



## Análisis Comparativo de las concentraciones de material particulado PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> entre los meses de abril y agosto de 2019 y 2020 (antes y durante el confinamiento por la pandemia del COVID-19), en la zona Noreste de Bucaramanga, Santander

Mónica Dayana Gamboa Peña<sup>1</sup>, Yuli Tatiana Ríos Torres <sup>2</sup>, Haimar Ariel Vega Serrano<sup>3</sup> y Sandra Liliana Gómez Ayala<sup>4</sup>

*Estudiante Investigador, Ingeniería Ambiental. Monicad-gamboap@unilibre.edu.co*

*<sup>2</sup>Estudiante Investigador. Ingeniería Ambiental. Yulit-riost@unilibre.edu.co*

*<sup>3</sup>Ingeniero civil. Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Seccional Socorro. Haimar.vega@unilibre.edu.co*

*<sup>4</sup>Química. Magíster en Química. Doctora en Química. Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental, Universidad Libre seccional Socorro. Sandral.gomez@unilibre.edu.co*

INNOVANDO EN LA U ISSN 2216 - 1236

### Resumen

La contaminación atmosférica es un fenómeno que representa un riesgo para la salud, “según la OMS al año se presentan 4,2 millones de muertes” (Pacheco et al, 2020), y las fuentes más comunes de emisión son las industrias, el transporte y la generación de energía. El material particulado hace parte de los

#### **Figura 16. Bucaramanga**



**Fuente:** Autores

contaminantes con mayor impacto pues con un diámetro menor a las 10 micras poseen un potencial de peligro alto por su fácil ingreso a las vías respiratorias de las personas. Existen estaciones de monitoreo que evalúan las concentraciones de este material en la atmósfera, en Colombia las principales ciudades cuentan con este sistema y específicamente en Bucaramanga (figura 1) durante el mes de marzo de este año se registraron valores por encima de los permisibles en la norma.

Ésta investigación tenía como objetivo comparar la concentración de material particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>)

antes y durante el confinamiento por la pandemia del COVID-19, en la zona Noreste de Bucaramanga, Santander; para ello se analizaron los primeros meses del 2019 y 2020, comprendidos entre abril y agosto en relación a los registros reportados por tres estaciones del lugar, Instituto Técnico Superior Dámaso Zapata, Colegio Santander e Institución Educativa Comuneros; de ésta manera al obtener los

datos promedio diarios y mensuales, se encontró que en 2019 los meses con mayores niveles de contaminación fueron abril y agosto mientras que en 2020 abril y mayo; la calidad del aire se clasificó para los dos años como moderada y buena junto con algunos días de abril de 2020 como “dañina para grupos sensibles”, es decir, en estado de prevención. Durante el confinamiento los tres últimos meses se situaron por debajo de las concentraciones respecto al mismo periodo en el año anterior, por el contrario, los dos primeros estuvieron por encima, es así que, a modo de conclusión se determinó que si hubo influencia del confinamiento sobre las emisiones de PM, pero no fue notoria por fenómenos climáticos y externos a la ciudad que apoyaron los elevados registros.

**Palabras clave:** Calidad del aire, concentración, confinamiento, contaminación atmosférica, estación, emisión, material particulado, nivel permisible.

## 1 Introducción

### 1.1 Descripción del problema

La concentración de contaminantes en la atmosfera es una problemática que cada vez más representa un riesgo para la salud, para el medio ambiente y para todos los componentes del desarrollo como sociedad; las emisiones siguen aumentando y en la misma medida se reduce la posibilidad de frenar el calentamiento global. En términos de salubridad, “la OMS afirma que la contaminación del aire (exterior) causa 4,2 millones de muertes cada año” (Pacheco et al, 2020), donde las industrias, el transporte y la generación de energía son los sectores con mayor incidencia en la polución; éstas sustancias que se liberan a la atmosfera son variadas, sin embargo, contaminantes como el material particulado con un diámetro menor a las 10 micras poseen un potencial de peligro alto pues fácilmente podrán ingresar por las vías respiratorias de las personas.

Contemplando esta situación, Colombia no se queda atrás pues para el año 2015, “10.527 muertes y 67,8 millones de enfermedades se asociaron a la contaminación atmosférica cuyos lugares con mayor grado de afectación son: el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, las localidades de Puente Aranda, Carvajal y Kennedy en Bogotá, el municipio de Ráquira en Boyacá y la zona industrial de ACOPI en el municipio de Yumbo (Valle del Cauca)” (IDEAM, s.f.)

En algunos departamentos del país se monitorea la calidad del aire para dimensionar la concentración a la que está expuesta la población, uno de ellos es Santander, específicamente en Bucaramanga, donde precisamente en marzo del presente año las estaciones registraron valores de PM<sub>2.5</sub> por encima de los 37 µg/m<sup>3</sup> un valor fuera del límite permisible para una exposición diaria del mismo, así lo expone (Arias, 2020); como apoyo a este dato, en la figura 2 se representa la ciudad bajo una nube de polvo la cual corresponde al mes de marzo. Dentro de la zonificación se detectó riesgo para niños, mujeres embarazadas y adultos mayores, cabe resaltar que las temperaturas del lugar influyen en éstos incrementos como también fenómenos naturales externos al departamento, pero sin lugar a duda las emisiones son inminentes y es necesario su constante monitoreo.

**Figura 2.** Contaminación atmosférica en Bucaramanga



**Fuente:** Internet, (Diario Cauca,2020)

## 1.2 Antecedentes

(Pacheco et al, 2020) en su investigación titulada “NO<sub>2</sub> levels after the COVID-19 lockdown in Ecuador: A trade-off between environment and human health” se plantearon analizar las concentraciones de NO<sub>2</sub> presentes en la atmosfera antes y durante los cierres de las actividades productivas a causa de la pandemia del Covid-19; este estudio utilizó datos de la plataforma Copernicus Open Access Hub en el satélite Sentinel-5P de la Agencia Espacial Europea, un satélite que monitorea la presencia de gases contaminantes como NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> y O<sub>3</sub> en la atmósfera. Con el fin de comparar la información, los datos correspondían a la fecha entre el 16 y 31 de marzo del 2019 y el 16 y 31 de marzo del 2020 y todo el procesamiento de las imágenes satélites se manejó con ArGis (un sistema de información geográfica). Como resultados obtuvieron que durante el 2019 las máximas cargas contaminantes de NO<sub>2</sub> se situaron en las zonas industriales, (correspondientes a Guayaquil y a Quito) y para el 2020 estas concentraciones disminuyeron en un 13%. Igualmente, en promedio, se registró en las principales ciudades de Ecuador en 2019 valores dentro del intervalo de 37,2 a 66,5  $\mu\text{mol} / \text{m}^3$  y en 2020 entre 31,3 a 51,0  $\mu\text{mol} / \text{m}^2$ , por su parte, en los momentos de mayor restricción en la movilidad, las reducciones en los niveles de NO<sub>2</sub> alcanzaron hasta un -35%.

**(Stratoulías et al, 2020)** con su artículo “Air quality development during the COVID-19 pandemic over a medium-sized urban area in Thailand” estudiaron el comportamiento de los niveles de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la ciudad de Hat Yai, Tailandia, cuya población oscilaba alrededor de los 156 habitantes; al igual que la investigación anterior tomaron la información correspondiente de Sentinel-5P y de una estación meteorológica ubicada en el lugar. En relación a los resultados, encontraron que, durante las primeras tres semanas del confinamiento, las concentraciones de material particulado disminuyeron en un 33.7%, 21.8% y 22.9%; por otro lado, afirman que el  $O_3$  también se redujo en un 12,5% y comparando los datos obtenidos por el satélite y por la estación se establece una coincidencia que respalda la reducción en emisión contaminantes.

### 1.3 Pregunta problema

¿Las concentraciones de material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  disminuyeron en los meses comprendidos entre abril y agosto de 2020 en comparación con el mismo periodo de tiempo de 2019?

### 1.4 Justificación

Las grandes emisiones de contaminantes a la atmosfera han logrado que varios países tengan un objetivo en común, el cual está basado en disminuir las concentraciones de los mismos, con el fin de asegurar una buena calidad del aire, es así que se hace necesario tener un control y monitoreo constante de las condiciones atmosféricas y así conocer en qué proporción cada país está contribuyendo a la afectación global; según el (Ministerio de Medio Ambiente, s.f.) en Colombia se cuenta con una cobertura del 49.6% en cuanto a monitoreo, por medio del cual se logra detectar los niveles de polución a los cuales está expuesta la población y si esto puede afectar su salud. Es importante realizar estos diagnósticos porque de aquí derivan las políticas públicas y los modelos alternativos para controlar la problemática.

Ahora bien, llevar a cabo el análisis comparativo de esta investigación, representa un punto importante ya que se podrá comprobar la fuerte incidencia que tienen todas las actividades industriales, el tráfico en horas pico, el uso de combustibles fósiles, sobre la contaminación atmosférica y más exactamente en la zona de Bucaramanga Santander poder asociar las emisiones de material particulado con las practicas anteriormente mencionadas.

