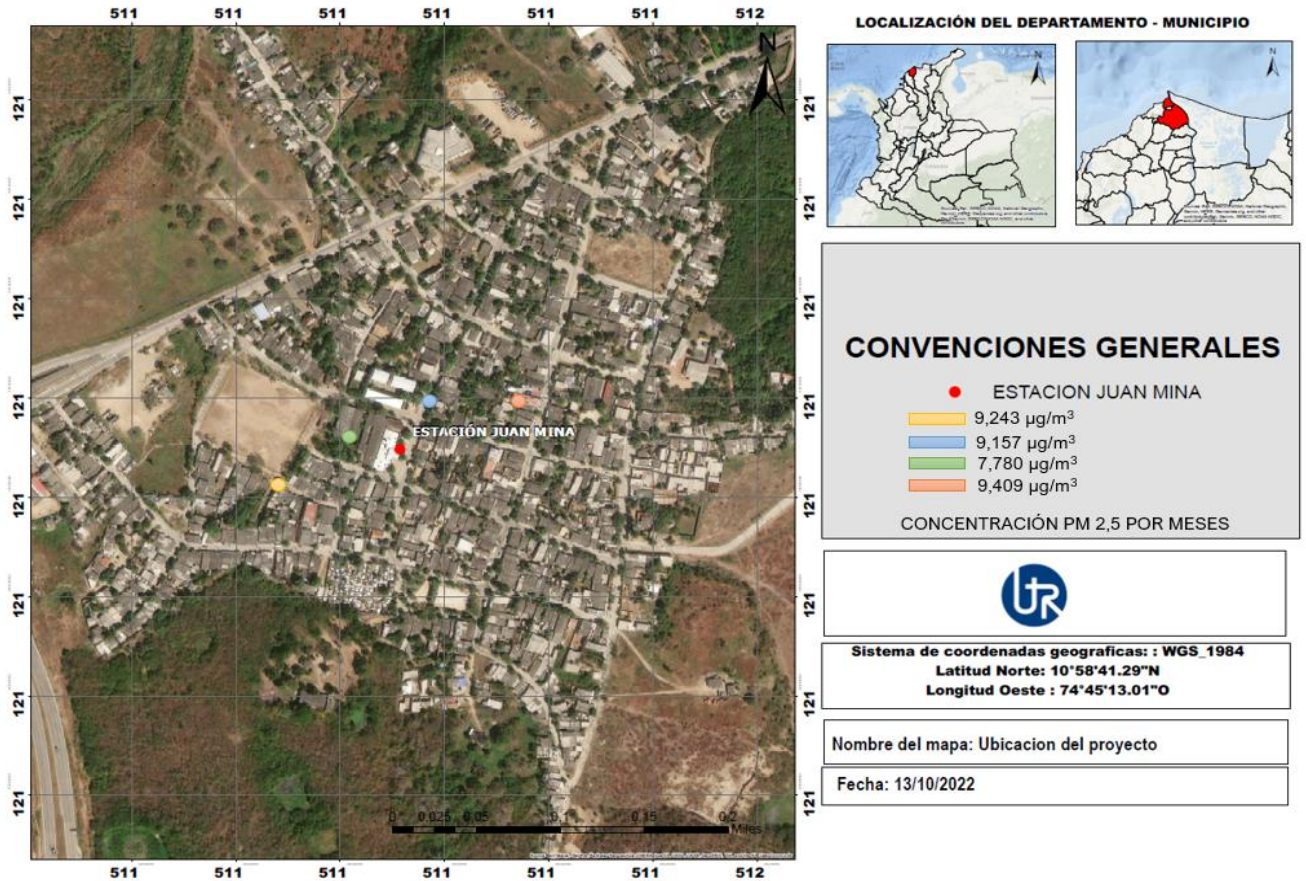
Para el análisis de los contaminantes y el desplazamiento que tendrían los mismos teniendo presente la dirección y velocidad del viento se obtiene lo observado en la ilustración 7 y 8.

Ilustración 7. Distribución de la concentración de PM10



Fuente: (Autores, 2022)

Ilustración 8. Distribución de la concentración de PM2.5



Fuente: (Autores, 2022)

Si se analiza las ilustraciones 7 y 8 las concentraciones tienden a mostrar una distribución espacial hacia el Noreste, lo cual coincide con lo estipulado en la rosa de los vientos, evidenciada en las anteriores ilustraciones.

