



**Determinación del nivel de concentración y relación entre los contaminantes PM10, y O₃ en
el sector del barrio las mercedes en el distrito de Barranquilla**

Autores:

Olga Lucía Coronado Pacheco

Sebastián Enrique Vergara Ramírez

**Trabajo de grado como prerrequisito para la obtención del grado de Tecnólogo en
Desarrollo Ambiental y Sostenible**

Director:

Margarita Castillo

Facultad de Ingenierías

Programa de Tecnología en Desarrollo Ambiental y Sostenible

Barranquilla

2022

Resumen.

La contaminación del aire es uno de los grandes problemas que encontramos en la actualidad se da producto del desarrollo de las ciudades, este estudio se enfocó en la determinación de las concentraciones de PM₁₀ y O₃ en el barrio las Mercedes (zona norte centro-histórico) de la ciudad de Barranquilla, entre los meses de mayo hasta septiembre del 2021 (PM₁₀) y desde el mes de noviembre hasta diciembre del 2021 (O₃). Donde se determinó que las posibles fuentes de generación de estos contaminantes se dan por fuentes móviles (carros, vehículos pesados, motos) que transitan por la zona, para ello fue necesario realizar muestreos de los contaminantes en la zona del barrio las Mercedes; una vez obtenidas las concentraciones para PM₁₀ y O₃ se realizó un análisis de los comportamientos por día, mes y hora, así mismo se llevó a cabo un análisis de varianza para cada uno de los contaminante donde se obtuvieron resultados de los meses en que se tuvo mayor concentración, para el caso de PM₁₀ tuvo altas concentraciones en el mes de septiembre donde se presentó un valor promedio de 51.78 µg/m³, para el caso de O₃ tuvo mayor incremento en el mes de Diciembre, esta tuvo un valor de 41.80 µg/m³ . Así mismo estableció en que horas del día los contaminantes tenían mayor concentración PM₁₀ este se presentó con mayor frecuencia en las noches y el O₃ tuvo incrementos considerables durante el día.

Palabras claves: contaminación del aire, PM₁₀, O₃, concentración, fuentes móviles.

Abstract.

Air pollution is one of the major problems that we find today is a product of the development of cities, this study focused on determining the concentrations of PM₁₀ and O₃ in the neighborhood Las Mercedes (north-center-historic area) of the city of Barranquilla, between the months of May until September 2021 (PM₁₀) and from November until December 2021 (O₃). Where it was determined that the possible sources of generation of these pollutants are given by mobile sources (cars, heavy vehicles, motorcycles) that travel through the area, for this it was necessary to perform sampling of pollutants in the area of Las Mercedes neighborhood; Once the concentrations for PM₁₀ and O₃ were obtained, an analysis of the behavior by day, month and hour was carried out, as well as an analysis of variance for each of the pollutants, where results were obtained for the months with the highest concentration. 78 µg/m³ , for O₃ it had the highest increase in the month of December, with a value of 41.80 µg/m³ . It also established the hours of the day when the pollutants had the highest concentration of PM₁₀, which occurred more frequently at night, and O₃ had considerable increases during the day

Keywords: air pollution, concentration, mobile sources

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
JUSTIFICACIÓN	11
ALCANCE	13
OBJETIVOS	14
Objetivo General	14
Objetivos específicos	14
HIPÓTESIS	14
ESTADO DEL ARTE	15
MARCO	29
MARCO TEÓRICO.	29
MARCO CONCEPTUAL	30
Marco normativo	34
METODOLOGÍA	37
Área de estudio	37
Análisis estadístico.	39
MÉTODOS	40

RESULTADOS.....	41
DISCUSIÓN.....	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
REFERENCIAS.....	66

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Comparación de los distintos tipos de diámetros de material particulado con el cabello humano y con la arena fina de playa medidos en micras.	31
Ilustración 2 Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud.....	33
Ilustración 3 Localidades de Barranquilla	38
Ilustración 4 Barrio las Mercedes	38
Ilustración 5 Estación móvil de monitoreo ubicada en la universidad Reformada.....	39
Ilustración 6 Comparación del promedio de media móvil de PM10 con la Resolución 2254 del 2017	42
Ilustración 7 Comparación del promedio de media móvil de PM10 con la OMS	43
Ilustración 8 Comparación del promedio de media móvil de PM10 con la máxima anual.	44
Ilustración 9 Comparación del promedio de media móvil de PM10 por día con la resolución 2254 de 2017.....	45
Ilustración 10 Comparación del promedio de media móvil de PM10 por día con la máxima de la OMS.....	46
Ilustración 11 Comparación del promedio de media móvil de PM10 con la máxima de la resolución 2254 de 2017 y la OMS.	47
Ilustración 12 Comportamiento del promedio de PM10 durante el día.....	48
Ilustración 13 Comparación del promedio de media móvil de O ₃ con la máxima de la resolución 2254 de 2017.....	49
Ilustración 14 Comparación del promedio de media móvil de O ₃ por día con la máxima de la resolución 2254 de 2017.	50
Ilustración 15 Comportamiento del promedio de O ₃ durante el día	50

Ilustración 16 Comportamiento PM10 en las horas del día.....	52
Ilustración 17 Comportamiento PM10 por mes.....	53
Ilustración 18 Interacción hora-mes.....	54
Ilustración 19 Interacción día-mes.....	54
Ilustración 20 comparación concentración día-noche	55
Ilustración 21 Comparación concentración por día.	56
Ilustración 22 Comportamiento O ₃ en las horas del día	58
Ilustración 23 Comportamiento O ₃ día.....	58
Ilustración 24 comparación concentración mes.	59
Ilustración 25 Interacción entre los meses	59
Ilustración 26 comparación concentración día-noche	60
Ilustración 27 Comparación concentración por día	62

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Análisis de Varianza para Movil_pm10 - Suma de Cuadrados Tipo III	51
Tabla 2 ANOVA para Movil_pm10	55
Tabla 3 Tabla ANOVA para Movil_pm10 por día	56
Tabla 4 Análisis de Varianza para Movil_ O ₃	57
Tabla 5 ANOVA para Movil_ O ₃ por día-noche	60
Tabla 6 ANOVA para Móvil_ O ₃ por día.....	61

INTRODUCCIÓN.

La contaminación atmosférica es uno de los problemas más grandes a los que se está presentando la humanidad en los últimos tiempos. Esta es causada por diversos contaminantes como el material particulado y el ozono troposférico; los anteriores han sido relacionado con afectaciones a la salud humana.

El material particulado según la Organización Mundial de la salud es una mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire, estas pueden ser generadas de forma antropogénicas o naturales.

En la ciudad de Barranquilla, la concentración de contaminantes criterios como el material particulado en suspensión como el PM₁₀, y O₃ se prevé que se ha incrementado, debido al acelerado crecimiento de la ciudad a nivel industrial en especial por los proyectos de construcción masivos. Por lo anterior, este proyecto aborda la determinación de las concentraciones de PM₁₀ y O₃ en el barrio de las mercedes ubicado en norte centro-histórico de la ciudad de Barranquilla, atendiendo la problemática que presentan las ciudades respecto al incremento de problemas ambientales.

El enfoque del proyecto fue de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo, donde se busca Determinar el nivel de concentración y relación entre los contaminantes PM₁₀, y O₃ en el sector del barrio las mercedes en el distrito de Barranquilla. Para ello se llevó a cabo la recopilación de datos de las concentraciones de los contaminantes estudiados, posteriormente estos fueron validados y se calculado su media móvil, con los resultados obtenidos se realizó una comparación entre los niveles encontrados y los establecidos por la resolución 2254 del 2017 y los estándares establecidos por la OMS en el 2021.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En 2019, según la OMS a nivel mundial, el 99% de la población mundial vivía en lugares donde no se respetaban las directrices de la OMS sobre la calidad del aire. (OMS, 2021) de acuerdo con las estimaciones de 2016, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 4,2 millones de defunciones prematuras. Un 91% de esas defunciones prematuras se producen en países de bajos y medianos ingresos, y las mayores tasas de morbilidad se registran en las regiones de Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental de la OMS.

La OMS (2021) estimó que aproximadamente el 58% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica que se produjeron en 2016 se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, mientras que el 18% de las muertes se debieron a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias agudas, y el 6% de las muertes se debieron al cáncer de pulmón.

En Colombia se evidencia que hay un adecuado diagnóstico del problema y debido a ello se han emitido diferentes normas que están dirigidas a mitigar el mismo; es evidente que en este proceso los vehículos son un problema importante y en especial la gran cantidad de motocicletas que son más del 50% del parque automotor de Colombia; también hay que indicar que los vehículos que se mueven con diésel, a pesar de que no son muchos en Colombia, son una fuente importante de material particulado y esto está asociado con la calidad de este combustible en Colombia, que ha ido mejorando pero que aún no ha llegado a los estándares internacionales como los europeos y a la falta de control y monitoreo de estos vehículos, los cuales diariamente se observan en las calles de nuestras ciudades emitiendo gran cantidad de humo rico, especialmente en material particulado,

uno de los contaminantes más importantes por la manera como afectan la salud humana. (Cárdenas JE, 2017)

En los últimos años la ciudad de Barranquilla ha tenido un crecimiento económico considerable y a su vez el parque automotor y otras actividades que han llevado a la concentración de contaminantes en diversas áreas de la ciudad. Sin embargo, de acuerdo con el estudio sobre el estado de los recursos naturales realizado en la ciudad de Barranquilla en el año 2012 por la Contraloría Departamental, la emisión de gases producidos por el tráfico vehicular automotor es más crítica en el distrito central, donde se desarrolla gran parte de la actividad comercial (Consuegra, 2013).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, en este proyecto se busca responder la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el nivel de la concentración y relación de los contaminantes PM10, y O3 en el barrio las mercedes de la ciudad de Barranquilla?

JUSTIFICACIÓN.

La contaminación atmosférica es una de las principales problemáticas que están afectando a la biodiversidad de los ecosistemas. Este grave contaminante resulta de las distintas prácticas económicas que son emitidas por fuentes tanto móviles como fijas teniendo un gran impacto en el cambio climático porque cuando flotan pueden crear peligrosas sinergias que causan graves daños a la salud y al medio ambiente. (OMS,2016). A nivel mundial en el año 2016 se estimó que aproximadamente 7 millones de muertes han sido generadas por este tipo de contaminación de las cuales 249.000 de estas muertes fueron prematuras y están asociadas a la contaminación del aire ambiente y 83.000 de las muertes prematuras están asociadas con la contaminación del aire en el hogar (OPS,2016). Países como España en el informe presentado en enero de 2020 han demostrado

que ciudades como Madrid presentan un aumento de muertes por contaminantes atmosféricos e incluso estos han sido mayores que los accidentes presentados en carreteras. (Ecologistas en Acción de Madrid 2020).

Colombia en la actualidad presenta graves problemas atmosféricos provocando daños en la salud, así mismo es uno de los contaminantes con más costos sociales (MINAMBIENTE, 2017). Es por ello por lo que se requiere de un control de estos y así se dé una cuantificación de estos e implementar acciones para su disminución.

En Colombia, el ente encargado de hacer la vigilancia de la calidad del aire es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Asuntos Ambientales (IDEAM), el cual, por medio de las corporaciones autónomas regionales, se encarga de monitorear la calidad del aire en gran parte del país por medio de estaciones localizadas en diferentes municipios. A partir de estas estaciones se ha encontrado que los municipios de Colombia en los que hay mayor contaminación ambiental son Bogotá DC, Medellín, Cali, Barranquilla, el valle de Sogamoso, Bucaramanga, Cartagena y Pereira; en estas ocho regiones se genera el 41% del material contaminante del aire en Colombia, de acuerdo con el informe del estado de la calidad del aire emitido por el IDEAM en el año 2012 y que corresponde al periodo de monitoreo del 2007 al 2010. (Cárdenas JE, 2017).

Con este estudio se busca determinar los niveles de PM₁₀ y O₃ en el barrio las Mercedes, ya que es un sector residencial donde encontramos familia que se pueden ver afectadas por la presencia de este contaminante ya que este es causante de enfermedades. Según la OMS (2021) “Estas partículas de PM₁₀ pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. La exposición crónica a partículas contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón.” Es de aquí donde surge la importancia de esta investigación, ya que actualmente en el barrio las Mercedes de la ciudad de Barranquilla no se

conocen investigaciones relacionadas con la calidad de aire, y así mismo no se cuentan con registros de contaminantes como el PM10 y O₃ por lo que se hace necesario realizar un estudio, donde se evalúe cuáles son sus concentraciones.

ALCANCE.

Este proyecto se llevará a cabo las de mediciones de PM10 y O₃, donde se recopilaran datos desde el mes de mayo hasta septiembre del 2021 (PM10) y desde el mes de noviembre hasta diciembre del 2021 (O₃) en la estación móvil de monitoreo de la calidad de aire que se encuentra ubicada en la corporación universitaria reformada en la ciudad de Barranquilla en el barrio las Mercedes, con el fin de llevar a cabo un análisis de las concentraciones que presentan estos contaminantes e identificar cuáles son las posibles fuentes que lo generan.

OBJETIVOS.

Objetivo General.

Determinar el nivel de concentración y relación entre los contaminantes PM10, y O₃ en el sector del barrio las Mercedes en el distrito de Barranquilla.

Objetivos Específicos.

1. Determinar las concentraciones de los contaminantes PM10 Y O₃ en el sector de las Mercedes.
2. Relacionar la interacción entre los contaminantes PM10 Y O₃, en el sector las Mercedes de la ciudad de Barranquilla.
3. Identificar las fuentes posibles de generación de los contaminantes PM10 Y O₃, en el sector las Mercedes de la ciudad de Barranquilla.

HIPÓTESIS.

Las variables día, hora, mes, son los factores que influyen en la concentración de los contaminantes en el ambiente

ESTADO DEL ARTE.