La pandemia del Covid-19 representó un cambio inevitable en la realidad de todo el mundo y en el tema de la contaminación tuvo una incidencia, pero es evidente que éstas posibles reducciones solo se dieron a causa del cierre y no por un compromiso emprendido, así que el monitoreo es muy importante, pero en la medida en que no se analice a fondo la problemática que representa un alto nivel de polución, los registros seguirán aumentando y la crisis será inminente.

### 1.5 Objetivo general

Comparar la concentración de material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  entre los meses de abril a agosto de 2019 y 2020 (antes y durante el confinamiento por la pandemia del COVID-19), en la zona Noreste de Bucaramanga, Santander

## 1.6 Objetivos específicos

- Determinar los meses con mayor concentración de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  tanto en 2019 como en 2020
- Clasificar de acuerdo al índice de calidad del aire (ICA) las condiciones atmosféricas del lugar antes y durante el confinamiento
- Contrastar los registros promedio mensuales de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  con los valores máximos permisibles en la Resolución 2254 de 2017
- Identificar la incidencia del confinamiento obligatorio sobre las emisiones de material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$

## 2 Metodología

### 2.1 Localización

El trabajo se llevó a cabo con los registros de material particulado de la zona Noreste de Bucaramanga, Santander.

### 2.2 Tipo de investigación

Investigación de tipo descriptivo pues se recolectó y analizó información de los parámetros  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , durante dos periodos de tiempo en la ciudad. En ese contexto, se analizó un fenómeno, la contaminación por material particulado.

### 2.3 Definición de variables e indicadores

Las variables establecidas a partir de los objetivos son las descritas en la tabla 1.

**Tabla 1.** Variables y su clasificación

Tipo de variable	Variable	Unidad
Dependiente	Variación de la concentración de $PM_{10}$ Y $PM_{2.5}$ en la atmosfera	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Independiente	Tiempo	meses
	Cantidad de datos a analizar	-
Intervinientes	Emisión de Contaminantes	-
	Confinamiento preventivo	-

### 2.4 Técnicas de investigación

La información fue obtenida de las estaciones: Instituto Técnico Superior Dámaso Zapata, Colegio Santander e Institución Educativa Comuneros, ubicadas en la zona Nororiental de la ciudad de Bucaramanga Santander; esta información fue adquirida de la plataforma “RACIMO AIRE”.

## 2.5 Análisis estadístico

Se utilizó todas las herramientas de Excel para el análisis de los datos, tablas, gráficos, complemento MegaStat, etc.

## 2.6 Procedimiento

En primer lugar, se ordenó la información, se clasificó de acuerdo a fecha y parámetro; posteriormente con ayuda de las herramientas de Excel se obtuvo los valores mínimos, máximos y promedios por mes.

Con ayuda de las categorías establecidas para calidad del aire (ICA) y las concentraciones promedio diarias se determinó el nivel de contaminación en que se encontraba la ciudad de Bucaramanga antes y durante del confinamiento. Se le asignaron los respectivos colores que indica el ICA y por último se hizo el análisis pertinente.

Tomando las concentraciones establecidas, como permisibles, por la Resolución 2254 de 2017 para un tiempo de exposición de 24 horas, se comparó cada uno de los días de estudio con ésta norma y se pudo identificar el cumplimiento o no cumplimiento de los mismos.

Con los niveles promedio por mes de material particulado antes y durante el confinamiento, se realizó la respectiva comparación, esto apoyado con diagramas de barras, identificando en términos porcentuales una reducción o aumento de éste contaminante entre el 2019 y 2020.

## 2.7 Población y muestra

Población: Contaminantes atmosféricos

Muestra: Material particulado ( $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ )

### 3 Resultados

#### 3.1 Comportamiento estadístico

Posterior a realizar el proceso metodológico y estadístico de los datos se determinó el siguiente comportamiento de los mismos por cada una de las estaciones.

##### 3.1.1 Estación Colegio Santander

En la tabla 2 se pueden observar los diferentes valores obtenidos por la estación Colegio Santander con respecto a las concentraciones de  $PM_{2.5}$  para el año 2019. Evidenciando como el mes de agosto obtuvo el mayor valor promedio con un registro de 29.29 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) por el contrario fue el mes de mayo el cual presento el valor mínimo con 10.24 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De igual forma fue Agosto el mes que presento el máximo valor general con una medición de 69.92 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Esta estación arrojo un promedio de concentración de  $PM_{2.5}$  de 16.05 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el año 2019.

De acuerdo con la tabla 3 los registros de  $PM_{10}$  se encontraron en un intervalo de 11.08  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 23.04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondiendo al valor máximo al mes de agosto y el valor mínimo al mes de mayo. Teniendo en cuenta todos los datos suministrados por la estación se pudo encontrar que se registró un valor de 0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el mes de mayo. En lo referente a la dispersión de los datos fue abril el que presento una mayor desviación teniendo en cuenta que las concentraciones para este mes oscilaron entre 0.92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 56.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 2.** Datos estadísticos Estación Colegio Santander  $PM_{2.5}$  – 2019

PM <sub>2.5</sub> 2019 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Mes	Promedio	Desviación estándar	Min	Max	Rango
Abril	19.60	10.93	0.67	45.17	44.50
Mayo	10.24	9.44	0.00	50.08	50.08
Junio	14.31	8.71	1.00	65.25	64.25
Julio	14.89	7.90	3.00	48.67	45.67
Agosto	21.19	9.78	1.83	69.92	68.08

**Tabla 3. Datos estadísticos Estación Colegio Santander  $PM_{10}$  - 2019**

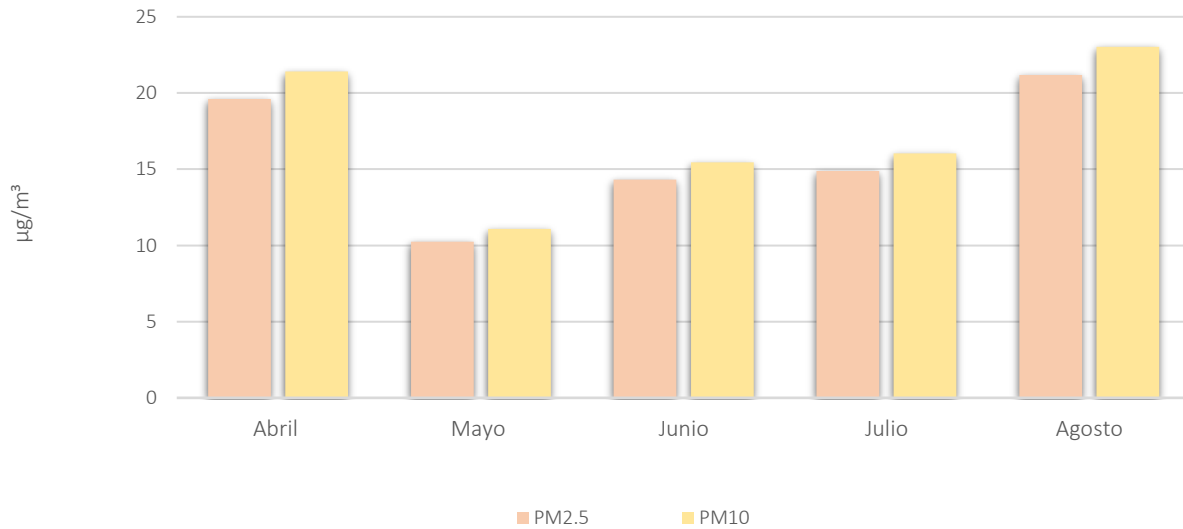
PM <sub>10</sub> 2019 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Mes	Promedio	Desviación estándar	Min	Max	Rango
Abril	21.41	12.77	0.92	56.83	55.92
Mayo	11.08	10.56	0.00	60.75	60.75
Junio	15.45	10.04	1.00	72.17	71.17
Julio	16.05	9.03	3.42	62.25	58.83
Agosto	23.04	11.58	1.92	76.83	74.92

Con base en la figura 2 se puede afirmar que la concentración de material particulado tiende a ser mayor en los meses de abril y agosto. En los que respecta a lo demás meses mayo presenta una disminución en comparación al mes de abril, y de ahí en adelante tiene un comportamiento creciente hasta llegar a los valores máximos correspondientes al mes de agosto. Además de esto se puede observar para todos los meses monitoreados fue mayor la presencia de  $PM_{10}$  en la atmósfera.

En la tabla 4 se describe el comportamiento de la concentración de material particulado  $PM_{2.5}$  durante los meses de abril a agosto para el año 2020; se puede observar que en promedio el mes con menor nivel de contaminación fue junio y por el contrario abril, con un valor de  $29.217 \mu\text{g}/\text{m}^3$  fue el periodo con mayor presencia de partículas con diámetro inferior o igual a las 2,5 micras en la atmosfera.