7.4.Estrategias encaminadas a la mejora de la calidad de la calidad del aire en el corregimiento de Juan Mina.

Los resultados obtenidos nos permiten proponer estrategias y recomendaciones para el progreso y mejora de la calidad de aire en el área de estudio, en este caso, el corregimiento de Juan Mina, son:

Intervención automovilística

Disponer de señalizaciones para la reducción de velocidad en la vía principal (Cra38), con el propósito de regular las velocidades habituales de los vehículos, no obstante, instalando reductores de velocidad se podría obtener unos mejores resultados. También se implementa estrategias de pico y placa para disminuir el flujo vehicular del corregimiento.

Aspersión con agua

Esta técnica es eficaz por el hecho que es de bajo presupuesto y se obtienen buenos resultados, teniendo en cuenta que se debe realizar un debido plan de riego, que mínimamente debe estar compuesto por: herramientas necesarias (equipos), trazabilidad de ruta, periodos de riego (frecuencia), fuente de captación, zonas o áreas de aplicación específicas. Resaltando que esta técnica solo sería aplicable en épocas de sequía.

Plantación de arboles

La vegetación urbana tras ser de bajo costo es siempre bien recibida por la sociedad debido a los beneficios que trae consigo, principalmente sabiendo que son captadores de contaminantes, agregando que según (Srbinovska, Andova, Krkolev, & Celeska, 2021) encontramos que la plantación de árboles disminuye en promedio un 25% de PM2.5 y aprox. 37% de PM10 en comparación con las áreas aledañas sin vegetación urbana, y agregando valor estético donde se implemente.

Conclusiones y Recomendaciones

En estos últimos tiempos los contaminantes atmosféricos han sido analizados desde equipos fijos como móviles, sin embargo, cada día la ingeniería ha venido desarrollando mejoras para que estos monitoreos sean lo mas real posible. Este trabajo, nos conlleva a analizar que hoy en día es importante incluir estas clases de estudios porque permite el avance en cuanto al cuidado del ambiente y el control de emisiones, la sobrepoblación, el consumismo y sobre todo la aceleración industrial, puesto que cada día los niveles de contaminación atmosférica. Es así como podemos concluir de este trabajo varios aspectos:

- Con base a los monitoreos realizados para PM10, el mes con mayor concentración que se obtuvo fue el abril con un valor de $63,788 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el mes con menor concentración evidenciada fue Marzo con valor de $49,172 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor al cual se puede atribuir que como no se inicio el monitoreo el 1 marzo si no el 24 de marzo, se de esas bajas concentraciones en la zona.
- Par el PM2.5, también podemos analizar que el mes con mayor concentración fue marzo con $9,409 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el de menor concentración fue abril con un valor de $7,780 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que nos lleva a analizar que la mayoría de las actividades que se realizan en cercanías a la estación de Juan Mina, generan micras de mayor tamaño de material particulado.
- Tanto para PM10 y PM2.5, los fines de semana se consideran los días que mayores emisiones se dan dentro de la misma, lo que lleva analizar que las operaciones esas días tienen mayor movimiento, adicional el parque automotor de la zona aumenta, ya que el corregimiento de Juan Mina es una de las vías principales que conecta el

corregimiento de Tubará, por ende los vehículos de alto cilindraje generan mayor concentración de este contaminante.

- Con respecto a las direcciones del viento que nos arroja el programa de Qgis y fueron validados con el programa WRPLOT, da un análisis donde se observa que la mayoría de los vientos se dirigen hacia la ciudad, lo cual genera preocupación porque este puede conllevar al aumento de ese contaminante en la ciudad.
- En cuanto a las estrategias propuestas dentro de la presente investigación, son estrategias que la mayoría son a bajo costo y a corto plazo para su ejecución, el cual puede trabajarse de la mano con la comunidad y autoridades competentes.