N.º	AÑO	TITULO	METODOLOGIA	CONCLUSIONES	AUTORES
1	2006	Determinación de metales pesados en partículas respirables e identificación de fuentes de emisión, a partir de un muestreo atmosférico en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá	Para el desarrollo del trabajo se tomó primero la ubicación de estaciones que se encontraran cerca de vías principales, se tuvieron en cuenta 2 estaciones una de ellas la estación del Invima y otra ubicada en el colegio la Merced. Las tomas de las muestras se desarrollarlo en periodos de 24 horas, en las dos estaciones usadas. Se usaron filtros de fibra de vidrio y filtros de cuarzo.	se enfocó en la determinación de metales pesados (Pb, Cu, Cr, Zn, Fe), en la fracción respirable del aire (PM10) de dos puntos de muestreo en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá. Donde se logró identificar que la principal fuente de emisión para todos los metales es la fundición secundaria de metales no ferrosos y a la combustión de carbón se debe a los distintos procesos industriales. Así mismo se logró	Pérez Fadul (2006)

			<p>En este trabajo de tuvo en cuenta el método EPA- IO 3. Que consiste en la selección, preparación y extracción de material filtrado</p>	<p>concluir que las emisiones vehiculares también juegan un papel importante en la emisión de alguno de los materiales estudiados.</p>	
2	2008	<p>Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire – Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire</p>		<p>Este manual establece los lineamientos que se deben tener en cuenta para realizar el diseño y la operación de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire en Colombia</p>	<p>Ministerio de Ambiente (2008)</p>
3	2009	<p>Calidad del aire en el valle de Aburrá</p>	<p>Se realizo un Estudio descriptivo</p>	<p>Exploración del comportamiento de los</p>	<p>Bedoya. Martínez. (2009)</p>

		Antioquia - Colombia	longitudinal que exploro el comportamiento de los contaminantes atmosféricos en Medellín y su área metropolitana, donde se estudiaron los contaminantes primarios básicos en la atmósfera generados por procesos erosivos y por la combustión de elementos fósiles entre ellos el PM10 y O ₃	contaminantes atmosféricos en Medellín y su área metropolitana. Donde se encontrando que en los últimos años se han aumentado y que estos se encuentran muy por encima de los niveles definidos por la Organización mundial de la salud	
4	2010	Monitoreo de la calidad del aire, Determinando el dióxido de nitrógeno (no2),	Se tomaron muestras por un tiempo de tres años (207-2009). Donde para PM10 solo se tomaron datos por un tiempo de dos	Se realizo un análisis de los contaminantes dióxido de nitrógeno (no2), Ozono troposférico (O ₃) y material particulado	Calderón. (2010)

		<p>Ozono troposférico (O₃) y material particulado (pm10)</p> <p>En la ciudad de el alto-Bolivia.</p>	<p>años. En el desarrollo del trabajo se tuvieron en cuenta los métodos activo y pasivo para PM10 y O₃ respectivamente.</p> <p>Para la recopilación de las muestras estas fueron realizadas en 10 estaciones de monitoreo ubicadas en 7 municipios de la ciudad.</p>	<p>(PM10) donde se encontró que dióxido de nitrógeno (NO₂) y ozono (O₃) supero los niveles máximos permisibles estipulados por la OMS estos en 3 puntos de la medición.</p> <p>por lo que se concluyó que en algunos meses existe un incremento de estos dos contaminantes.</p> <p>Para el O₃ se estipulo que este se presenta en gran cantidad debido a la mayor radiación solar existente.</p> <p>El PM10 supero así mismo o los límites establecidos en la Ley, así como por encima de los valores guía de la</p>	
--	--	---	---	---	--

				OMS en diferentes meses de año	
5	2010	Política de prevención y control de la contaminación del aire	Para su elaboración se tuvo en cuenta los graves daños que causan los contaminantes atmosféricos a la salud humana y el medio ambiente, así mismo se identificaron cuáles son las principales fuentes que los generan. Donde se tuvo presente el estado actual de los mismos.	Se regulo los contaminantes de la atmósfera que pueden afectar la salud humana y el bienestar de la población, en esta se fijan los niveles máximos permisibles para protección de la salud de la población	Ministerio de Ambiente (2010)
6	2014	Determinación de parámetros medio ambientales; que condicionan la calidad del aire	Se realizo una inspección de la zona donde se encontraba ubicada la estación de monitoreo, así mismo	Se llevo a cabo un análisis de los contaminantes SO ₂ , NO ₂ Y PM ₁₀ para determinar si estos se	Pizarro. (2014)

		(pm10, no2, so2) en la estación de Monitoreo de calidad del aire ubicada en la planta de Tratamiento de agua potable de la eaab-tibitoc	se recopiló todos los datos meteorológicos que fueron proporcionado por la CAR. Posteriormente se realizó una comparación entre los datos obtenidos y la legislación ambiental vigente en Colombia.	encontraban entre los límites máximos permisibles por la ley colombiana, Donde se logró concluir que los resultados estaban dentro de los niveles máximos permisibles en el país.	
7	2015	Determinación de la calidad del aire en la universidad libre seccional Bogotá sede bosque popular	Se tomaron los datos en la estación de monitoreo en la universidad libre sede Bosque popular. Se tomaron datos por un tiempo de 19 días. Para PM10 Las muestras obtenidas fueron recolectadas en filtros de vidrio. El método usado para	Se determinó que la calidad del aire en la Universidad Libre Sede Bosque Popular basados en los contaminantes criterio material particulado dado como PM10, y gases contaminantes SO2, NO2 y O3, se encuentro que estos	González (2015)

			<p>este contaminante fue el método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice J: PM10.</p> <p>Para los contaminantes SO₂, NO₂ y O₃ se utilizaron los métodos: EPA e-CFR Título 40 parte 50 Apéndice A: NO_x, EPA No. EQN1227-026 Arsenito de Sodio. método Espectrofotométrico, Yoduro de Potasio (USDHW-Public Health Service, publicación N.º 99-AP11,1965.</p> <p>Respectivamente.</p>	<p>cumplen con los niveles permisibles.</p>	
--	--	--	---	---	--

8	2016	<p>Determinación del impacto de varios contaminantes criterio sobre la salud de la población en ciudades capitales de Bolivia</p>	<p>Se recopilaron datos de las estaciones de monitoreo que se ubicaron en las ciudades: el Alto, La Paz, Cochabamba y Santa Cruz.</p> <p>Los métodos usado fueron para PM10 se implementó métodos activos y para los contaminantes NO2 y O₃ se usaron métodos pasivos.</p> <p>Así mismo se tuvo en cuenta los factores climatológicos de las zonas como la temperatura mínima diaria, la amplitud térmica diaria y la humedad mínima diaria. Con el objetivo</p>	<p>se logró establecer que en las ciudades con más altura se presentó que el PM10 son el factor de riesgo importante tanto para IRAs como para Neumonías, es por esto por lo que los factores ambientales tienen una gran influencia sobre la incidencia de enfermedades respiratorias como las IRAs y las Neumonías</p>	<p>Pérez &Gonzáles (2016)</p>
---	------	---	---	--	-----------------------------------

			de establecer como los factores ambientales tienen una gran influencia sobre la incidencia de enfermedades respiratorias como las IRAs y las Neumonías		
9	2018	Impacto de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad diaria a corto plazo en España	Se recopilaron datos en las estaciones de medición ubicadas en cada capital de provincia durante el periodo 2000-2009. Donde se tuvieron en cuenta las Variables meteorológicas de las zonas donde se ubicaban las estaciones. en el desarrollo del trabajo se implementó	Se encontró que estos contaminantes son en España causante de muerte, en el texto se afirma que la tasa de mortalidad por este tipo de contaminación es superior que los accidentes de tránsito y los daños que ocasiona el consumo del tabaco. Para el caso del PM10 se logró establecer que este contaminante está	Díaz Jiménez J, Linares Gil (2018)

			<p>modelos lineales generalizados (GLM), considerando como enlace de regresión Poisson. Para calcular la mortalidad diaria asociada a la concentración de contaminante en una determinada ciudad se multiplico el porcentaje de incremento de la mortalidad por el número de muertos diarios y dividir entre cien.</p>	<p>asociado al aumento de la mortalidad diaria. Así mismo se relacionó el ozono con el causante de enfermedades respiratorias.</p>	
--	--	--	--	--	--

10	2018	<p>Determinación social de la contaminación del aire urbano y de su relación con el deterioro de la salud respiratoria en los niños menores de 5 años (Cuenca, Ecuador) 2012-2014</p>	<p>Se analizó la influencia del modelo de desarrollo nacional y local y la generación de procesos críticos del ambiente urbano. Así mismo se realizó un análisis completo de datos de movilidad urbana, leyes, tipo y uso de combustibles, normas nacionales y parámetros establecidos por la OMS. Se elaboró la matriz SIG de movilidad urbana y, contaminación del aire.</p> <p>Una vez obtenido los datos de la matriz se realizó un estudio de</p>	<p>se logró concluir que los niños de esta población se han visto afectados por esta contaminación ya que presentaron sibilancia, tos seca en ausencia de infección respiratoria aguda, principalmente en zonas de pobreza. En los estudios llevados a cabo se encontró que hubo relación directamente proporcional y estadísticamente significativa, entre la incidencia total e incidencia acumulada de eventos respiratorios y los niveles de PM10 medidos al interior y exterior de los CDI, lo que demuestra que los</p>	<p>Palacios (2018)</p>
----	------	---	--	---	------------------------

			prevalencia para determinar los síntomas que presentaban los niños de los distintos CDI de la zona estudiada.	niños y niñas expuestas a mayor cantidad de partículas presentan mayor afección en su salud	
11	2018	Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Huamanga a través de la determinación de Materiales particulados pm10 por gravimetría Con impactadores Harvard	Se tomaron muestras de PM10 por medio del muestreador de bajo volumen Harvard donde los datos obtenidos fueron pesados y validados. La toma de las muestras fue realizada en un tiempo de 10 días en un mes.	se logró concluir que en la ciudad en general incluyendo la industria los niveles de contaminación estaban entre el rango que la ley peruana exige.	Ruiz (2018)
12	2018	Determinación del material particulado (pm10 y pm 2.5), dióxido	Se realizó estudio de los contaminantes material particulado (pm10 y pm 2.5),	Se logró determinar que antes del año 2018 los niveles de PM2.5 y PM10 en una de las tres	Trelles (2018)

	<p>de azufre (So2), dióxido de azufre (so2), dióxido de nitrógeno (No2) y monóxido de carbono (Co) en el distrito de Ocoruro-provincia espinar región cusco</p>	<p>dióxido de azufre (so2), dióxido de nitrógeno (No2) y monóxido de carbono (Co), durante la construcción de una carretera en este distrito, donde se utilizaron 3 estaciones de monitoreos de calidad de aire con el fin de analizar y cuantificar las concentraciones encontradas en los meses (julio y octubre del 2017 y febrero 2018).</p> <p>En este trabajo se tuvieron en cuenta las condiciones meteorológicas, se calcularon con</p>	<p>estaciones presento un aumentaron debido al tránsito de maquinaria pesada y al movimiento de tierra y tránsito de vehículo pesado y liviano respectivamente.</p> <p>Donde se resalta que en esta misma estación meses posteriores existió una disminución notoria de estos contaminantes.</p> <p>Casi mismo se concluyó que la concentración de los gases dióxido de nitrógeno (NO2), dióxido de azufre (SO2) y monóxido de carbono (CO), estando estos bajo los niveles máximos permitidos.</p>	
--	---	---	---	--

			equipos que permitían saber en qué dirección y a qué velocidad se contaba el viento.		
13	2019	Evaluación espacio temporal de las concentraciones de ozono en Barranquilla y área metropolitana	Se recopilaron datos que fueron obtenidos de la Red de Calidad de Aire de la Ciudad y Área Metropolitana. Para establecer las concentraciones de ozono se utilizó la técnica de absorción ultravioleta que se basa, en la absorción de la luz UV a una longitud de onda de 254 nm, donde los equipos usados por la autoridad ambiental (quien facilitó los datos) fue: de	Lograron concluir que con el análisis diurno de Ozono se obtuvieron valores mínimos a tempranas horas de la mañana, a partir de las 8 am se observa un incremento con valores máximos alrededor del mediodía y disminuyen nuevamente en horas de la tarde debido a los diferentes procesos fotoquímicos de producción-destrucción. Por lo cual se evidencio que el ozono alcanzo altas concentraciones en	Dávila, Rueda (2019)

			<p>medición O₃ 42M Ozone Analyzer.</p> <p>Para su determinación fue necesario recopilar los datos meteorológicos de la ciudad.</p>	<p>las horas donde la radiación solar y la temperatura alcanzan sus niveles más alto, así mismo resaltaron Cuando las temperaturas son altas, la radiación solar es fuerte y los vientos son débiles, el ozono puede aumentar a niveles nocivos para la salud.</p>	
--	--	--	---	--	--

MARCO.

MARCO TEÓRICO.

El 92% de la población mundial vive en lugares donde los niveles de calidad del aire exceden los límites fijados en las directrices de la OMS sobre la calidad del aire ambiente. (OMS,2016)

Las personas con enfermedades previas, los niños menores de cinco años y los adultos entre 50 y 75 años son los más afectados son las más afectadas por la contaminación atmosférica. La exposición a altos niveles de contaminación del aire puede causar una variedad de resultados adversos para la salud: aumenta el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas,

derrames cerebrales y cáncer de pulmón las cuales afectan en mayor proporción a población vulnerable, niños, adultos mayores y mujeres (OPS,2016)

La exposición crónica a materia particulada contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón. Existe una estrecha correlación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de materia particulada (PM10 y PM2.5) y el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo. A la inversa, cuando se reducen las concentraciones de materia particulada gruesa y fina, la mortalidad conexas también desciende, en el supuesto de que los demás factores se mantengan sin cambios. (OMS,2021)

Por exposición a aire y agua de mala calidad ocurren cada año en Colombia 17,549 muertes, es decir el 8% del total de la mortalidad anual en Colombia. Lo que los investigadores del INS encontraron es que del total de muertes ocasionadas por 7 enfermedades de alta ocurrencia en el país como lo son: la enfermedad isquémica del corazón, el accidente cerebro-vascular, la enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC), las infecciones respiratorias agudas, el cáncer de pulmón, la enfermedad diarreica aguda (EDA) y la enfermedad renal crónica, 17,549 muertes están asociadas a la mala calidad del agua y del aire y a la contaminación por combustibles sólidos y metales. Cifra que representa un 8% del total de muertes en Colombia que anualmente es de 200 mil. (INS,2019)

MARCO CONCEPTUAL.