**Figura 2.** Promedio mensual de la concentración de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  - 2019



Por otro lado, es pertinente mencionar que, en algunos días del mes de mayo y junio, la estación del Colegio Santander registró niveles de  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el lugar, a su vez, se evidencia un valor máximo de  $253.750 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el cual corresponde al 21 de Julio de 2020. A pesar de que los datos del mes de julio se situaron en su mayoría dentro del intervalo de 25 a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  representan la mayor dispersión respecto a la media; esto en buena medida puede deberse al dato máximo mencionado anteriormente.

**Tabla 4.** Datos estadísticos Estación Colegio Santander  $PM_{2.5}$  - 2020

2020- $PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Mes	Promedio	Desviación Estándar	Min	Max	Rango
Abril	29.22	10.93	0.5	64.67	64.16
Mayo	16.22	8.28	0.0	51.92	51.91
Junio	9.67	7.53	0.0	47.33	47.33
Julio	9.89	11.00	0.08	253.75	253.67
Agosto	13.52	8.08	0.08	55.33	55.25

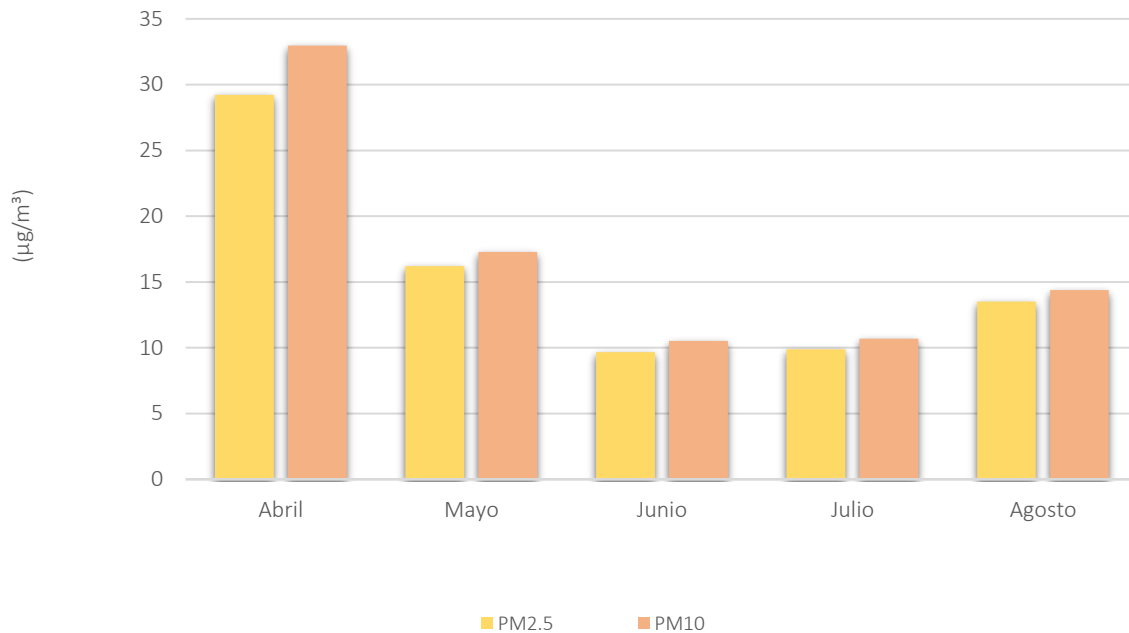
La tabla 5 al igual que la anterior, representa las concentraciones promedio de  $PM_{10}$  mensual; en el mes de abril, según la media, los niveles de contaminación fueron más altos al tomar un valor de  $32.981 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en este periodo se evidencia la mayor desviación estándar, sin embargo, los datos tuvieron una tendencia estable y no hubo valores atípicos. La máxima concentración se pudo observar también en el mes de julio el día 27 y la mínima en el mes de junio. En promedio, la estación Colegio Santander en el periodo analizado reportó un nivel de  $PM_{10}$  de  $17.171 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 5. Datos estadísticos Estación Colegio Santander  $PM_{10}$  – 2020**

20- $PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Mes	Promedio	Desviación Estandar	Min	Max	Rango
Abril	32.98	14.19	0.92	73.42	72.50
Mayo	17.27	9.30	0.17	64.83	64.67
Junio	10.53	8.51	0.0	58.33	58.33
Julio	10.69	12.89	0.17	307.0	306.83
Agosto	14.38	8.87	0.08	67.50	67.42

De acuerdo con la figura 3 se puede analizar que tanto los niveles de  $PM_{2.5}$  como de  $PM_{10}$  tuvieron un descenso desde el mes de abril hasta junio y luego aumentaron levemente en el mes de agosto, esto puede significar que a inicios del confinamiento había una concentración alta de material particulado la cual fue disminuyendo y con el reinicio de algunas actividades nuevamente se elevó. Es importante resaltar que hay fuentes de emisión naturales en el medio, pues a pesar del cierre parcial de las actividades industriales y afines, en cierta medida se mantiene la concentración de material particulado.

**Figura 3.** Promedio mensual de la concentración de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> - 2020



### 3.1.2 Estación Colegio Comuneros

En la tabla 6 se consiguó la información recopilada por la estación comuneros, correspondiente a PM<sub>2.5</sub>, donde se denota que los datos fluctuaron entre 15.50 µg/m<sup>3</sup> y 21.57 µg/m<sup>3</sup>. Además de esto se observó que para los meses de abril y mayo se registraron valores de 0 µg/m<sup>3</sup> este valor ocasionó que el mes de abril presentara el rango más alto. Sin embargo, sigue siendo agosto el mes con una mayor concentración un mayor rango.

**Tabla 6.** Datos estadísticos Estación Colegio Comuneros PM<sub>2.5</sub> - 2019

PM <sub>2.5</sub> 2019 (µg/m <sup>3</sup> )					
Mes	Promedio	Desviación estándar	Min	Max	Rango
Abril	18.79	11.41	0.00	71.17	71.17
Mayo	15.50	11.12	0.00	62.33	62.33
Junio	16.55	8.57	0.33	56.67	56.33
Julio	16.29	8.12	8.12	67.92	59.79
Agosto	21.57	9.12	2.42	75.17	72.75

En relación a la tabla 7 se evidencia que los datos recopilados por esta estación presentaron valores máximos superiores a los  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en todos los meses, por otra parte, los valores mínimos estuvieron hasta los  $0.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En lo que respecta a los valores promedio estuvieron en un intervalo de  $23.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $17.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondientes a los meses de agosto y mayo respectivamente.

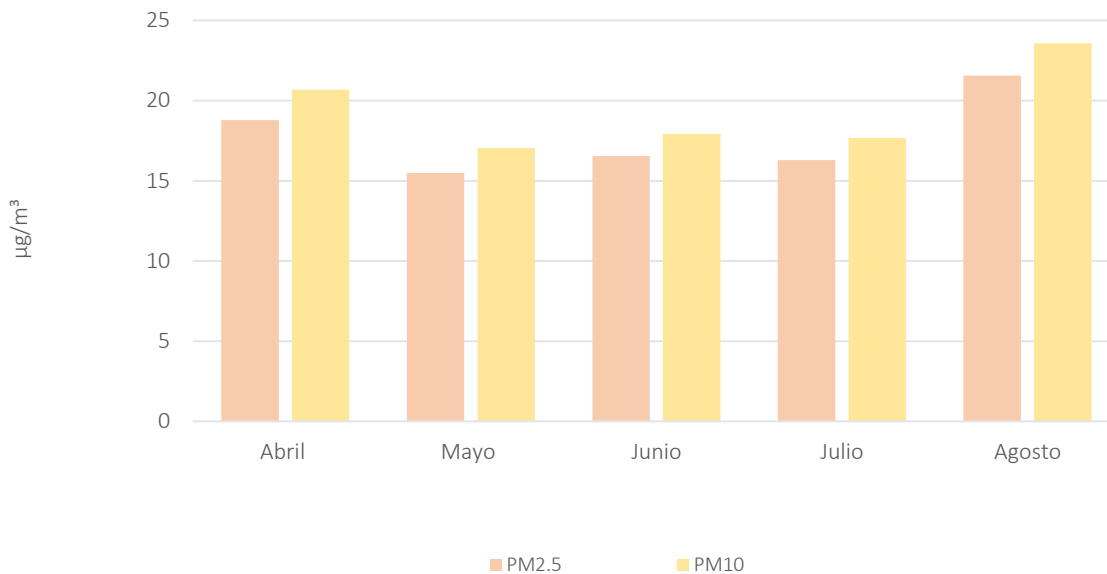
**Tabla 7. Datos estadísticos Estación Colegio Comuneros  $\text{PM}_{10}$  – 2019**

PM <sub>10</sub> 2019 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Mes	Promedio	Desviación estándar	Min	Max	Rango
Abril	20.67	13.37	0.42	78.08	77.67
Mayo	17.06	12.84	0.08	72.58	72.50
Junio	17.93	9.82	0.58	65.50	64.92
Julio	17.68	9.30	3.50	75.67	72.17
Agosto	23.58	10.76	2.58	78.83	76.25

En la figura 4 se puede ver como las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  están por encima de las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  durante los meses monitoreados sin embargo con respecto a la figura 4, se evidencia un incremento en la presencia de este material en los meses de mayo, junio y julio, además se observa que la diferencia de concentraciones entre el  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  no son tan significativas.