Las recomendaciones que surgen en este trabajo están relacionadas con la herramienta elegida para el análisis de distribución si bien los modelos matemáticos son herramientas que permiten estudiar los fenómenos asociados al comportamiento de contaminantes en la atmósfera a través del análisis numérico que reproduce una visión simplificada de la realidad el programa Qgis, requiere de una programación a fondo para que se puedan evidenciar las isopletas de distribución. Por otro lado, también se recomienda incluir fuentes móviles dentro de esos factores que generan emisiones de PM10 y PM2.5, los cuales en cercanías a esta zona estos tienen gran relevancia.

Bibliografía

- Almeida, S., Silva, A., Garcia, S., Henriques, E., & Miranda, M. (2014). *Traffic-related air pollution in an industrial area*. 683–694. Obtenido de <https://doi.org/10.2495/EID140581>
- Amato, F., Pandolfi, M., Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., & Moreno, T. (Agosto de 2009). *Spatial and chemical patterns of PM10 in road dust deposited in urban environment*. Obtenido de *Atmospheric Environment*, 43(9), 1650–1659. : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135223100801131X?via%3Dihub>
- Araujo, J. (2011). *Particulate air pollution, systemic oxidative stress, inflammation, and atherosclerosis*. Obtenido de *Air Quality, Atmosphere & Health*, 4(1), 79–93.: <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0101-8>
- Arciniénagas, C. (2012). *DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10**. Manizales : Scielo.
- Azhari, A., Abdul, N. D., Othman, M., Latif, M., Juneng, L., Sofwan, N. M., . . . Johnson, K. (2021). *Highly spatially resolved emission inventory of selected air pollutants in Kuala Lumpur's urban environment*. Obtenido de *Atmospheric Pollution Research*, 12(2), 12–22.: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.10.004>
- Barranquilla, A. d. (2022). *Localidades* . Obtenido de <https://www.barranquilla.gov.co/descubre/conoce-a-barranquilla/territorio#:~:text=Localidad%20Riomar,Se%20encuentra%20ubicada%20dentro%20de%20los%20siguientes%20I%C3%ADmite s%3A%20al%20norte,y%20al%20arroyo%20de%20la>

Barranquilla, A. d. (14 de septiembre de 2022). *Vive la noticia*. Obtenido de

<https://www.barranquilla.gov.co/secretaria-general-del-distrito/barranquilla-estrena-cuarta-estacion-de-monitoreo-para-medir-y-analizar-la-calidad-del-aire>

BARRANQUILLA, D. E. (2000). Obtenido de file:///D:/Documentos/Downloads/3187-13.pdf

BarranquillaVerde. (22 de Junio de 2020). *Barranquilla Verde, declara estado de prevención por calidad de aire en el DEIP Barranquilla*. Obtenido de EPA:

<https://barranquillaverde.gov.co/noticias-detalle/epa-barranquilla-verde-declara-estado-de-prevencion-por-calidad-de-aire-en-el-deip-barranquilla#>

Camacho, A., & Elian, D. (2012). *Impacto ambiental generado por el material particulado, sobre la calidad del aire en la zona de influencia de los proyectos carbonífero del Departamento del Cesar*. Cesar: Javeriana.

Cañas, R. (25 de Marzo de 2016). *GOV.CO*. Obtenido de Gobernación del Atlántico:

<https://atlantico.gov.co/index.php/noticias-infraestructura-84126/6668-en-mayo-gobernacion-del-atlantico-culminara-corredor-vial-de-juan-mina>

Celis, J., Morales, J. ., Zaror, C., & Carvacho, O. (2007). *Contaminación del aire atmosférico por material particulado en una ciudad intermedia: El caso de Chillán (Chile)*. .

Obtenido de Informacion Tecnologica, 18(3), 49–58.: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642007000300007>

Cepeda, A. (30 de Septiembre de 2021). *¿Cuál es la calidad del aire que se respira en*

Barranquilla? Obtenido de contexto : [https://contexto.com/cual-es-la-calidad-del-aire-que-se-respira-en-](https://contexto.com/cual-es-la-calidad-del-aire-que-se-respira-en-barranquilla/#:~:text=En%20la%20atm%C3%B3sfera%20de%20la,y%20llegar%20al%20torrente%20sangu%C3%ADneo%2C)