Sistema de vigilancia de aire.

El Sistema de vigilancia de aire son el Conjunto de equipos de medición de calidad del aire instalados sistemáticamente para verificar el cumplimiento de uno o varios de los objetivos de

vigilancia de calidad del aire previstos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. (Vidal,2020)

Material particulado (PM).

El material particulado (PM) es una aglomeración de partículas minúsculas sólidas y líquidas presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999); estas partículas son generadas principalmente por fuentes antropogénicas incluyendo: transporte, industria, obras, entre otras, pero también existen fuentes naturales como el polen, el aerosol marino y las emisiones volcánicas (Arciniegas, 2012). Estas partículas pueden ser clasificadas en menores o iguales a 10 micras (PM10), en menores o iguales a 2,5 micras (PM2.5) y menores o iguales a 0,1 micras (PM0,1) (Contreras Carrillo, 2012).

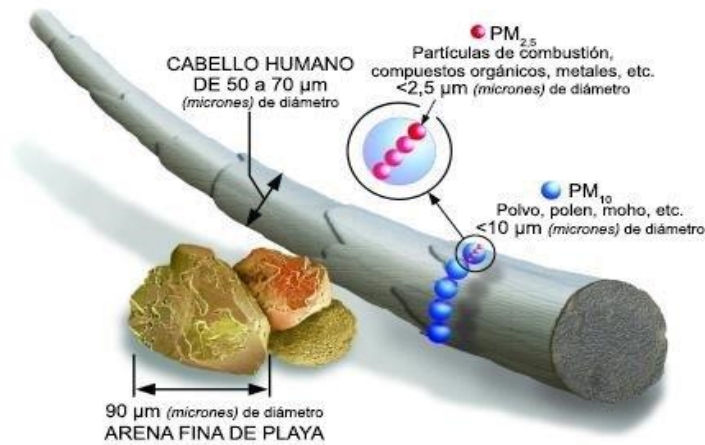


Ilustración 1 Comparación de los distintos tipos de diámetros de material particulado con el cabello humano y con la arena fina de playa medidos en micras. Fuente: EPA

PM10.

Corresponden a partículas de diámetro menores a 10 micrómetros, generadas a partir de procesos de combustión no controlada, siendo sus principales fuentes antropogénicas fijas: como industrias (fundición, cerámica y pintura), plantas de energía y móviles: provenientes de la combustión de

vehículos a diésel, cuyas partículas constituidas por material sólido y líquido de diversa composición y tamaño son emitidas a la atmósfera (Canales, Quintero, Castro, y García, 2014).

Ozono troposférico (O₃).

El ozono troposférico no es una sustancia emitida directamente a la atmósfera sino un contaminante secundario y es el compuesto más representativo de los oxidantes fotoquímicos y uno de los principales ingredientes del smog urbano (IDEAM). Este contaminante se forma a partir de otros compuestos en el aire como el NO₂. En presencia de los rayos del sol, los enlaces del NO₂ se rompen formando óxido de nitrógeno (NO) y oxígeno molecular (O) que combinados con el O₂ presente en la atmósfera, genera O₃ (Andes & London, 2013).

Inventario De Emisiones.

Un inventario de emisiones consiste en establecer las cantidades de contaminantes atmosféricos que se emiten al aire provenientes de diferentes fuentes en un período dado de tiempo. Gracias a los datos que son suministrados por estos estudios, es posible realizar una adecuada gestión de la calidad del aire (Rangel, 2010).

Efectos en la salud.

El PM ocasiona daños en las vías respiratorias, bronquitis crónica, arritmia cardíaca, asma, tos y dificultad para respirar (Andes & London, 2013).

En tiempos de exposición bajos, la inhalación de ozono genera inflamación del todo el sistema respiratorio superior; es decir, las fosas nasales, la garganta y la laringe. Hay que tener en cuenta

que así los niveles de exposición se reduzcan luego de haber estado en ambientes con concentraciones altas, los efectos persisten en los pulmones y principalmente, la afectación en las unidades terminales de los bronquios. Existe además evidencia que la presencia de ozono genera mutaciones en las células respiratorias resultando en generar con más probabilidad cáncer (WHO, 2005)

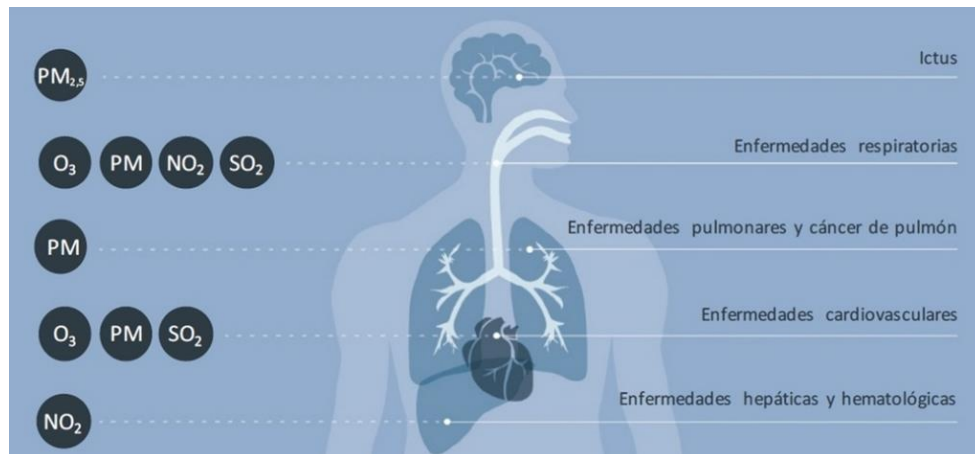


Ilustración 2 Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud Fuente: Edusi Albacete

Fuentes móviles.

Las fuentes móviles son las que pueden desplazarse de manera independiente, emitiendo gases contaminantes a lo largo de su recorrido, como son las motos, trenes, camiones, aviones, barcos, entre otros. En las áreas urbanas mayormente pobladas, los vehículos son los principales generadores de contaminantes atmosféricos, puesto que el motor de combustión interna que poseen emite gases nocivos dependiendo del combustible usado, tales como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, partículas en suspensión, etc. (SEMARNAT, 2007).

Fuentes fijas.

Se refieren a toda instalación establecida en un solo lugar y que tenga como propósito desarrollar procesos industriales, comerciales, servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera (SERMANAT,2007)

Marco normativo.

Tabla 1 Normatividad vigente de contaminantes en Colombia

NORMATIVIDAD	EXPEDIDO POR	DESCRIPCION
Constitución Política Colombiana (1991)	Congreso de Colombia	<p>Es la máxima ley del país, en esta están establecida los deberes y derechos de los ciudadanos. Así mismo se define la como debe ser la organización del Estado.</p> <p>En el capítulo 3 se habla (DE LOS DERECHOS COLECTIVOS Y DEL AMBIENTE) en los Art.79.80 se habla del derecho a un ambiente sano, donde se especifica que es el Estado quien debe proteger la diversidad e integridad del ambiente.</p>
Ley 99 de 1993 - Ley General	Congreso de Colombia	Con esta ley se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector

Ambiental de Colombia		Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones
Ley 23 de 1973	Congreso de Colombia	Con esta Ley se busca prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente, y así mismo el mejoramiento, la conservación y la restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional.
Resolución 2254 de 2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	<p>En esta resolución se adoptan la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.</p> <p>En esta resolución se establecen las normas de calidad del aire y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la</p>

		exposición a los contaminantes en la atmósfera.
Documento 3344	Conpes Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia Departamento Nacional de Planeación	Este documento establece los lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire en las ciudades y zonas industriales de Colombia
DECRETO 948 DE 1995	Ministerio del medio ambiente	En este decreto se reglamentó la protección y control de la calidad del aire; donde su objeto es definir el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire, y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire
Resolución 2154 del 2010	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	En esta resolución se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la

		Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones
--	--	---

METODOLOGÍA

Área de estudio

Localización

El monitoreo fue realizado en la localidad Norte-centro histórico un área urbana de la ciudad Barranquilla Colombia esta se encuentra ubicada en la costa caribe de este país, con una extensión de 15.400 hectáreas las cuales limitan al norte con el mar caribe, al sur con los municipios de Soledad y Galapa; al oriente y nororiente con el río Magdalena; al occidente y noroccidente con el municipio de Puerto Colombia. Con una Latitud: 10.9878 Longitud: -74.7889 Latitud: 10° 59' 16" Norte Longitud: 74° 47' 20" Oeste

La ciudad cuenta con una estimación de 1'239.804 habitantes siendo la cuarta ciudad más grande del país distribuidos en las cinco localidades Riomar, Norte-Centro Histórico⁴³, Sur Occidente, Metropolitana y Sur Oriente.(Alcaldía de Barranquilla)

La localidad norte-centro histórico la conforma un complejo de barrios entre ellos el de LAS MERCEDES en él se ubican zonas residenciales, y de comercio.

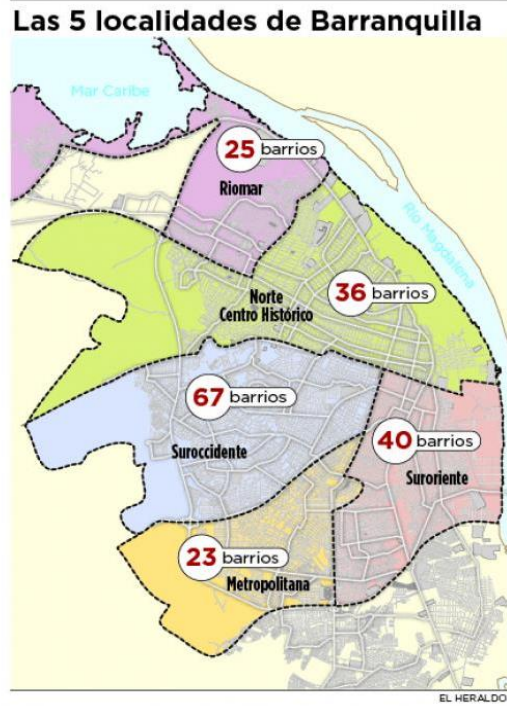


Ilustración 3 Localidades de Barranquilla fuente: EL Heraldo

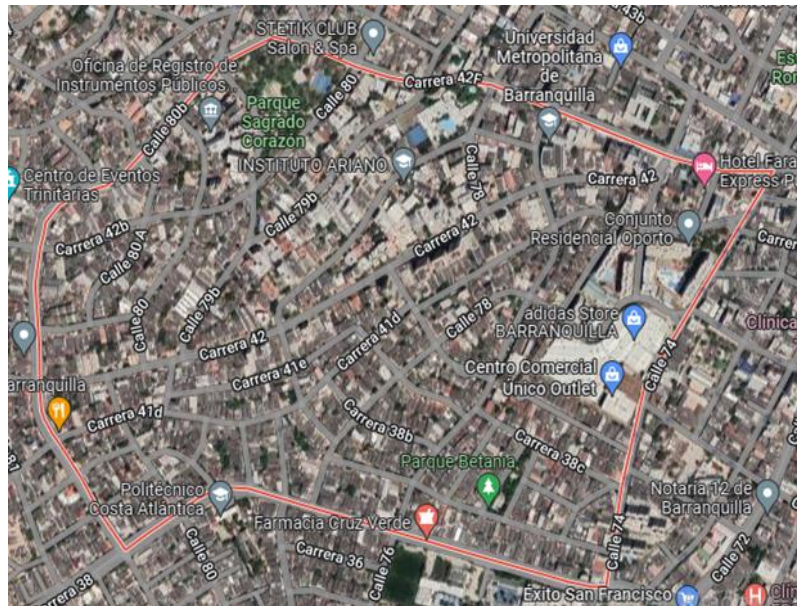


Ilustración 4 Barrio las Mercedes Fuente: Google maps



*Ilustración 5 Estación móvil de monitoreo ubicada en la universidad Reformada
Fuente: propia*

Análisis estadístico.

La investigación que se llevara a cabo es descriptiva la cual cuenta con un enfoque cuantitativo, en esta se recopilarn datos cuantificables, posteriormente se llevara realizar un análisis y medición de los mismos. (Monje,2011) Este tipo de investigación (descriptiva) tiene como objetivo determinar todas las propiedades, características y naturaleza de los fenómenos que se realiza. Es importante resaltar que este tipo de investigación miden los conceptos o variables independientes, lo anterior hace referencia a que este tipo de estudio mide con la mayor precisión posible a diferencia de otros. (Hernández, Fernández y Baptista, 2003).

Las investigaciones cuantitativas, son aquellas que asume que el conocimiento es el objetivo y que esta deriva de un proceso deductivo, en donde las hipótesis planteadas previamente se prueban mediante la medición numérica y análisis estadísticos. (Hernández, Fernández, y Baptista ,2014)

El presente trabajo, se llevara a cabo una recopilación de datos donde se utilizará la estación móvil de monitoreo ubicada en la corporación universitaria Reformada, la cual tiene como objetivo

verificar el cumplimiento de las normas ambientales, así mismo establece las tendencias a mediano y largo plazo de contaminantes atmosféricos con el fin de gestionar alertas por contaminación atmosférica. Para el desarrollo del trabajo fue necesario la aplicación de ANOVA multifactorial donde planteo como hipótesis nula “no hay un efecto de la variable (día, hora, mes, día-hora Hora-mes, día-mes) sobre la concentración del contaminante” y como hipótesis alternativa se planteó “si hay un efecto de la variable sobre la concentración promedio” con el fin de relacionar la hora, el día de la semana y mes del año; además se aplicó ANOVA de un solo factor para estudiar la relación con el día del mes y la jornada.

MÉTODOS.