En la tabla 8 se evidencia que para el año 2020 la estación Colegio comuneros en promedio reportó una concentración de  $\text{PM}_{2.5}$  dentro del intervalo de  $10.128 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $27.777 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el mes con mayor dispersión en sus datos fue abril, cuyo rango también fue uno de los más amplios.

**Figura 4.** Promedio mensual de la concentración de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ -2019



En el mes de agosto se observó el nivel más alto de material en la atmosfera ( $185.500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y por su parte en junio y julio hubo valores de 0. Considerando la media, se puede analizar que en el lapso de tiempo estudiado las partículas con diámetro menor o igual a las 2.5 micras alcanzaron una concentración en la atmosfera de  $15.557 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 8.** Datos estadísticos Estación Colegio Comuneros  $PM_{2.5}$  - 2020

2020- $PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Mes	Promedio	Desviación Estandar	Min	Max	Rango
Abril	27.78	10.61	0.17	62.67	62.50
Mayo	15.56	7.59	0.08	46.92	46.83
Junio	10.13	7.08	0.0	51.92	51.92
Julio	10.27	6.33	0.0	37.58	37.58
Agosto	14.05	10.06	0.17	185.5	185.33

En relación a la tabla 9, se puede analizar que abril se mantuvo como el mes con mayor presencia de material particulado tomando un valor promedio de  $31.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; los valores mínimos por mes se ubicaron dentro de  $0.0$  y  $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; hubo un valor de  $202.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el mes de agosto ubicándose como el máximo de los datos; respecto a la media en los días de abril y agosto se pudo observar mayor dispersión en los niveles de contaminante, esto quiere decir que los datos se alejaron de la media en

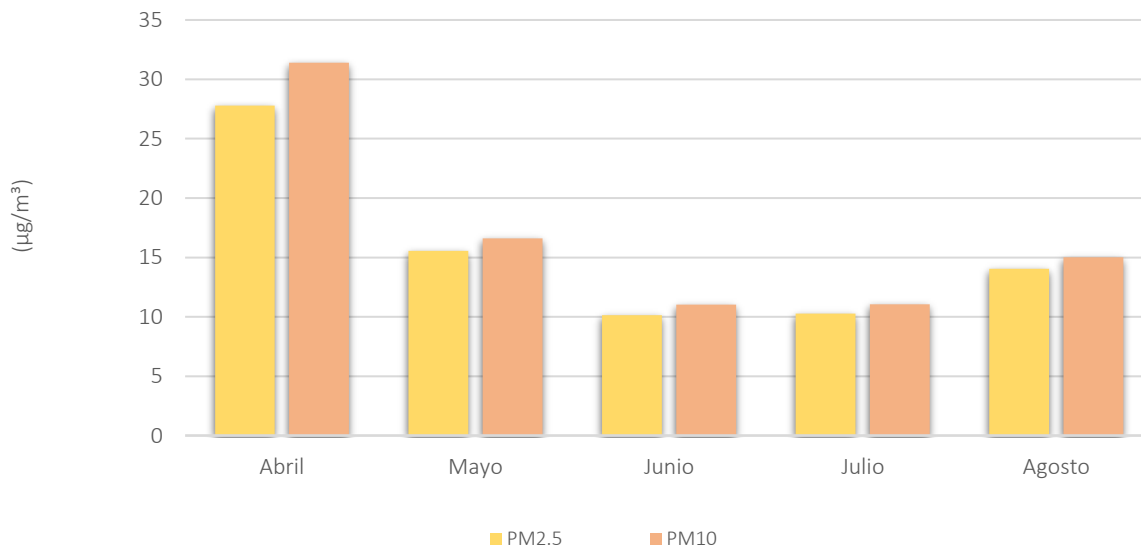
13.78  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 10.99  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. El valor de  $\text{PM}_{10}$  para la estación Colegio Comuneros en promedio fue de 17.021  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 9. Datos estadísticos Estación Colegio Comuneros  $\text{PM}_{10}$  – 2020**

2020- $\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Mes	Promedio	Desviación Estandar	Min	Max	Rango
Abril	31.41	13.78	0.17	82.17	82.00
Mayo	16.62	8.43	0.17	58.42	58.25
Junio	11.02	7.95	0.00	57.00	57.00
Julio	11.06	6.90	0.00	44.58	44.58
Agosto	15.00	10.99	0.17	202.33	202.17

La figura 5 representa los niveles promedio mensual de  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ , de esta manera se puede observar que tienen un comportamiento paralelo. Desde abril hasta julio la tendencia fue a la disminución y en agosto se presencié un leve aumento, los meses con menor concentración fueron junio y julio y la mayor tasa de disminución se evidenció de abril a mayo con un valor de 13.505  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , aproximadamente.

**Figura 5. Promedio mensual de la concentración de  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ -2020**



### 3.1.3 Estación Colegio Dámaso Zapata

En la tabla 10 se presentan los datos estadísticos para el periodo correspondido entre los meses de abril y agosto del año 2019, donde se halló una concentración muy elevada de las partículas con diámetro de

2.5 micrómetros, correspondiente al mes de agosto, de igual forma fue este mes el cual presento en promedio el registro más elevado con un valor de  $20.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , así mismo se le atribuye la mayor dispersión de los datos. Por otra parte, el mes de mayo registro valores de  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en sus mediciones y también se le atribuye el mínimo promedio con un valor de  $11.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 10. Datos estadísticos Estación Dámazo Zapata  $PM_{2.5}$  - 2019**

PM 2.5 2019 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Mes	Promedio	Desviación estándar	Min	Max	Rango
Abril	19.61	10.56	1.33	70.25	68.92
Mayo	11.49	10.48	0.00	75.33	75.33
Junio	13.27	7.94	0.50	63.92	63.42
Julio	13.19	7.65	2.33	68.83	66.50
Agosto	20.23	10.79	1.25	141.00	139.75

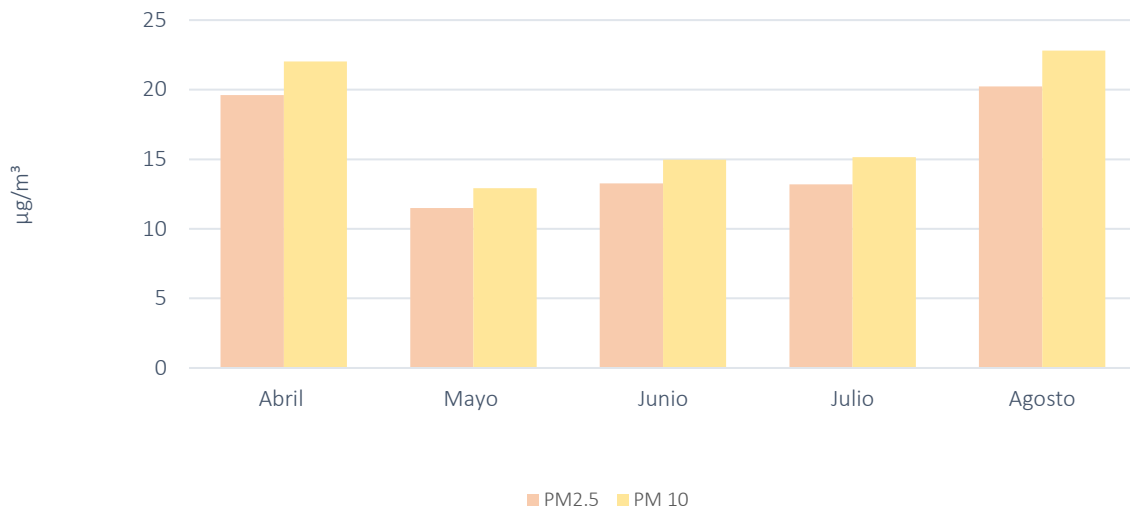
Con los datos suministrados en la tabla 11 se puede evidenciar la presencia de un valor atípico en el mes de agosto correspondiente a un registro de  $152.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se puede considerar como una atipicidad debido a que este mes presento en promedio una concentración de  $22.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un valor mínimo de  $1.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Debido a este dato se le atribuye a este mes el máximo rango con un valor de  $150.25 \mu\text{g}/\text{m}$ . Con lo que respecta a la dispersión de los datos oscilo entre 9.14 y 12.69 pertenecientes a los meses de julio y agosto. Por último, a la hora de revisar el valor mínimo promedio se puede observar que este le corresponde al mes de mayo, manteniendo la tendencia presente en las dos estaciones anteriores donde los valores máximos le pertenecen al mes de agosto y los mínimos al mes de mayo.