[barranquilla/#:~:text=En%20la%20atm%C3%B3sfera%20de%20la,y%20llegar%20al%20torrente%20sangu%C3%ADneo%2C](https://contexto.com/cual-es-la-calidad-del-aire-que-se-respira-en-barranquilla/#:~:text=En%20la%20atm%C3%B3sfera%20de%20la,y%20llegar%20al%20torrente%20sangu%C3%ADneo%2C)

COMDE-DERENDA. (2022). *COMDE-DERENDA*. Obtenido de Air Pollution Monitor APM-2:

<https://www.comde-derenda.com/en/products/apm-2/>

Delgado, A., & Aguirre, A. (2019). *Air Quality level Assessment through the Grey Clustering*

Analysis on Lima, Peru. Obtenido de 2019 IEEE XXVI International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON):

<https://doi.org/10.1109/INTERCON.2019.8853588>

EEA/EMEP-CORINAIR. (2009). Atmospheric emission inventory guidebook. *EEA Technical Report 9/2009*.

EPA. (23 de Mayo de 2022). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente:

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

García, J., & Grutter, D. (2007). *Evaluación del riesgo por contaminantes criterios*. Juárez: Int. Contam. Ambient.

García, J., Grutter, M., & Cintora, D. (2007). Ciudad De Mexico: Rev. Int. Contam. Ambient.

García, J., Mar, B., & Ruiz, L. (2018). *Modelo de distribución espacial, temporal y de especiación del inventario de emisiones de México (año base 2008) para su uso en modelización de calidad del aire (DiETE)*. Mexico: Revista internacional de contaminación ambiental.

García, M., Sánchez, M., De los Rios, A., Pérez, I. A., Pard, N., & Fernández, B. (2019). *Analysis of PM10 and PM2.5 Concentrations in an Urban Atmosphere in Northern Spain*.

Obtenido de Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 76(2), 331–345:

<https://doi.org/10.1007/s00244-018-0581-3>

GOV.CO. (14 de Septiembre de 2022). *Alcaldá de Barranquilla*. Obtenido de Barranquilla estrena su cuarta estación de monitoreo para medir y analizar la calidad del aire: <https://www.barranquilla.gov.co/secretaria-general-del-distrito/barranquilla-estrena-cuarta-estacion-de-monitoreo-para-medir-y-analizar-la-calidad-del-aire>

Gui, Z.-H., Yang, B.-Y., Zou, Z.-Y., Ma, J., Jing, J., Wang, H.-J., . . . Chen, Y.-J. (2020). *Exposure to ambient air pollution and blood lipids in children and adolescents: A national population based study in China*. Obtenido de Environmental Pollution, 266, 115422.: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115422>

Hernandez, J. (23 de Agosto de 2021). *Minsalud comprometido con la calidad del aire*. Obtenido de MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL : <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Minsalud-comprometido-con-la-calidad-del-aire.aspx>

Hooper, L. ., Joven, M. T., Keller, J. ., Szpiro, A. A., O'Brien, K. M., Sandler, D. P., . . . Londres, S. . (febrero de 2018). *Ambient Air Pollution and Chronic Bronchitis in a Cohort of U.S. Women*. Obtenido de Environmental Health Perspectives, 126(2), 027005: <https://doi.org/10.1289/EHP2199>

Huyen, T. ., Oanh, N. T., Huy.Lai, N., Winijkul, W., & Chi, N. N. (agosto de 2022). *Impact of lowering fuel sulfur content on atmospheric emissions from shipping activities in a World Heritage Bay in Vietnam*. Obtenido de Environmental Technology & Innovation: [sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422001213?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422001213?via%3Dihub)

IDEAM. (s.f.). *CALIDAD DEL AIRE*. Obtenido de MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE : <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