Para la obtención de datos del PM10 se tomaron muestras desde el mes de mayo hasta septiembre del 2021 (PM10), para ello empleo la técnica automática esta consiste en la toma de muestras en tiempo real (Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad de aire), por medio del método que proporciona la medición de la concentración de masa de material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales (PM10) en el aire ambiente durante un período de 24 horas con el fin de determinar el logro y mantenimiento de la principal y estándares nacionales secundarios de calidad del aire ambiental para material particulado. Para la recolección de muestras se implementará el método EQPM 0404-151 el cual consiste en la medición de partículas por atenuación de absorción beta. La absorción beta es un método masico que sirve para la medición de material particulado, este funciona con una cinta que es la que recoleta el contaminante (PM) del aire ambiente. La magnitud de los rayos beta es medida luego de que éstos son atenuados por el material particulado. La magnitud es relacionada con la masa del material particulado depositada en la cinta, luego de haber efectuado las respectivas correcciones debidas a la absorción de la cinta (MDVT, 2008).

Este peso neto de la masa se calcula con la masa total de partículas recolectadas en el rango de tamaño PM10. Donde los resultados obtenidos serán en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para el O_3 se tomaron muestras desde el mes de noviembre hasta diciembre del 2021, donde la técnica de medición en campo directa utilizando el método de quimioluminiscencia. Este método de quimioluminiscencia proporciona mediciones de referencia de la concentración de ozono (O_3) en el aire ambiente para determinar el cumplimiento de las normas nacionales primarias y secundarias de calidad del aire ambiental para O_3 como se especifica en 40 CFR parte 50. Este método automatizado es aplicable a la medición de las concentraciones ambientales de O_3 utilizando muestreo y análisis continuos (en tiempo real). La toma de muestras se realizó durante un período de 8 horas con el fin de determinar el logro y mantenimiento de la principal y estándares nacionales secundarios de calidad del aire ambiental para ozono troposférico. Para la obtención de las muestras se implementará el método EQOA-0206-148 donde los resultados proporcionados serán en $\mu\text{g}/\text{m}$.

Una vez obtenidos los datos, estos fueron validados por la autoridad ambiental Barranquilla Verde, posteriormente los datos ya validados se ingresaron en un Excel con el fin de hallar la media móvil de cada contaminante, para el PM10 se halló con 24 horas y para O_3 se realizó con 8 horas. Al tener la media móvil de cada contaminante se pasó a la elaboración de las gráficas de las concentraciones respecto a los establecidos por resolución 2254 del 2017 y la OMS en 2021.

RESULTADOS.

1. Concentraciones de los contaminantes PM10 Y O_3 en el sector de las mercedes.

Comportamiento PM10

Ilustración 6, muestra las mediciones en la estacione móvil de monitoreo de calidad de aire comparado con la resolución 2254 del 2017 la zona estudiada nunca estuvo por encima del valor máximo permisible donde se resalta que en los meses estudiados existió una ligera oscilación donde el mes de septiembre se dio un incremento hasta $51,78\mu\text{g}/\text{m}^3$.

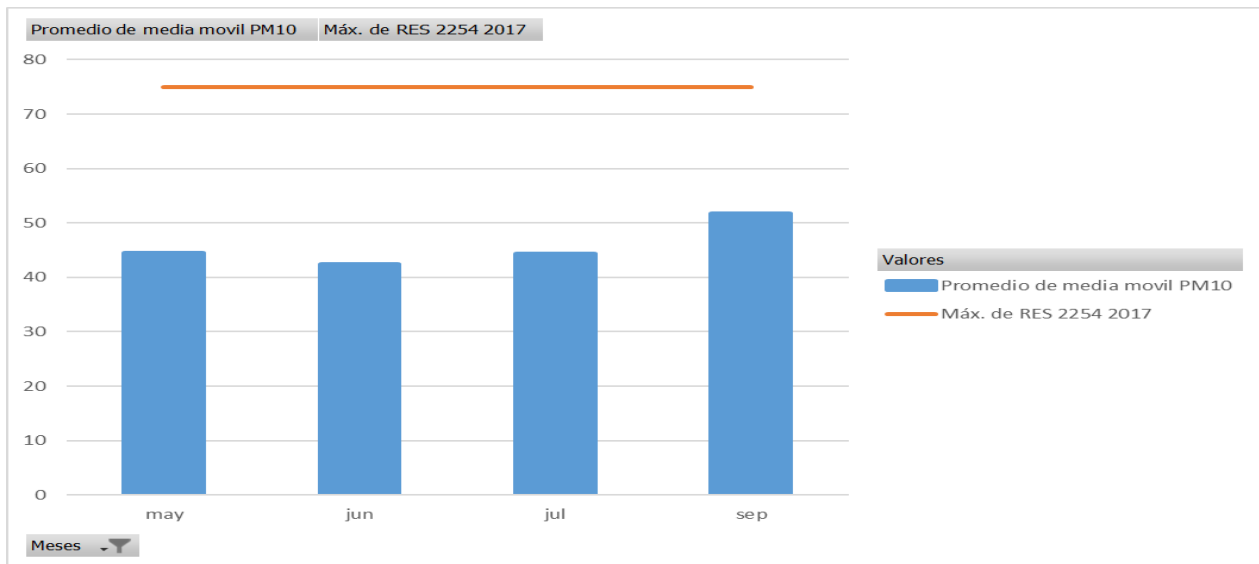


Ilustración 6 Comparación del promedio de media móvil de PM10 con la Resolución 2254 del 2017 Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7, muestra la gráfica los meses estudiados comparados con los niveles estipulados por la OMS la cual es de $45\mu\text{g}/\text{m}^3$., en los cuales se resalta que el mes de septiembre fue el que tuvo un aumento que sobre paso los estándares de la OMS. Es importante señalar que los meses estudiados presentaron valores que estuvieron cerca de sobrepasar los valores estipulados; como es el caso del mes de mayo y julio quienes Presentaron valores cercanos al máximo permisible

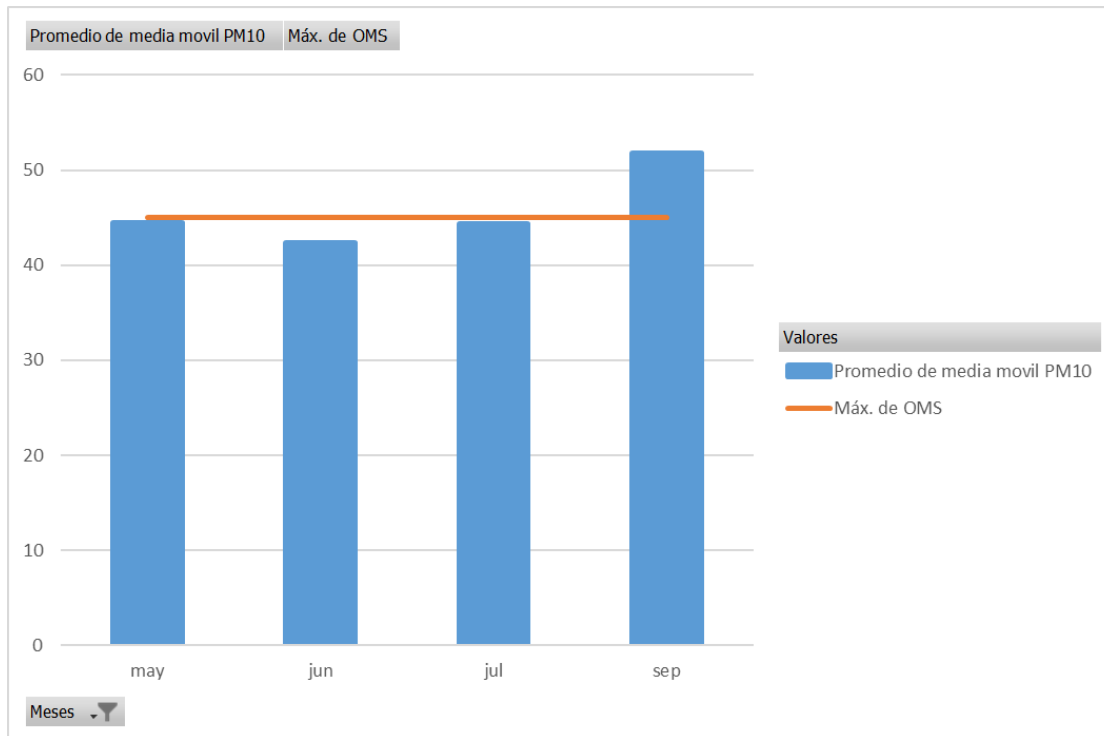


Ilustración 7 Comparación del promedio de media móvil de PM10 con la OMS Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8, muestra la comparación entre los resultados obtenidos y el valor máximo permisible anual estipulado por la resolución 2254 del 2017. La imagen muestra que la zona estudiada presenta un aumento en el mes de septiembre que sobrepasa el nivel máximo permisible estipulado en la resolución 2254 del 2017 con un valor 51,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

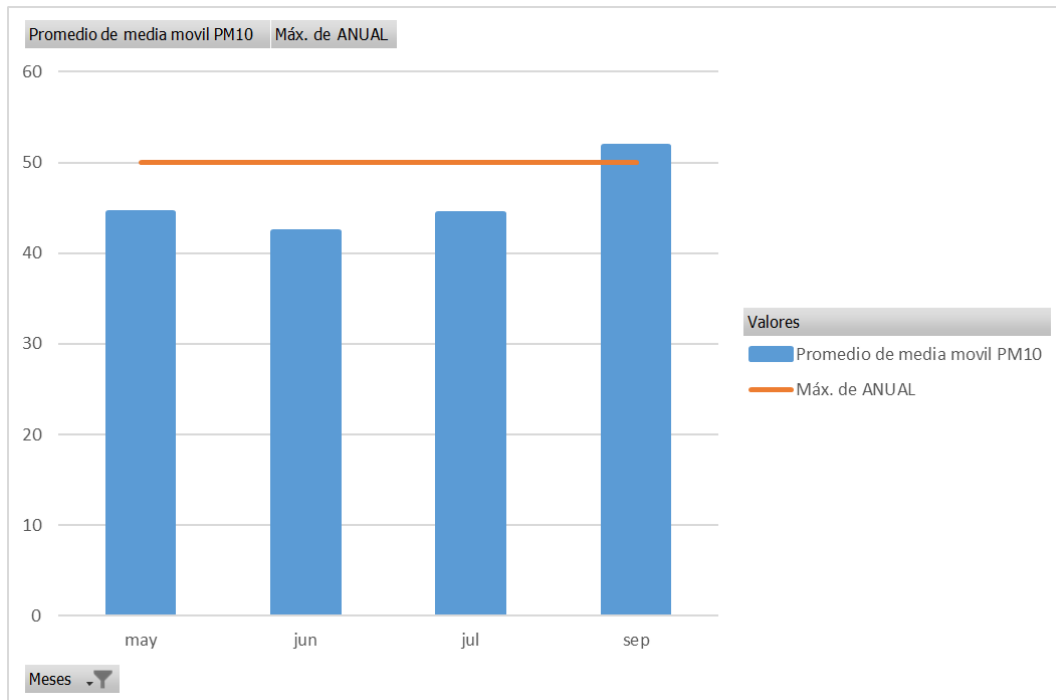


Ilustración 8 Comparación del promedio de media móvil de PM10 con la máxima anual. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9, muestra la comparación entre los resultados obtenidos y el valor diario máximo permisible estipulado por la resolución 2254 del 2017. Se puede ver que durante los días 20 de mayo y 20 de julio presentan un aumento que sobrepasa el nivel máximo permisible de la resolución; con un valor de $51,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

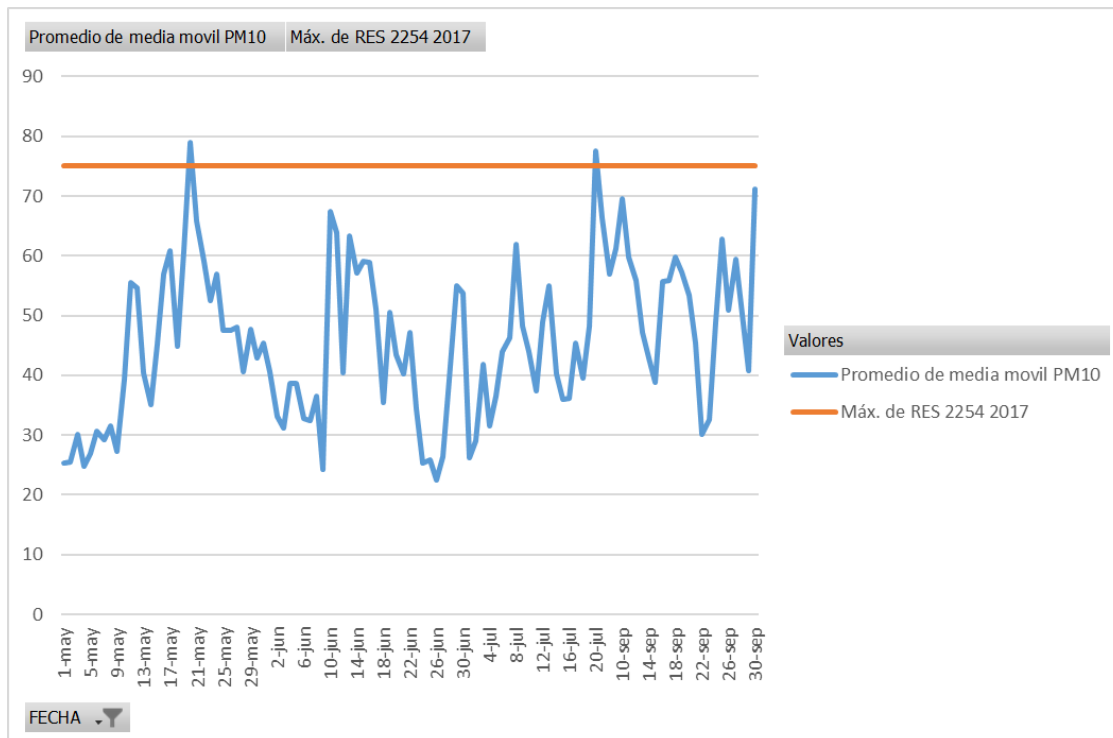


Ilustración 9 Comparación del promedio de media móvil de PM10 por día con la resolución 2254 de 2017 Fuente: Elaboración propia

Ilustración 10, muestra la comparación entre los resultados obtenidos y el valor diario máximo permisible estipulado por la OMS. Se puede apreciar que la zona estudiada en la mayoría de los meses estudiados sobrepasa el límite máximo permisible estipulado.