**Tabla 11. Datos estadísticos Estación Dámazo Zapata  $PM_{10}$  - 2019**

PM 10-2019 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Mes	Promedio	Desviación estándar	Min	Max	Rango
Abril	22.03	12.67	1.42	78.67	77.25
Mayo	12.93	11.91	0.00	90.08	90.08
Junio	14.97	12.67	0.50	69.92	69.42
Julio	15.15	9.14	3.00	80.42	77.42
Agosto	22.81	12.69	1.83	152.08	150.25

La figura 6 mantiene el comportamiento de las figuras 2 y 4, evidenciando como las concentraciones de estas partículas tuvieron valores muy parecidos en los meses de junio y julio. De igual forma sucede con los meses de abril y agosto en los cuales se presentan los valores más elevados de este material en la atmosfera.

**Figura 6.** Promedio mensual de la concentración de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  - 2019



En la tabla 12 se puede observar datos estadísticos para los meses de mayo a agosto pues para el mes de abril no se encontró información disponible en la estación Dámazo Zapata. En este caso, la concentración promedio de partículas se situó entre los  $8.325 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y los  $14.045 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; el máximo valor se presentó el 21 de mayo ( $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y el mínimo en algunos días de junio y julio ( $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), cabe mencionar que para esta estación no hubo registros con alto grado de atipicidad por lo cual las desviaciones estándar no fueron tan altas pues lo máximo que se alejaron los datos de la media fue  $7.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En promedio el nivel de material particulado presente en la atmosfera, durante el periodo analizado, con diámetro menor a las 2.5 micras fue de  $10.852 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 12.** Datos estadísticos Estación Dámazo Zapata  $PM_{2.5}$  - 2020

2020- $PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					
Mes	Promedio	Desviación Estándar	Min	Max	Rango
Mayo	14.05	6.90	2.67	53.0	50.33
Junio	9.34	6.71	0.0	48.83	48.83
Julio	8.33	5.88	0.0	38.50	38.50
Agosto	11.70	7.12	0.08	50.0	49.92

Se identifica con la tabla 13 que el comportamiento de los datos de  $PM_{10}$  es proporcional en comparación a la tabla 12. Las concentraciones oscilaron entre los  $9.544 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $15.716 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la mayor dispersión la tuvo los valores de mayo y a su vez el máximo rango. El nivel mínimo de todos los datos analizados fue  $0.083 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y la tasa de disminución entre mayo, junio y julio fue de  $3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aproximadamente; de julio a agosto aumentó en  $3.408 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

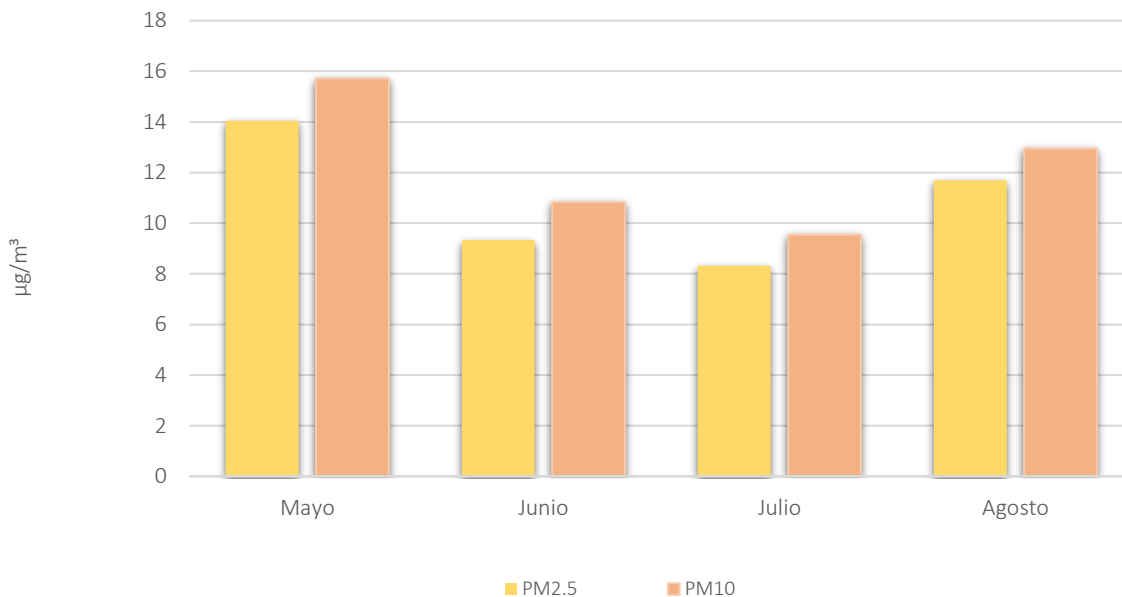


**Tabla 13. Datos estadísticos Estación Dámaso Zapata PM<sub>10</sub> – 2020**

2020-PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )					
Mes	Promedio	Desviación Estándar	Min	Max	Rango
Mayo	15.72	8.16	3.08	66.42	63.33
Junio	10.84	7.94	0.17	61.83	61.67
Julio	9.54	6.74	0.17	46.58	46.42
Agosto	12.95	7.93	0.08	62.50	62.42

Con base a la figura 7, se puede analizar que a medida que transcurrió el tiempo de cuarentena la concentración de material particulado disminuyó y en el mes en el que se activaron algunos sectores nuevamente aumentó los niveles. La tendencia es que el PM<sub>10</sub> es levemente mayor al PM<sub>2.5</sub> en concentración y sus aumentos o disminuciones son proporcionales.

**Figura 7. Promedio mensual de la concentración de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> - 2020**



### 3.2 Índice de calidad del aire

A continuación, se presenta la distribución porcentual en términos de calidad del aire evaluando la variable PM<sub>2.5</sub> para cada una de las estaciones en los años planteados; al igual que un breve análisis de la variable PM<sub>10</sub>, pues por las condiciones del resultado no fue posible representarla gráficamente. Se tuvo en cuenta un tiempo de exposición de 24 horas.

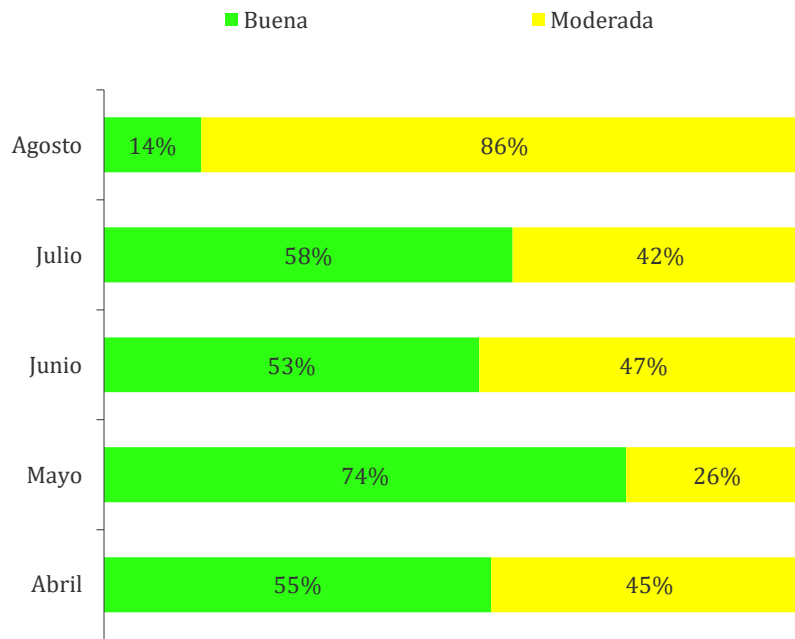
### 3.2.1 Estación Colegio Santander

Los resultados obtenidos del cálculo del ICA para los datos recopilados por la estación colegio Santander para material particulado  $PM_{2.5}$  se muestran en la figura 8 observándose que es el mes de agosto el cual presenta mayores valores diarios en cuanto a la concentración de este material, esto se ve reflejado en que hubo un 86% de los días dentro del rango estipulado para calidad del aire moderada, de igual forma agosto fue el mes en el cual se registró el índice máximo con un valor de  $86.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En promedio los resultados del cálculo del ICA oscilaron entre  $61.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $33.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pertenecientes a los meses de agosto y mayo respectivamente, contrastando así los resultados porcentuales obtenidos para mayo ya que en este mes se registró que un 74% de sus días, la calidad del aire fue buena, además de poseer el mínimo índice con  $9.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; En lo que respecta a los demás meses se puede denotar que para todos, más del 50% de los días se encontraron en el primer punto de corte correspondiente a  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En términos de  $PM_{10}$  los resultados no superaron los  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  evidenciando que el aire de la zona no se está viendo afectado por este tipo de material, sus concentraciones alcanzaron niveles de  $37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el mes de mayo, igualmente en este tiempo tuvo su nivel más bajo con  $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  datos correspondientes a los días 04 y 24, respectivamente. En cuanto al promedio fue agosto el mes que presentó un mayor índice de calidad con un cálculo de  $21.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En la figura 9, se evidencia que la calidad del aire durante los meses en estudio fluctuó entre dañina para grupos sensibles y buena.