- Jimenez, L., & Moreno, J. (2019). *Evaluación De Las Concentraciones De Material Particulado PM10 Y PM2.5 En El Casco Urbano Del Municipio De Vijesvalle Del Cauca*. Obtenido de 2019 Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública (CASAP): <https://doi.org/10.1109/CASAP.2019.8916694>
- Lastra, F. H. (s.f de s.f de s.f). *AMBIENTE, IDENTIDAD Y DESARROLLO: Percepciones locales sobre las transformaciones ambientales en el Corregimiento de Juan Mina*. Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0064389.pdf>
- Ljungman, P. L., Andersson, n., Stockfelt, L., Andersson, E. M., Sommar, J. N., Eneroth, C., . . . Wenberg. (2019). *Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution, Black Carbon, and Their Source Components in Relation to Ischemic Heart Disease and Stroke*. Obtenido de *Environmental Health Perspectives*, 127(10), 107012. : <https://doi.org/10.1289/EHP4757>
- Lopez, A. (5 de marzo de 2022). *Barranquilla tiene 1.274.250 habitantes: 52% son mujeres*. Obtenido de <https://miredvista.co/barranquilla-tiene-1-274-250-habitantes-52-son-mujeres-22234>
- MADS. (2017). Resolución 2254. *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*, 1-11.
- MAVDT. (1974). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*, 1-64.
- MAVDT. (1993). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*, 1-59.
- MAVDT. (2008). Resolución 909. *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*, 1-36.
- Mendoza, M. (2021). *Evaluación de la afectación ambiental y enfermedades respiratorias asociadas al contaminante atmosférico NO2 en Barranquilla mediante la aplicación de programa y tecnología*. Barranquilla: Uninorte.

Minambiente. (01 de Noviembre de 2017). *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*.

Obtenido de Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible:

[https://minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res2254 de 2017.pdf](https://minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res2254%20de%202017.pdf)

OMS. (22 de septiembre de 2021). *organizacion mundial de la salud*. Obtenido de

[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

ONU. (4 de Abril de 2022). *El 99% de la población mundial respira aire contaminado*. Obtenido

de Noticias ONU Mirada global Historias humanas:

<https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592>

OPS. (2018). *Organizaación Panamericana de la Salud*. Obtenido de Contaminación del aire

ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes:

<https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes>

Rincón, E., & Gutiérrez, O. (2021). *Dispositivo para la medición de contaminantes criterio en la*

atmósfera bogotana, mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado (Dron). Bogotá:

Udistrital.

Rojano, R., Angulo, L., & Restrepo, G. (2013). *Niveles de Partículas Suspendidas Totales (PST),*

PM10 y PM2.5 y su Relación en Lugares Públicos de la Ciudad Riohacha, Caribe

Colombiano. Obtenido de Información Tecnológica, 24(2), 37–46:

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200006>

Rojas, D., Salazar, J., Montoya, D., & Muñoz, É. (21 de Febrero de 2020). *Problemática de la*

contaminación del aire en Colombia. Obtenido de Revista Ambiental ÉOLO:

<http://revistaeolo.fconvida.org/index.php/eolo/article/view/12>

San Jose R., P. J. (2013). Application of a Lagrangian particle model to the source apportionment for primary macropollutants in Taranto area (South Italy). *Environmental Software and Modelling Group, Conference*.

Sánchez, D. (5 de Noviembre de 2021). *¿Qué son los equipos de monitoreo ambiental?* Obtenido de Biosupport International: <https://www.biosoporteperu.com/equipos-monitoreo-ambiental/>

Santilla, P., Rodríguez, M., Orozco, J., Ríos, I., & Bayas, K. (2021). *Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH-Riobamba*. Chimborazo: Revista Digital Novasinergia.

TIEMPO, E. (26 de Octubre de 2021). Zona Franca La Cayena recibe prórroga por 30 años más para operar. *EL TIEMPO*, págs. 1-5.

Vásquez, J. A., Ortiz, E. Y., Sáenz, H., Blanco, K., & Gomez, D. (2021). *Spatial-Temporal Estimation And Disaggregation Of Criteria Pollutants And Black Carbon Emissions From Stationary Industrial Sources In Bogotá*. Obtenido de 2021 Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública (CASAP), 1–4.: <https://doi.org/10.1109/CASAP54985.2021.9703395>

Ward-Caviness, C. K., Nwanaji-Enwerem, J. C., Wolf, K., Wahl, S., Colicino, E., Trevisi, L., . . . Peters, A. (2016). *Long-term exposure to air pollution is associated with biological aging*. *Oncotarget*, 7(46), 74510–74525. Obtenido de <https://doi.org/10.18632/oncotarget.12903>

Westreicher, G. (14 de Agosto de 2020). *Economipedia.com*. Obtenido de Análisis de datos: <https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-datos.html>