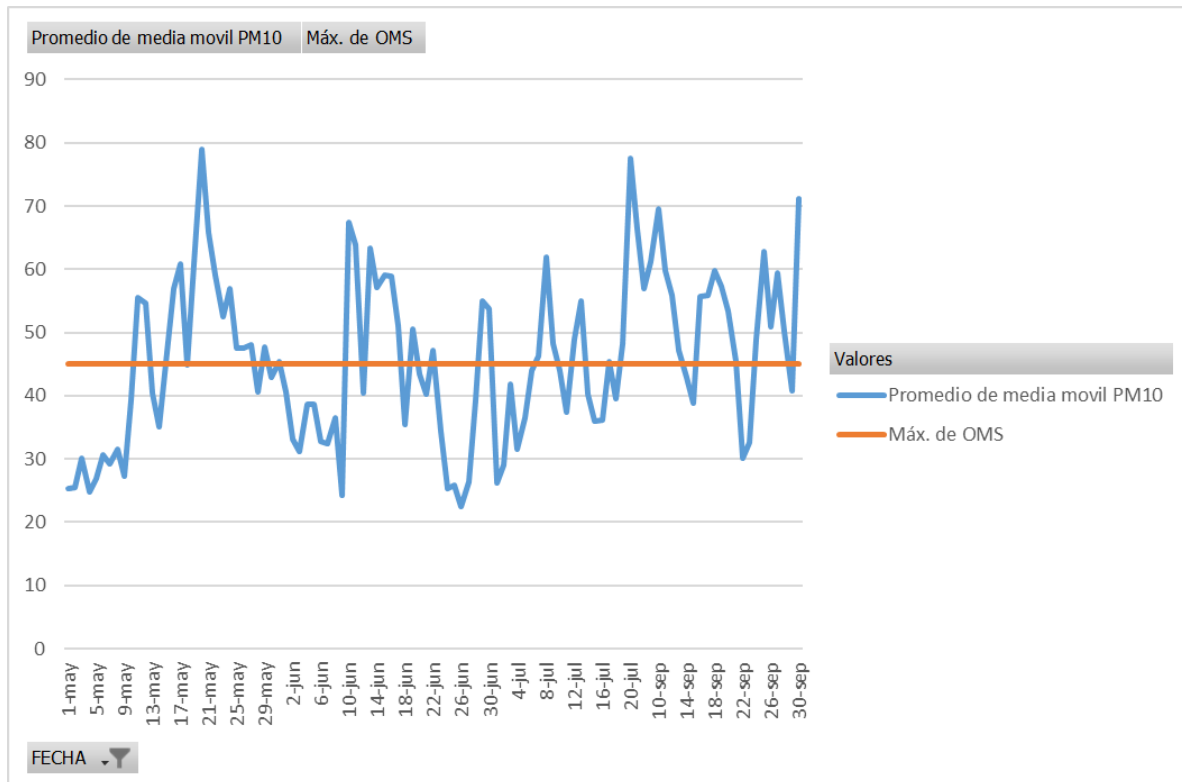


Ilustración 10 Comparación del promedio de media móvil de PM10 por día con la máxima de la OMS. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11 muestra la comparación entre los resultados obtenidos y el valor máximo permisible estipulado por la OMS y la resolución 2254 del 2017. Se muestra que la zona de las Mercedes en los meses estudiados sobrepasa los límites máximos permisibles estipulados por la resolución y la OMS. Siendo el Mes de mayo y septiembre los que presentan más picos.

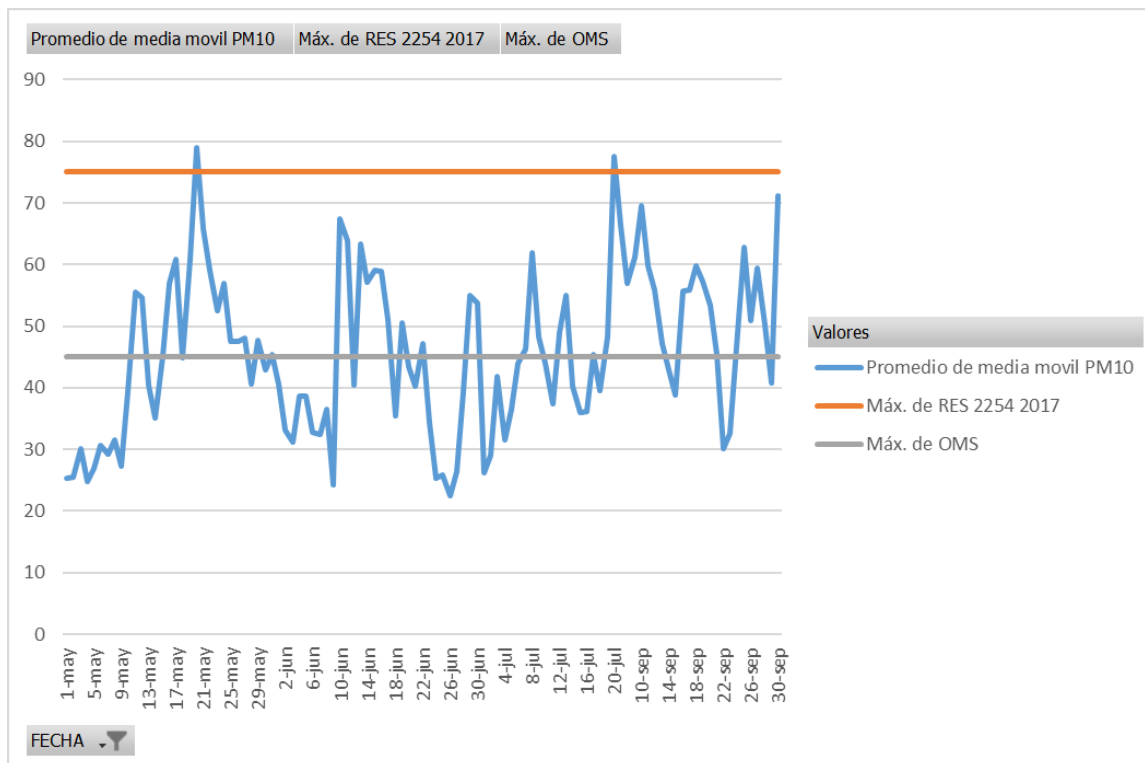


Ilustración 11 Comparación del promedio de media móvil de PM10 con la máxima de la resolución 2254 de 2017 y la OMS.
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12 muestra el comportamiento del promedio de PM10 por día. Se muestra que la zona estudiada presentó aumento entre las seis y siete de la mañana, la una y dos de la tarde y las cuatro de la tarde en adelante.

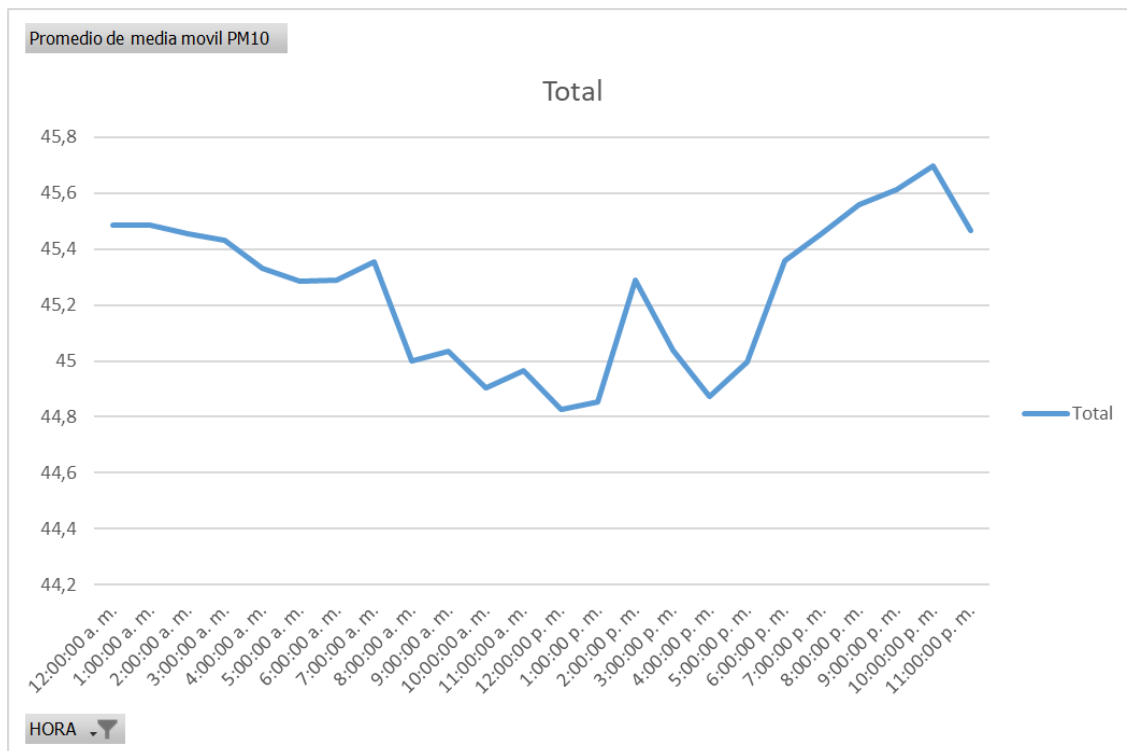


Ilustración 12 Comportamiento del promedio de PM10 durante el día Fuente: Elaboración propia

Comportamiento O₃

Ilustración 13, muestra la comparación entre los resultados obtenidos y el valor máximo permisible estipulado por la resolución 2254 del 2017. Se puede apreciar que la zona estudiada presenta niveles por debajo de límite máximo permisible y que las cantidades casi iguales en los meses estudiados.

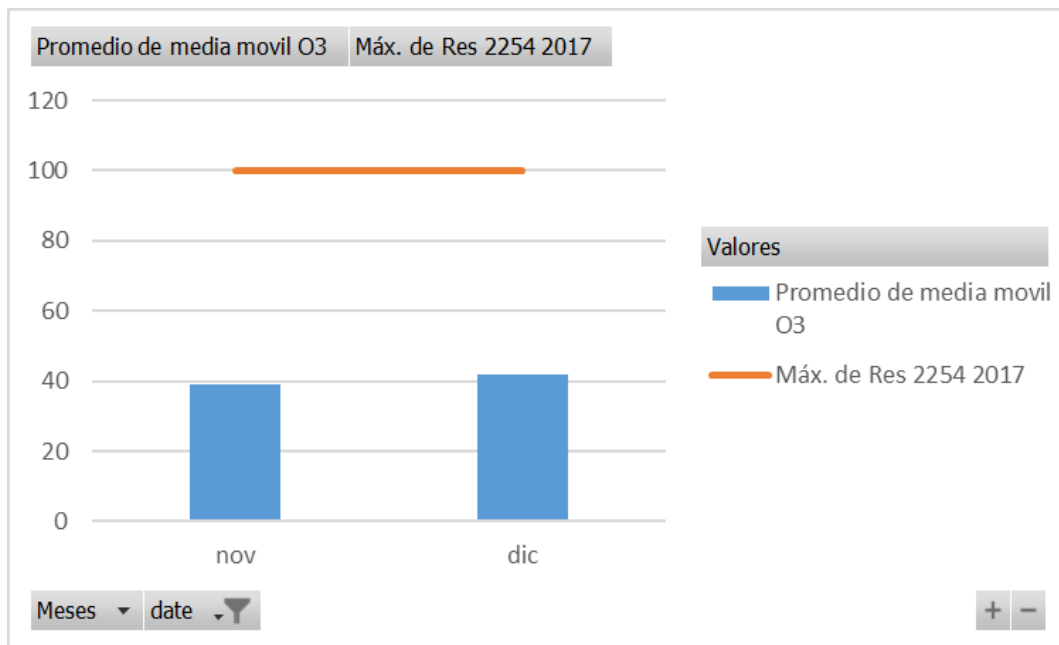


Ilustración 13 Comparación del promedio de media móvil de O₃ con la máxima de la resolución 2254 de 2017. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14, muestra la comparación entre los resultados obtenidos y el valor máximo permisible anual estipulado por la resolución 2254 del 2017. Se puede apreciar que la zona estudiada tuvo niveles por debajo del límite máximo permisible, especialmente entre el tres y el siete de diciembre.