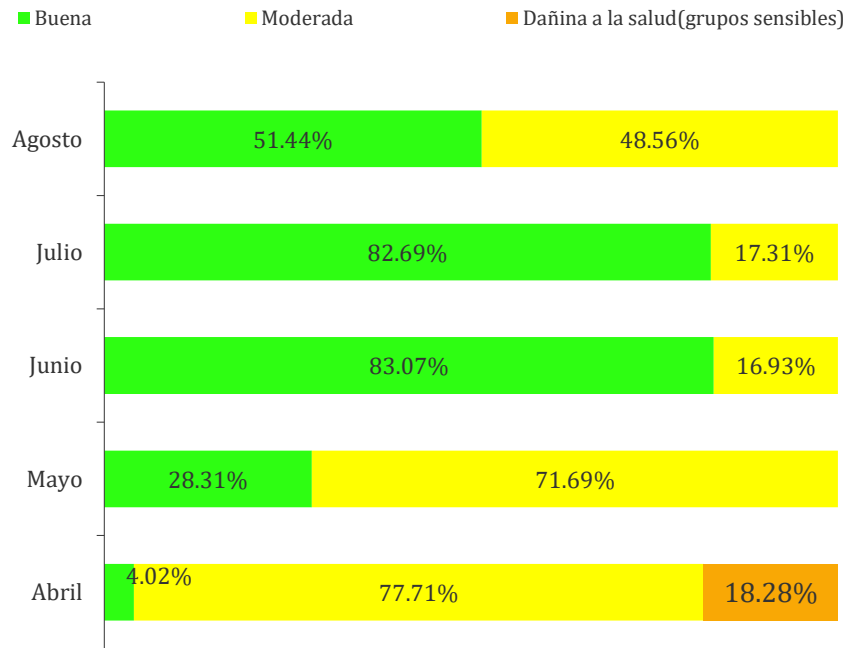
**Figura 8.** Porcentaje del Índice de calidad del aire Estación Colegio Santander - 2019



Específicamente, para el mes de abril un 4.02% de los días permaneció con concentraciones por debajo de los  $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  indicando un riesgo bajo para la salud; mientras que un 77.71% de los días, mantuvo los niveles entre  $15.5$  y  $40.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un 18.28%. Del 15 al 18 de abril la concentración de  $\text{PM}_{2.5}$  fue mayor a  $40.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y menor de  $65.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y esto representa el 18.28% en la figura 9, situando la calidad del aire en estos como dañina para grupos sensibles tales como niños, adultos mayores, personas con enfermedades pulmonares o cardíacas. En junio y julio los días con un aire de buena calidad fueron mayores en un 83.07% y 82.69%, respectivamente. En el mes de agosto, los primeros 15 días del mes tuvieron una clasificación ICA moderada y los últimos 15 días una buena.

Para el componente  $\text{PM}_{10}$ , todos los días en los meses analizados clasificaron dentro de la categoría, buena calidad del aire, pues los niveles de este material en la atmosfera no sobrepasaron el valor de  $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a excepción del día 18 de abril de 2020 en el cual la concentración fue de  $55.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  catalogándose como moderada. En general, los valores ICA diarios calculados se situaron así: los mínimos oscilaron entre 2.33 y 14.09; los máximos entre 20.071 y 51.462; los días del mes de junio y julio siguen siendo los meses con menor contenido de material particulado en el aire, esto apoyado por los índices de calidad del aire bajos.

**Figura 9. Porcentaje del Índice de calidad del aire Estación Colegio Santander - 2020**

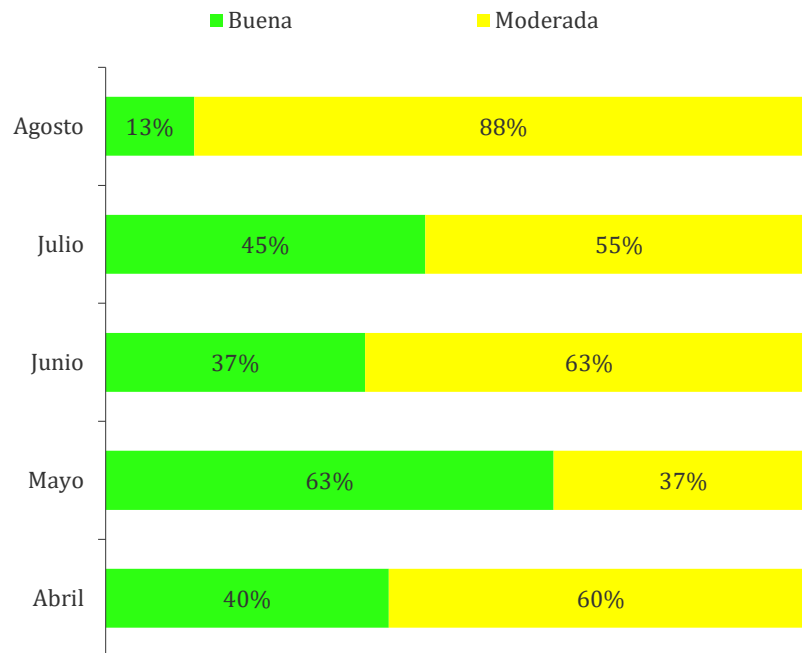


### 3.2.2 Estación Colegio Comuneros

Los resultados obtenidos para el cálculo del ICA proporcionados por la estación comuneros se observan en la figura 10 evidenciándose que en la mayoría del lapso estudiado los valores se situaron en el rango correspondiente a calidad moderada, siendo el mes de agosto el cual presentó un mayor porcentaje de días situados entre estos puntos de corte, equivalente a un 88%, para el caso opuesto fue el mes de mayo al cual se le atribuye la mayor cantidad de datos posicionados en el rango de  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondiente a una calidad del aire Buena (color Verde) con un porcentaje de 63. De igual forma este mes fue el que presentó el índice mínimo, con un valor de  $15.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , así mismo se le atribuye el máximo valor, equivalente a  $91.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Para el caso de los índices calculados para material particulado de diámetro 10 los resultados fueron muy favorables puesto que en ninguno de los meses se superó el primer punto de corte ( $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) catalogando el aire de zona como de buena calidad. Las concentraciones para este periodo de tiempo estuvieron en el siguiente intervalo:  $39.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $4.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$  siendo estos los valores máximos y mínimos correspondientes en ambos casos al mes de mayo.

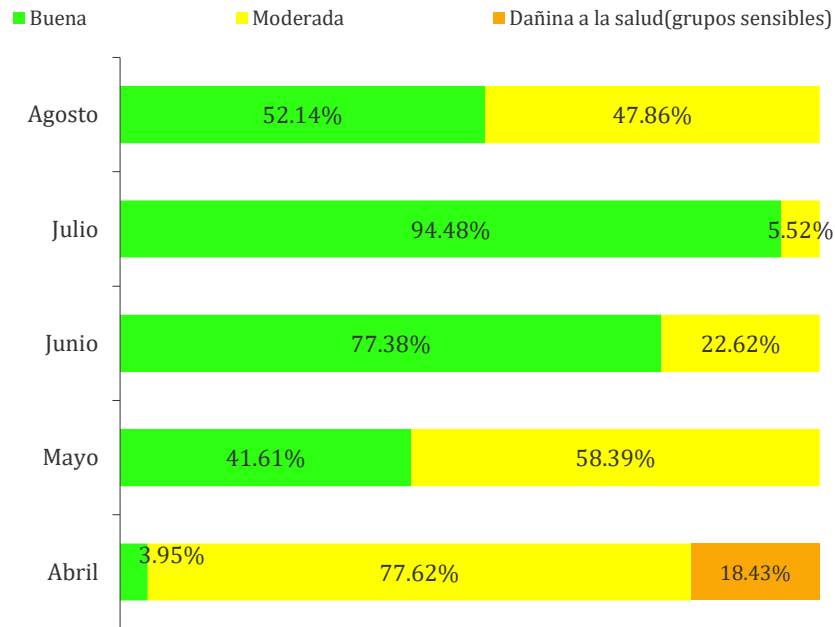
**Figura 10.** Porcentaje del Índice de calidad del aire Estación Colegio Comuneros – 2019



En la figura 11 se puede observar un comportamiento similar a la figura 9. Abril, es el mes con la menor cantidad de días donde la calidad del aire fue buena, representado en la gráfica por un 3.95% de los días, indicando que el valor ICA se situó dentro del intervalo de 0 a 50 y con concentraciones por debajo de  $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el 77.62% de los días obtuvo un ICA entre 51 y 100 clasificándose en una calidad del aire moderada, con probabilidad de generar síntomas respiratorios en la comunidad sensible expuesta y un 18. 43% de los días se agrupó dentro del intervalo ICA de 101 a 150 ya que hubo concentraciones mayores a  $40.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  esto del 15 al 18 de abril, es decir, en este periodo el riesgo para la salud de adultos mayores y otros grupos sensibles fue mayor.