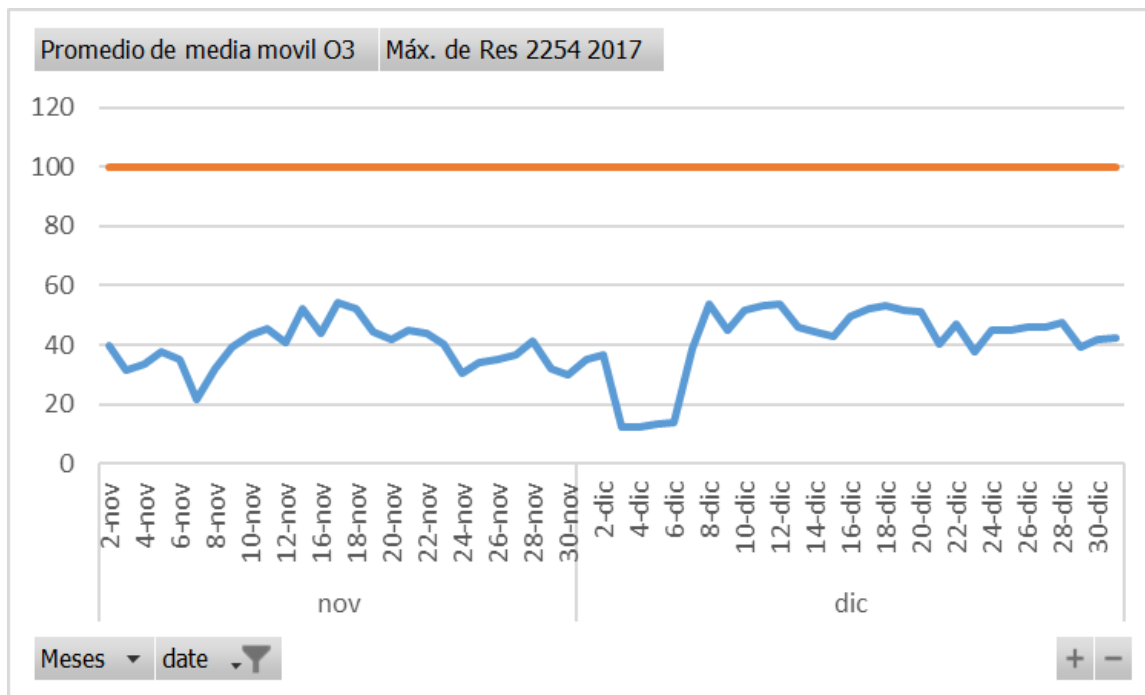


Ilustración 14 Comparación del promedio de media móvil de O₃ por día con la máxima de la resolución 2254 de 2017. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 15, muestra el comportamiento diario de O₃ en la zona de las Mercedes donde se puede observar en que este contaminante tiende a presentar picos en horas de 3pm a 5pm en los días estudiados.

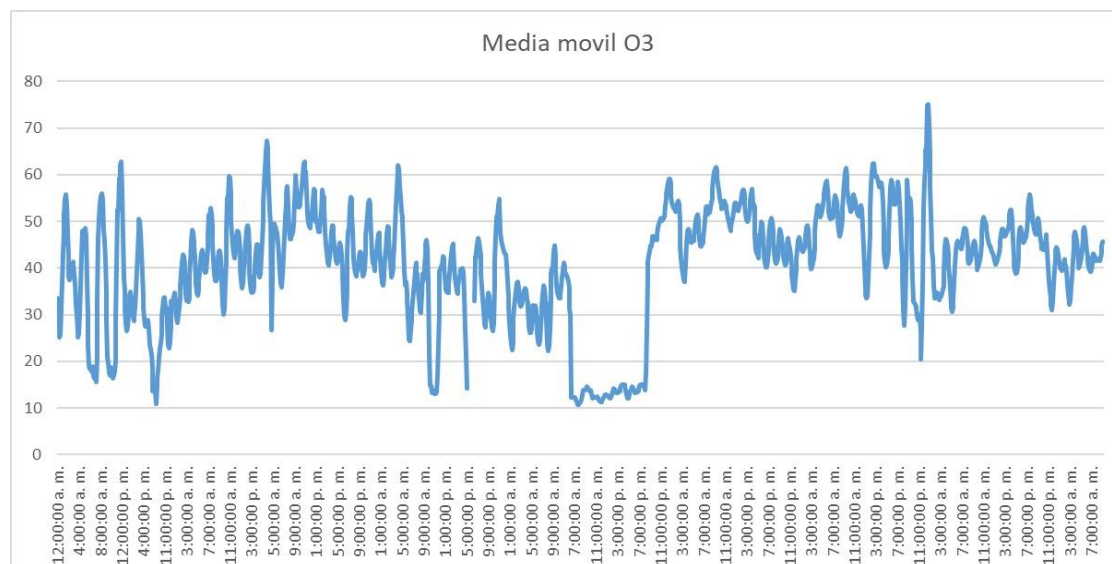


Ilustración 15 Comportamiento del promedio de O₃ durante el día fuente: elaboración propia

2. Relación de la interacción entre los contaminantes PM10 Y O₃, en el sector las mercedes de la ciudad de Barranquilla.

Análisis de PM10.

Análisis de Varianza para Movil_pm10 - Suma de Cuadrados Tipo III:

En el análisis de varianza representado en la tabla 2, se encontró que el PM10 tuvo valores significativos en hora y mes, pero para días de la semana se tuvieron valores no significativos es decir no existieron días de la semana con mayor concentración de PM10. Se tuvieron interacciones entre horas-mes, y días-mes.

Tabla 2 Análisis de Varianza para Movil_pm10 - Suma de Cuadrados Tipo III Fuente: Elaboración propia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:h	136203,	23	5921,88	12,15	0,0000
B:ds	915,78	6	152,63	0,31	0,9303
C:m	7459,12	3	2486,37	5,10	0,0016
INTERACCIONES					
AC	92770,6	69	1344,5	2,76	0,0000
BC	33910,5	18	1883,92	3,87	0,0000
RESIDUOS	968088,	1987	487,211		
TOTAL (CORREGIDO)	1,25985E6	2106			

Comportamiento PM10 en las horas del día.

La ilustración 16, muestra el comportamiento del PM10 durante el día, donde se puede observar que se tuvieron picos en las horas de las cuatro de la madrugada a ocho de la mañana y de cuatro de la tarde a once de la noche con estimaciones de 36 a 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

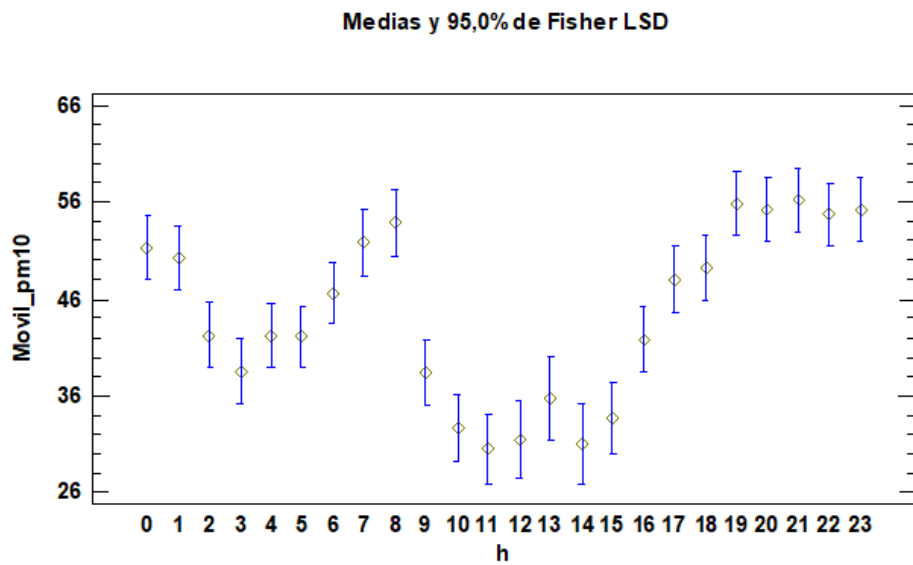


Ilustración 16 Comportamiento PM10 en las horas del día. Fuente: Elaboración propia

Comportamiento PM10 por mes.

La ilustración 17, muestra que los meses de mayo a julio los valores de concentración se mantuvieron, a diferencia del mes de septiembre en el cual se dio un incremento notorio con un valor aproximado de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

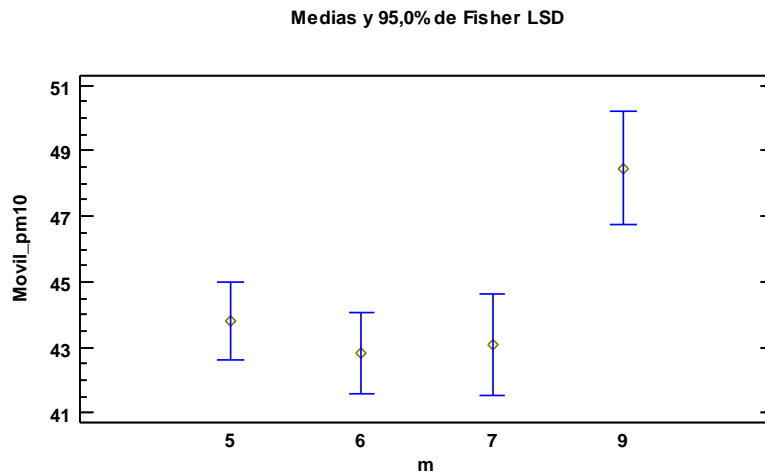


Ilustración 17 Comportamiento PM10 por mes. Fuente: Elaboración propia

Interacción hora-mes.

La ilustración 18, muestra que para el mes de mayo se tuvo un incremento entre las dos de la madrugada y las seis de la mañana, así mismo se tuvo un aumento entre las tres de la tarde a las ocho de la noche. En junio se tuvieron incrementos entre las tres de la madrugada a las ocho de la mañana y de las dos de la tarde a las once de la noche. En julio, se tuvieron aumentos entre seis y ocho de la mañana, de este mismo modo se tuvieron incrementos entre dos de la tarde hasta las once de la noche. Para el mes de septiembre se presentaron más incremento respecto a los anteriores meses, estos aumentos de PM10 se dieron entre las doce y la una de la madrugada, entre las cinco y ocho de la mañana, entre las once y una de la tarde, y de tres de la tarde a once de la noche.

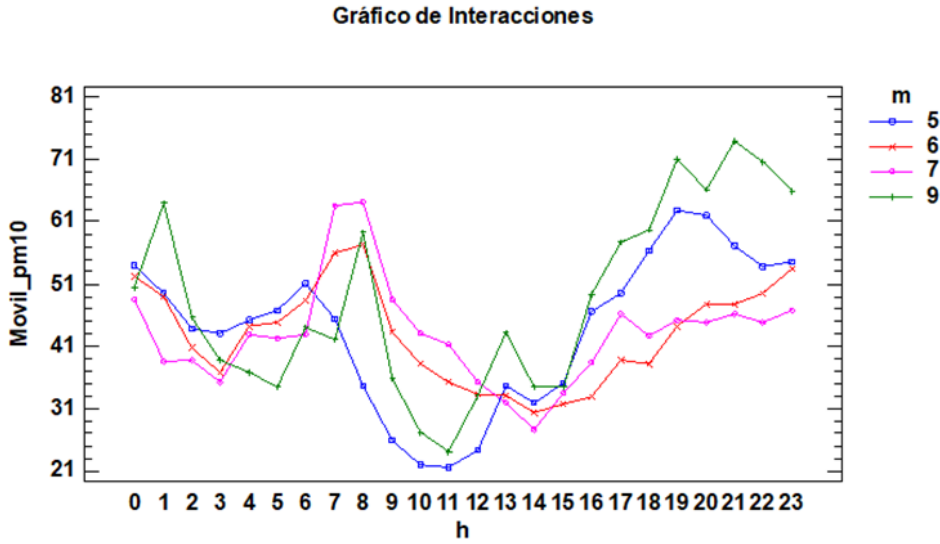


Ilustración 18 Interacción hora-mes. Fuente: Elaboración propia

Interacción día-mes.

Ilustración 19, muestra los días de la semana que presentan mayor aumento por mes, para el caso de mayo los miércoles y jueves son en los que se dan mayor concentración de PM10. En junio los martes-miércoles y jueves- viernes es donde se presenta incremento del contaminante. En julio se dio un crecimiento entre lunes-miércoles y sábado-domingo. En septiembre se presentaron aumentos entre miércoles -sábado.

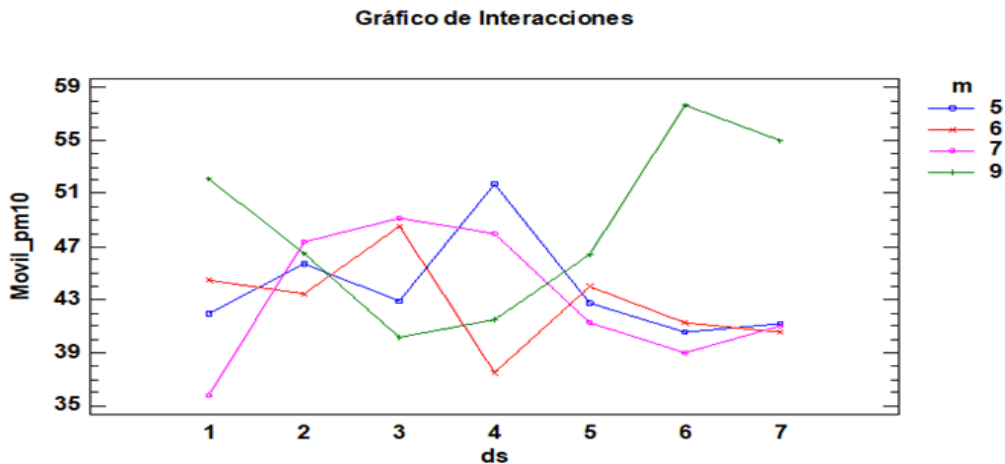


Ilustración 19 Interacción día-mes. Fuente: Elaboración propia

ANOVA para Movil_pm10 por día-noche.

En el ANOVA representado en la tabla 3, se encontró que el PM10 presento un valor estadísticamente significativo ya que este fue menor de 0,05 en el estudio día-noche.

Tabla 3 ANOVA para Movil_pm10 Fuente: Elaboración propia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	49612,3	1	49612,3	86,29	0,0000
Intra grupos	1,21023E6	2105	574,933		
Total (Corr.)	1,25985E6	2106			

Comparación concentración día-noche.

Ilustración 20, presenta la comparación de la concentración entre el día y la noche, se encuentra que el contaminante presento una mayor concentración en horas de la noche durante los meses estudiados.