En junio y julio el porcentaje de días con calidad de aire moderada disminuyó a 22.62% y 5.52% respectivamente, es decir, mejoró. En mayo y agosto los valores ICA se distribuyeron proporcionalmente a lo largo del mes, esto significa que, la cantidad de días que se agrupó en una condición de calidad buena fue similar a la cantidad en condición moderada

**Figura 11. Porcentaje del Índice de calidad del aire - Estación Colegio Comuneros - 2020**



Para el caso del PM<sub>10</sub>, cada uno de los meses clasificó en color verde, es decir, en un riesgo bajo para la salud a causa de este contaminante. En abril se presentó el día con mayor valor ICA (47.38) correspondiente a una concentración de 52.25 µg/m<sup>3</sup>, la cual no supera el valor máximo de clasificación de 54 µg/m<sup>3</sup> en la categoría “buena”; en mayo el índice más alto disminuyó a 25.82 (en comparación con el mes anterior), esto es, un nivel del contaminante de 27.89 µg/m<sup>3</sup>; respecto a junio, julio y agosto los puntajes ICA máximos no se alejaron considerablemente de 20. En cuanto a los índices de calidad de aire mínimos oscilaron entre 3.73, para el 22 de agosto, y 12.63 el 11 de abril.

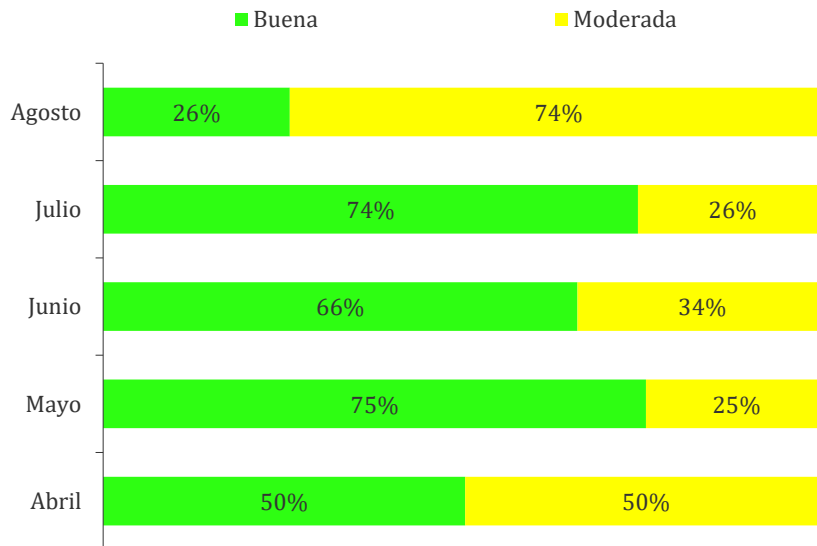
### 3.2.3 Estación Colegio Dámaso Zapata

En la figura 12 se ilustran los resultados obtenidos para el cálculo del índice de la calidad del aire (ICA) correspondiente a los datos suministrados por la estación Dámaso Zapata, donde se observa que los valores se catalogaron según lo estipulado por la normativa como de buena y moderada calidad, en el primer caso se representa con el color verde para el cual no se hace necesario la implementación de medidas correctivas, por otra parte el color amarillo, requiere cuidados en personas sensibles y con problemas pulmonares, recomendándose disminuir su actividad física. En general para el tiempo estudiado se puede observar que en su mayoría la calidad del aire es buena, exceptuando los meses de abril y agosto en donde un 50% y 74% respectivamente se encontraron en el rango de 51 µg/m<sup>3</sup> a 100 µg/m<sup>3</sup> correspondiente a la categoría de calidad moderada, de igual forma fueron estos dos meses los cuales registraron los valores máximos correspondientes a 88.08 µg/m<sup>3</sup> y 88.27 µg/m<sup>3</sup>.

Por otra parte, los meses de mayo y Julio obtuvieron resultados semejantes demostrando que el comportamiento de las variables en estos dos meses fue muy similar. Para el caso del índice de calidad del aire hallado para el PM<sub>10</sub> se encontró que en todos los meses los valores estuvieron dentro de lo aceptable por la normativa, arrojando para cada uno de sus días una calidad del aire buena, ubicando su máxima concentración en mes de abril con 37.49 µg/m<sup>3</sup> y su índice mínimo en el mes de mayo con 2.91 µg/m<sup>3</sup>.

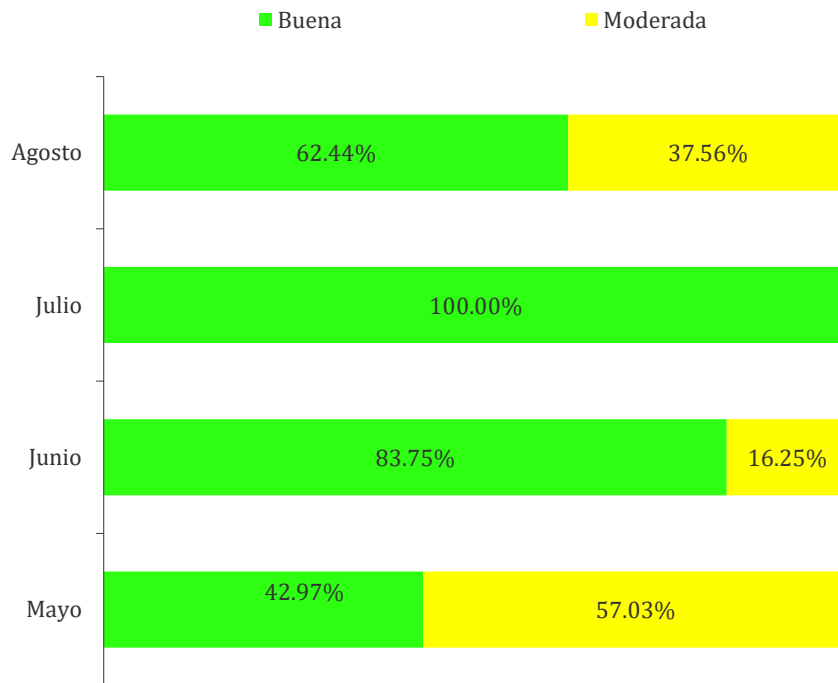
Para el caso de esta estación se puede apreciar en la figura 13 información de mayo a agosto, donde la calidad del aire fluctuó entre moderada y buena; en el mes de julio todos los días recibieron la calificación de “buena”, por ende, se representa en la figura 13 un 100%. En junio, el 83.75% de los días tuvo una concentración menor a 15.4 µg/m<sup>3</sup> por tanto los índices respectivos se agruparon entre los valores de 0 a 50 y recibieron un color verde; en el otro 16.25% del mes hubo niveles de PM<sub>2.5</sub> entre 15.5 µg/m<sup>3</sup> y 40.4 µg/m<sup>3</sup> representando un riesgo moderado para la población expuesta en 24 horas. En mayo, alrededor de los primeros 10 días del mes, el nivel de contaminación fue moderado (42.97%), al transcurrir el tiempo el 57.03% pasó a ser bueno y por su parte en agosto el 62.44% del mes clasificó en la categoría verde (buena calidad del aire) y el 37.56% en riesgo moderado para grupos sensibles.

**Figura 12.** Porcentaje del Índice de calidad del aire - Estación Colegio Dámaso Zapata - 2019



Al igual que en las estaciones anteriores el 100% de los ICA calculados para el PM<sub>10</sub> recibió la calificación de buena calidad del aire, es decir, cada uno de estos datos no sobrepasó el rango ICA de 50. El valor máximo se obtuvo para el 27 de mayo de 2020 con un índice de 22.61; en agosto el máximo fue de 21.12, en junio y julio 20.63 y 15.42, respectivamente. En cuanto a los índices de calidad del aire mínimos oscilaron dentro del intervalo de 2.44 para el día 22 de agosto y 8.63 el 16 de mayo.

**Figura 13.** Porcentaje del Índice de calidad del aire - Estación Colegio Dámaso Zapata - 2020



### 3.3 Resolución 2254 de 2017

Teniendo en cuenta los valores máximos permisibles establecidos en la resolución 2254 de 2017 para  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  que corresponden a  $37 \mu g/m^3$  y  $75 \mu g/m^3$ , respectivamente, para un tiempo de exposición de 24 horas, se muestra a continuación los datos máximos y mínimos del mes para ambas variables en los dos años de estudio.