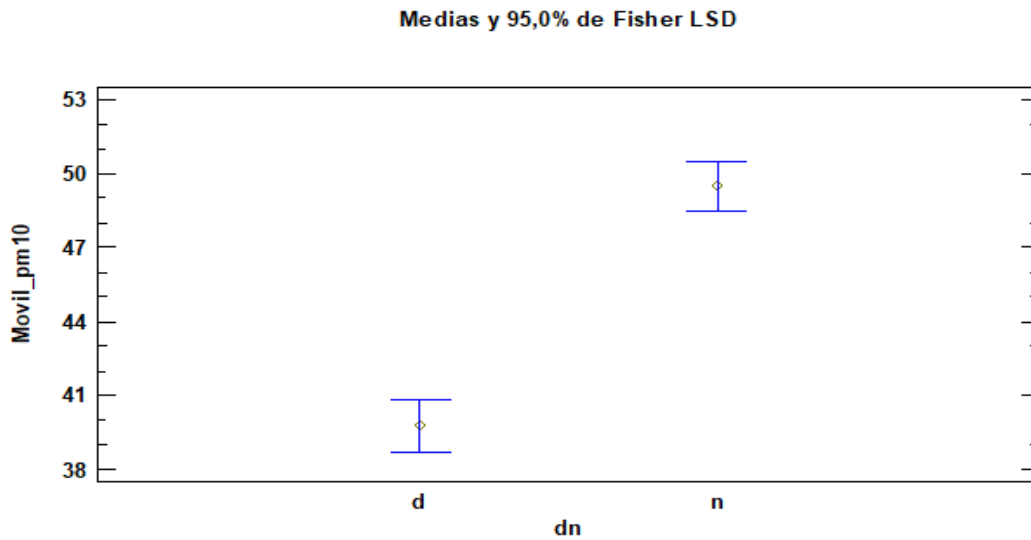


Ilustración 20 comparación concentración día-noche Fuente: Elaboración propia

ANOVA para Movil_pm10 por día.

En el ANOVA representado en la tabla 4, se encontró que el PM10 presento un valor estadísticamente significativo ya que este fue menor de 0,05 en el estudio por día.

Tabla 4 Tabla ANOVA para Movil_pm10 por día Fuente: Elaboración propia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	135156,	30	4505,21	8,32	0,0000
Intra grupos	1,12469E6	2076	541,758		
Total (Corr.)	1,25985E6	2106			

Comparación concentración por día.

La ilustración 21, muestra el día de mes en los cuales se puede observar que los primeros días del mes las concentraciones para PM10 son bajas hasta el día 5, de esta forma a medida que avanzan los días las concentraciones aumentan y disminuyen, es importante resaltar que cuando estas pasan de disminuir a aumentar alcanzan picos muy altos.

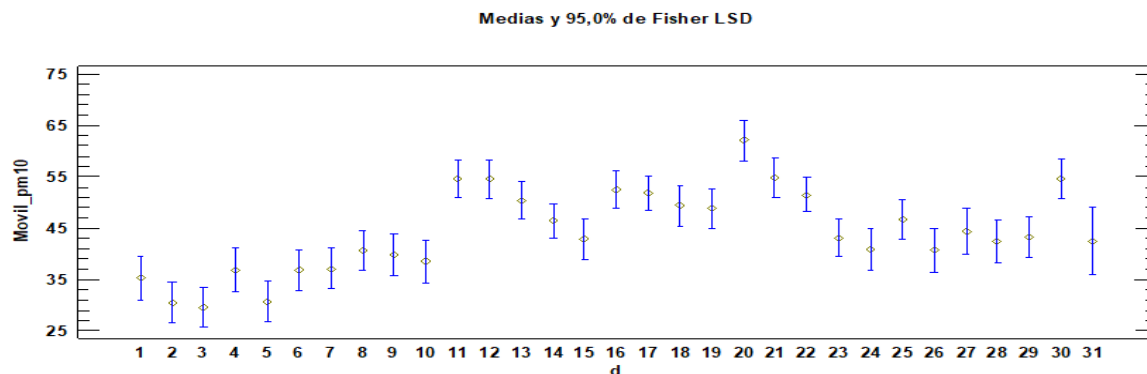


Ilustración 21 Comparación concentración por día. Fuente: Elaboración propia

Análisis de O₃.

Análisis de Varianza para Movil_ O₃ - Suma de Cuadrados Tipo III:

El análisis de varianza representado en la tabla 5, se encontró que los valores de hora, días, mes y la relacione entre hora-mes resulto significativo.

Tabla 5 Análisis de Varianza para Movil_ O₃ Fuente: Elaboración propia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:h	75174,9	23	3268,47	19,99	0,0000
B:ds	3289,54	6	548,256	3,35	0,0028
C:m	3723,02	1	3723,02	22,77	0,0000
INTERACCIONES					
AC	9038,21	23	392,966	2,40	0,0002
RESIDUOS	195226,	1194	163,506		
TOTAL (CORREGIDO)	282823,	1247			

Comportamiento O₃ en las horas del día.

La ilustración 22, presenta dos picos uno de ellos va de doce de la noche a tres de la madrugada, así mismo se presenta un aumento entre las nueve de la mañana y la una de la tarde, este último crecimiento de la concentración del O₃ fue más alto que el anterior.

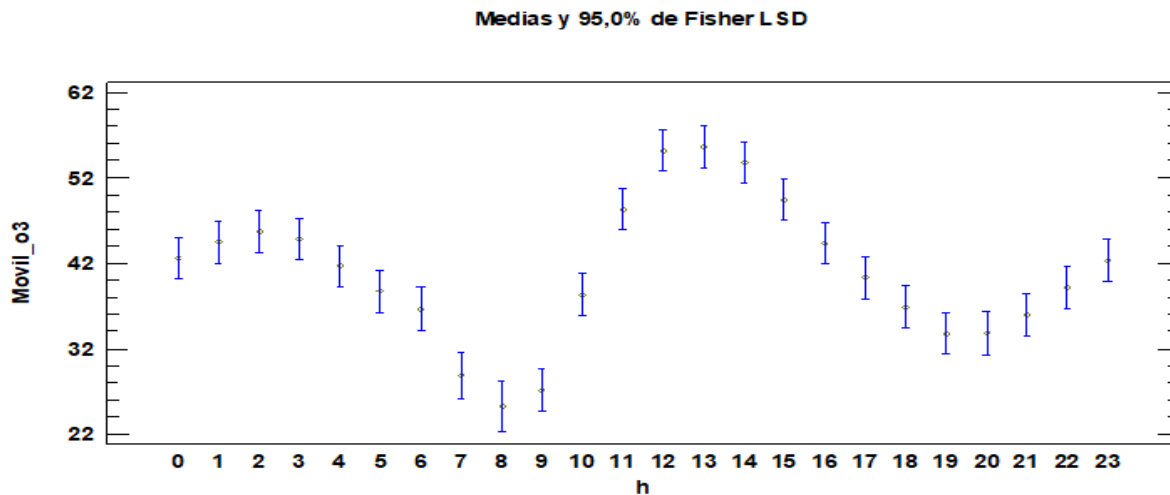


Ilustración 22 Comportamiento O₃ en las horas del día Fuente: Elaboración propia

Comportamiento O₃ día.

La ilustración 23, muestra un aumento de la concentración del contaminante entre los días lunes-miércoles. Así mismo entre los miércoles- viernes se mantienen concentraciones altas y en los días siguientes esta disminuye.

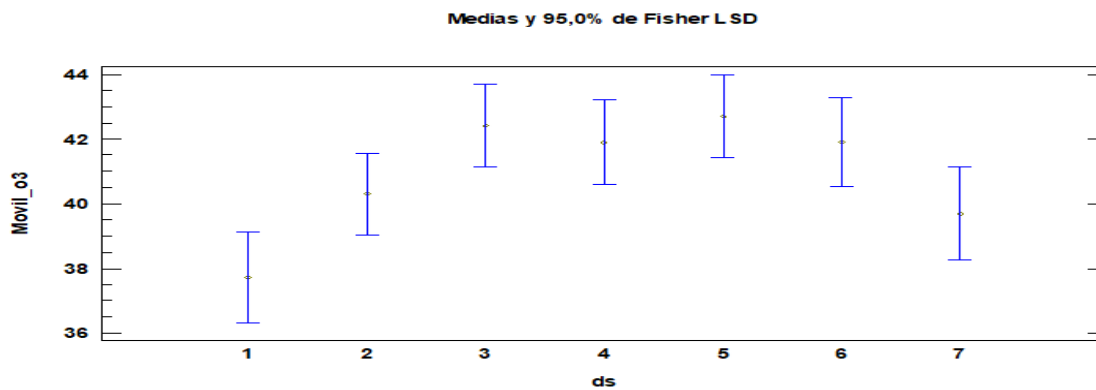


Ilustración 23 Comportamiento O₃ día. Fuente: Elaboración propia

Comparación concentración mes.

La ilustración 24, muestra la comparación entre los meses estudiados, en los cuales se presenta que el mes de Diciembre fue el que presento una concentración más alta respecto a noviembre del contaminante.

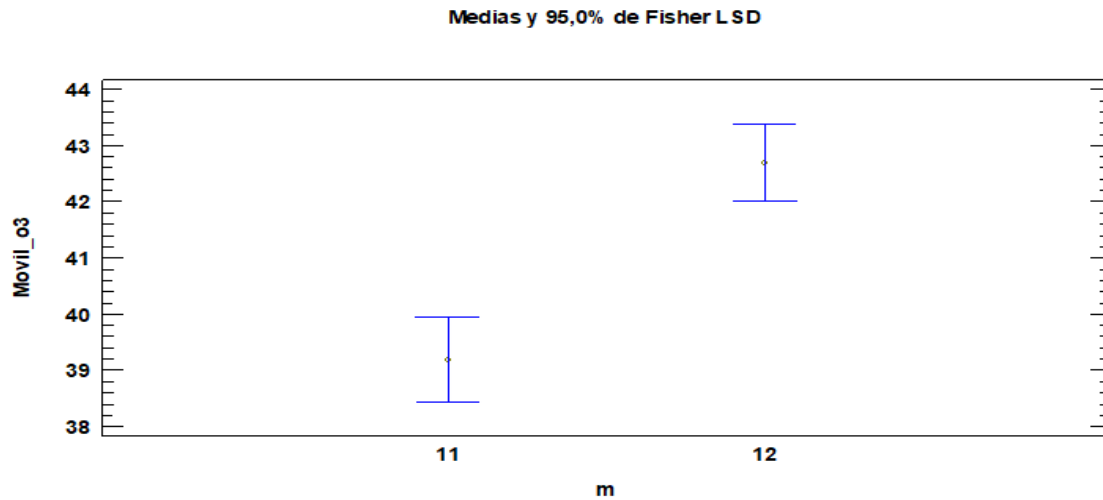


Ilustración 24 comparación concentración mes. Fuente: Elaboración propia

Interacción hora-mes

La ilustración 25, muestra la interacción entre los meses estudiados. Donde se logra evidenciar que diciembre fue el mes que mantuvo concentraciones más altas, pero es importante resaltar que fue el mes de noviembre entre las horas once de la mañana y dos de la tarde mantuvo el pico más alto registrado en estudio.

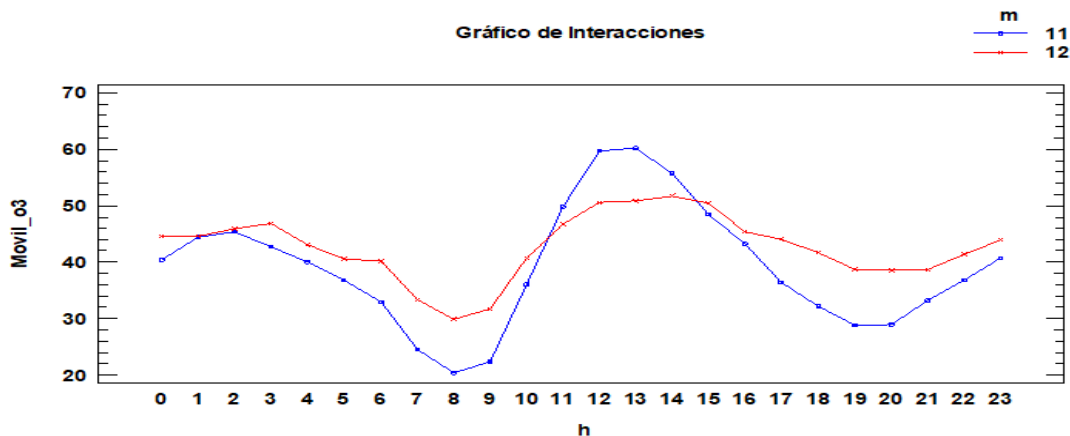


Ilustración 25 Interacción entre los meses Fuente: Elaboración propia

ANOVA para Móvil_ O₃ por día-noche.

En el ANOVA representado en la tabla 6, se encontró que el O₃ presento un valor estadísticamente significativo ya que este fue menor de 0,05 en el estudio día-noche

Tabla 6 ANOVA para Movil_ O₃ por día-noche Fuente: Elaboración propia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2339,71	1	2339,71	10,39	0,0013
Intra grupos	280483,	1246	225,107		
Total (Corr.)	282823,	1247			

Comparación concentración día-noche.

La ilustración 26, muestra que el contaminante presento una mayor concentración en horas del día durante los meses estudiados.

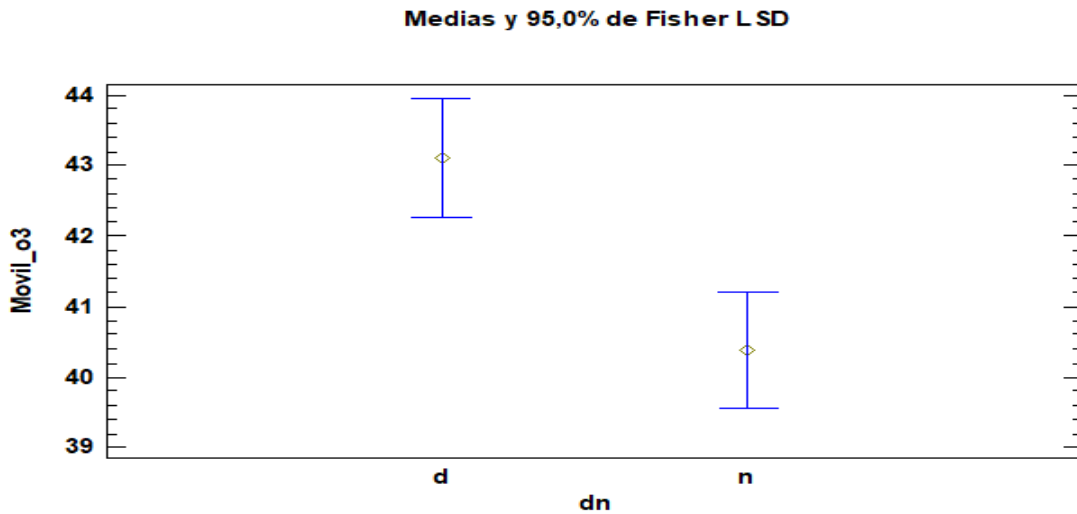


Ilustración 26 comparación concentración día-noche Fuente: Elaboración propia

ANOVA para Movil_ O₃ por día.

En el ANOVA representado en la tabla 7, se encontró que el O₃ presento un valor estadísticamente significativo ya que este fue menor de 0,05 en el estudio por día.

Tabla 7 ANOVA para Móvil_ O₃ por día Fuente: Elaboración propia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	71959,3	30	2398,64	13,84	0,0000
Intra grupos	210864,	1217	173,265		
Total (Corr.)	282823,	1247			

Comparación concentración por día.

En la ilustración 27, se muestra que los niveles más bajos de la concentración de este contaminante se dieron los días del 4 al 5. Así mismo a partir del día 9 los valores de concentración comienzan a oscilar. El día donde se tuvo una concentración más alta 17-18.

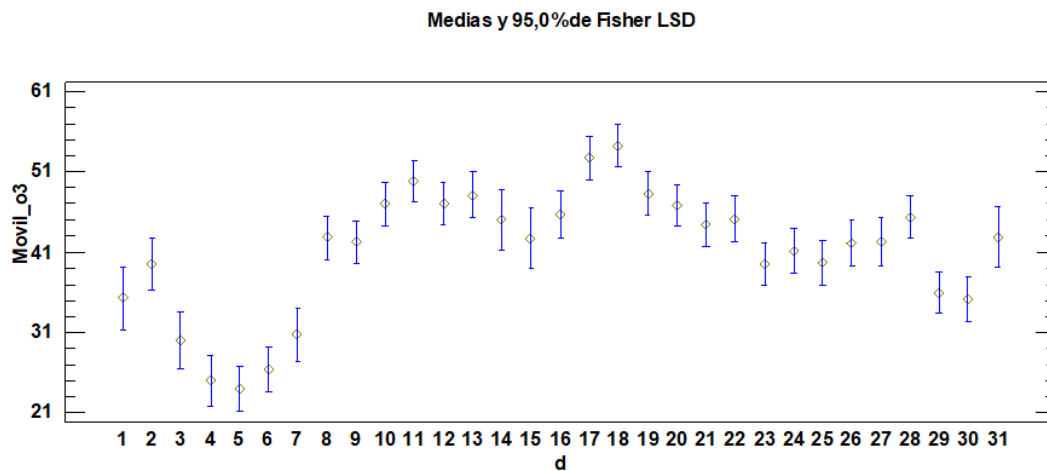


Ilustración 27 Comparación concentración por día Fuente: Elaboración propia

3. Identificar las fuentes posibles de generación de los contaminantes PM10 Y O₃, en el sector las mercedes de la ciudad de Barranquilla.

Se identifico que las posibles fuentes de generación de los contaminantes PM10 Y O₃, en el sector las Mercedes de la ciudad de Barranquilla; se encuentra relacionado con las industrias ubicadas en la zona de estudio. Así mismo, es importante resaltar que el sector de las Mercedes cuenta con vías principales que presentan un alto tráfico de vehículos diario, aumentando en horas pico. Los factores meteorológicos son otra posible fuente, ya que estos juegan un papel muy importante en la dispersión de estos contaminantes.

DISCUSIÓN.

En este estudio, se contempló en los meses de mayo hasta septiembre del 2021 para PM10 y del mes de noviembre hasta diciembre del 2021 para O₃, donde se encontró que los niveles de concentración de PM10 en la zona del barrio las Mercedes fue de 21 y 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para y para O₃ 17 y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites que establece la resolución 2254 del 2017, pero es importante resaltar que para el caso del PM10 este no se encuentra entre los niveles que establece la OMS en el 2021.

Por lo anterior, tenemos que la zona del barrio de las Mercedes presenta altos niveles diarios de PM10 que varían durante el día, se encontraron días en los que las altas concentraciones se daban en horas pico y la madrugada. Para el caso del para O₃ tenemos que este se presentó con mayor frecuencia en horas del mediodía y la tarde.

Con base a investigaciones ya desarrolladas acerca de la calidad de aire se destaca la del investigador Roberto Trelles (2018), donde determina “Que el aumento de vehículos pesados y livianos son causantes del aumento de contaminantes”

En la investigación se realizó en tres estaciones de monitoreos donde en una de ella se tomó en cuenta el aumento de vehículos en una zona donde se estaba desarrollando el arreglando una vía, por ello el monitoreo realizado se llevó a cabo durante la construcción y una vez terminada la misma. Donde se llegó a determinar que la elevación de los niveles que presentaron los contaminantes registrados en esa estación de monitoreo se generó por el incremento de vehículos en la zona. (Trelles, 2018)

Considerando lo anterior, tenemos que los niveles de concentración presentados en nuestro estudio se derivan por fuentes como autos y motocicletas que transitan la zona, es por ello la necesidad de

realizar monitoreos contantes con el fin de determinar sus concentraciones y de esta forma establecer cuáles son las fuentes que lo generan e implementar acciones que ayuden a su disminución para que la salud de las personas del barrio las Mercedes no se vea en peligro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De acuerdo con los objetivos planteados para el desarrollo de la investigación, se determinó cuáles eran las concentraciones de los contaminantes PM10 y O₃. Donde se encontró que el PM10 tuvo aumentos que superaron los valores máximos permisibles estipulados por la resolución 2254 del 2017. Los valores encontrados para este contaminante criterio fueron de 21 y 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se encontró que las concentraciones más altas del PM10 se presentó en el mes de septiembre, donde se presentó un valor promedio de 51.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para el caso de O₃ se encontró que este no sobre paso los límites establecidos por la resolución. En los meses estudiados el mes de diciembre este contaminante presento mayor concentración, esta fue de 41.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, es importante resaltar que en el mes de noviembre este contaminante presento picos de concentración altos, este fue de 39.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los contaminantes se caracterizaron por sus horas de concentración, en el caso del PM10 su aumento se centró en la noche, para el caso del O₃ sus mayores aumentos se presentaron en el día. De lo anterior se puede concluir que la comunidad que reside en el barrio las Mercedes se encuentra en constante exposición de estos contaminantes y, por consiguiente, se verán afectaciones a su salud. Se logro determinar que las posibles fuentes de generación de los contaminantes, las cuales fueron: las industrias que se ubican cerca de la zona de estudio, el trafico constante en la zona ya que cuenta con vías muy concurridas, así mismo se logro determinar que los factores

meteorológicos son uno de los principales factores de influencia ya que estos ayudan a la dispersión de distintos contaminantes.

RECOMENDACIONES.

Se recomienda seguir analizando tanto las concentraciones como las fuentes que generan estos contaminantes cerca de zonas residenciales, ya que es muy necesario por la salud de los habitantes, así mismo se propone que las autoridades sigan un control estricto de las emisiones generadas por parte de la industria y los vehículos, especialmente de los buses, camiones y motos. Por último, se invita a que los entes encargados de la movilidad de la ciudad dispongan de información de registro de fuentes móviles ya que esto permite realizar estudios donde estos se asocien como fuentes de generación de contaminantes de forma más asertiva.

REFERENCIAS.

1. Arciniegas, C. (2012). Diagnóstico y Control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Luna Azul*, 34, 195-213. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
2. Andes, U. d., & London, U. C. (2013). Marco Teórico de contaminación atmosférica en Bogotá (Colombia): Embajada Británica. Retrieved from <https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wpcontent/uploads/Caracterizaci%C3%B3n-de-la-contaminaci%C3%B3natmosf%C3%A9rica-en-Colombia1.pdf>
3. Alcaldía de Barranquilla. Localidades de Barranquilla Retrieved from <https://www.barranquilla.gov.co/descubre/conoce-a-barranquilla/territorio>
4. Bedoya, J. Martínez, E (2009). Calidad del aire en el valle de Aburrá Antioquia -Colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n158/a01v76n158.pdf>
5. Constitución política 1991(capitulo3art79) Retrieved from <https://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>
6. Contreras Carrillo, E. (2012). Evaluación de los efectos en salud relacionados con la contaminación del aire para el sector ciudadela norte de la ciudad de Ocaña, norte de Santander (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña). Retrieved from <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1140/1/28724.pdf>
7. Consuegra, E. A. (2013). Informe del estado de los recursos naturales. Barranquilla: CONTRALORIA DISTRITAL. Retrieved from <http://contraloriabarranquilla.gov.co/apc-afiles/64646163313337626331653665633230/informe-ambiental-2013.pdf>

14. Ecologistas en Acción de Madrid (2020). Calidad del aire en la ciudad de Madrid durante 2019. Retrieved from <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2020/01/info-calidad-aire-madrid-2019.pdf>
15. EPA (2021) Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente. Retrieved from <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
16. Edusi Albacete. calidad del aire Albacete. Retrieved from <https://www.troposfera.es/albacete/red-albacete/info-contaminantes.html>
17. Gonzales Velandia Tomas (2015). Determinación de la calidad del aire en la universidad libre seccional Bogotá sede bosque popular. Retrieved from <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7951/Proyecto%20Calidad%20del%20Aire%20U%20Libre%20%281%29%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
18. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2003). Metodología de la investigación (3a ed.). México D.F.: Mc Graw-Hill. Retrieved from https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
19. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). México: McGrwall Hill Education. Retrieved from <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
20. IDEAM. (2018). Informe del estado de la calidad de aire en Colombia. Retrieved from <http://www.andi.com.co/Uploads/Informe%20estado%20calidad%20del%20aire%202018.pdf>

21. INS. (2019) Informe Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia. Retrieved from <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Informe-Carga-de-Enfermedad-Ambiental-en-Colombia.aspx>
22. Ley 99 de 1993 - Ley General Ambiental de Colombia. Retrieved from https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf
23. Luján Pérez, Marcos, & Gonzáles Zurita, Daira. (2016). Determinación del impacto de varios contaminantes criterio sobre la salud de la población en ciudades capitales de Bolivia. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892016000100007&script=sci_arttext
24. Mészáros, E. (1999). Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry. Akadémiai Kiado
25. Ministerio de ambiente y desarrollo. (2008). Protocolo para el Monitoreo y seguimiento de la calidad del aire – Manual de operación de sistemas de Vigilancia de la calidad del aire (2008) <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>
26. Minambiente. (2017). Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas retrieved from https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/guia_para_la_elaboracion_de_inventarios_de_emisiones_atmosfericas.pdf
27. Monje Alvares Carlos. (2011). metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa retrieved from <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
28. OPS. (2016). Calidad del aire. Retrieved from <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

29. OMS. (2016). Estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud. Retrieved from <https://www.who.int/es/news/item/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact#:~:text=El%20modelo%20de%20calidad%20del,de%20part%C3%ADculas%20con%20un%20di%C3%A1metro>
30. OMS. (2021). Contaminación de aire exterior. Retrieved from [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)
31. Pérez Fadul, L. F., Hernández Hernández, L. (2006). Determinación de metales pesados en partículas respirables e identificación de fuentes de emisión, a partir de un muestreo atmosférico en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1672&context=ing_ambiental_sanitaria
32. Pizarro De Armas Heidelber. (2014). Determinación de parámetros medio ambientales; que condicionan la calidad del aire (PM10, NO₂, SO₂) en la estación de monitoreo de calidad del aire ubicada en la planta de tratamiento de agua potable de la eaab-tibitoc. Retrieved from <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13302/PizarrodeArmasHeidelber2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
33. Pérez-Cárdenas, Jorge Enrique. (2017). La calidad del aire en Colombia: un problema de salud pública, un problema de todos. Retrieved from <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/biosalud/article/view/3707/3422>
34. Palacios Espinoza Elvira. (2018). Determinación social de la contaminación del aire urbano y de su relación con el deterioro de la salud respiratoria en los niños y niñas menores de 5 años

(Cuenca, Ecuador) 2012-2014. Retrieved from file:///C:/Users/UsuarioHp/Downloads/TD108-DSCAS-Palacios-Determinacion%20(2).pdf

35. Rangel Sonia, Tami Leidy (2010). Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas ubicadas en la zona industrial de Chimitá a lo largo de la vía entre el palenque y café Madrid. Bucaramanga (Colombia) Retrieved from http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Inventario_de_Emisiones_Fijas_Chimita_2009.pdf
36. Resolución 2154 del 2010 Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Resoluci%C3%B3n+2154+de+2010+-+Ajuste+Protocolo+Calidad+del+Aire.pdf/f6feae-d8fa-43d9-993c-9c057e2efe84>
37. Ruiz Abad Pablo. (2018). Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de huamanga a través de la determinación de materiales particulados pm10 por gravimetría Con impactadores harvard Retrieved from https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/2811/tesis_calidad.aire_Huamanga_materiales%20particulados%20PM10_gavimetr%c3%ada_impactadores%20Harvard.pdf?sequence=1&isAllowed=y
38. Resolución 2254 de 2017 Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/2.+Resoluci%C3%B3n+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f>
39. SEMARNAT. (2007). Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas. México DF.: Instituto Nacional de Ecología. Retrieved from http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/2007_guia_moviles.pdf

40. Trelles Motte Roberto. (2018). Determinación del material particulado (PM10 y PM2.5), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO₂) en el distrito de Ocoruro-provincia Espinar-región Cusco. Retrieved from <http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/6733/AMtrmorc.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
41. US-EPA CFR Título 40, Parte 50, Capítulo I, Subcapítulo C, Apéndice J, Automated Reference Method EQPM-0404-151. Lowvol
42. US-EPA CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice D, Ultravioleta. Automated Reference Method EQOA: 0206-148
43. WHO. (2005). Guía de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. OMS. Retrieved from http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf?sequence=1