#### 3.3.1 Estación Colegio Santander

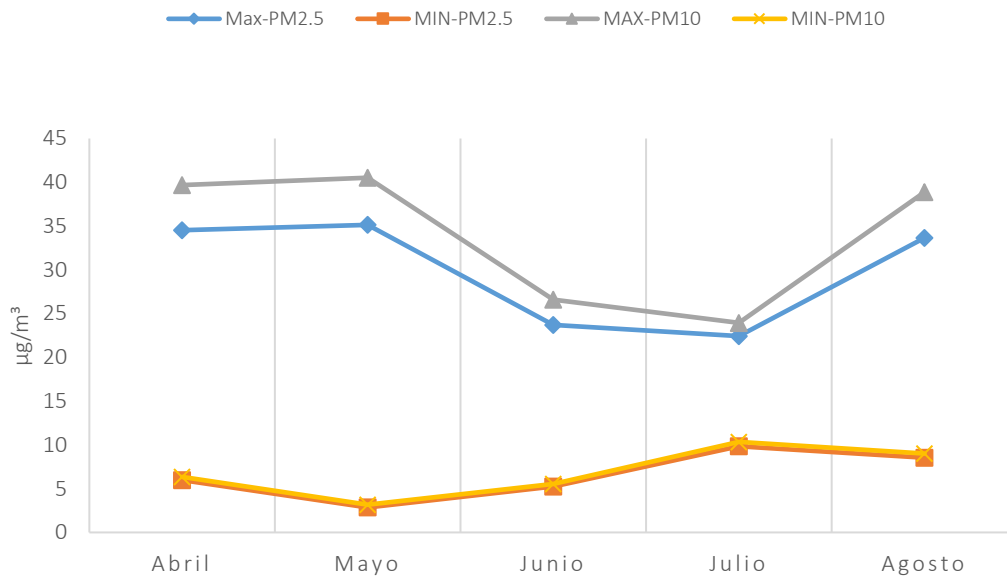
De los datos suministrados por la estación colegio Santander específicamente los valores máximos y mínimos promedio se encontró que en cuanto a los mínimos de las concentraciones del material particulado alcanzaron valores relativamente parecidos con una declinación en el mes de mayo y el máximo alcance en el mes de julio (ver figura 14) oscilando entre  $2.8 \mu g/m^3$  -  $9.8 \mu g/m^3$  para el  $PM_{2.5}$  y  $3.1 \mu g/m^3$  -  $10.3 \mu g/m^3$ , en el caso del máximo para cada uno de los meses se puede observar que los puntos más elevados se presentaron en el mes de mayo y los puntos bajos en el mes de julio, teniendo el comportamiento contrario al caso expuesto anteriormente con los mínimos promedios.

Comparando estos datos con lo establecido en la resolución 2254 de 2017 se pudo corroborar que los datos están cumpliendo la normatividad vigente puesto que el máximo presentado para  $PM_{2.5}$  en esta



estación es de  $35.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondiente al mes de abril, estando por debajo del valor estipulado el cual es de  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en cuanto al  $\text{PM}_{10}$  se reglamenta un valor máximo de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mostrando así que esta parámetro también se encuentra en cumplimiento dado que su registro máximo es de  $40.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor atribuido al mes de mayo.

**Figura 14.** Mínimas y máximas concentraciones por mes – Estación Colegio Santander - 2019

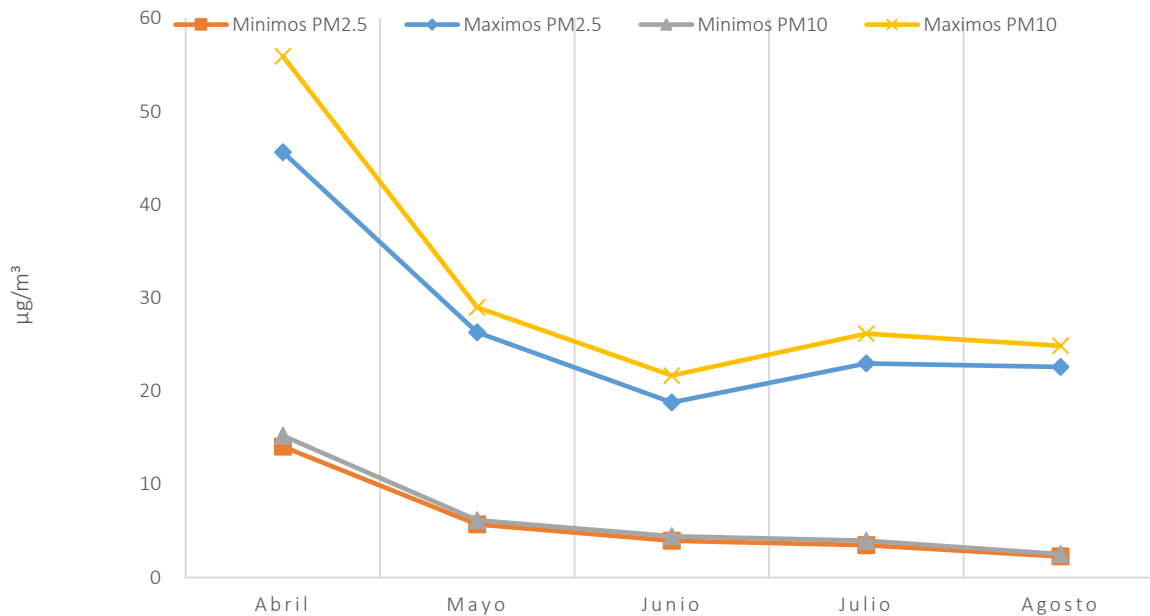


Se puede apreciar en la figura 15 que para la variable  $\text{PM}_{2.5}$  en el mes de abril, el dato máximo del mes ( $45.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) superó el valor permisible en la normativa legal vigente de  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , correspondiente al día 18 de abril de 2020; cabe resaltar que adicional a este dato, el 2, 14, 15, 16 y 17 de abril también registraron promedios diarios no permisibles por la norma y según la tabla 4, capítulo II de la misma, la autoridad ambiental competente pudo en su momento declarar el nivel de prevención pues los niveles de contaminación se encontraron dentro del intervalo para ello ( $38-55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En los demás meses las concentraciones máximas disminuyeron y se situaron por debajo del nivel permisible adoptando valores de  $26.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $18.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $22.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $22.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente para cada uno de los meses descritos en la figura 15. Las concentraciones mínimas para esta variable estuvieron entre  $2.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en agosto y  $14.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en abril.

En la figura 15, también se observa que el PM<sub>10</sub> en cada uno de sus máximos no superó los 75 µg/m<sup>3</sup>, ya que los valores fueron de 55.93 µg/m<sup>3</sup>, 28.97 µg/m<sup>3</sup>, 21.67 µg/m<sup>3</sup>, 26.15 µg/m<sup>3</sup> y 24.87 µg/m<sup>3</sup> en los respectivos meses; esto indica que las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> presentes en el aire de la zona noroeste de Bucaramanga, en su totalidad fueron permisibles de acuerdo a la norma.

**Figura 15. Mínimas y máximas concentraciones por mes – Estación Colegio Santander – 2020**

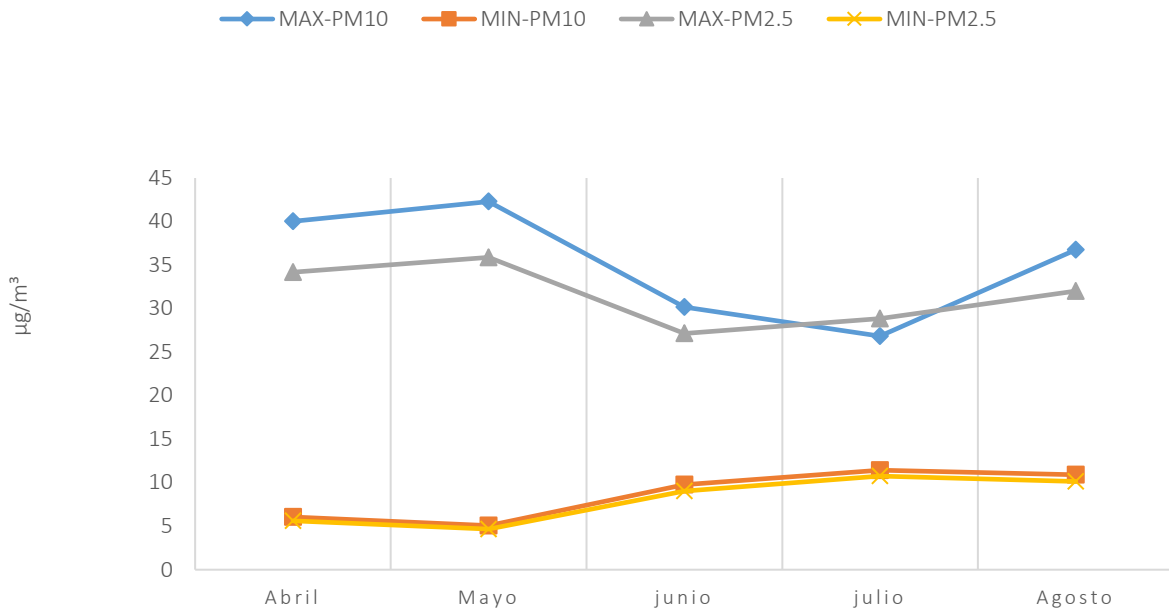


### 3.3.2 Estación Colegio Comuneros

La figura 16 nos indica el comportamiento de los valores máximos y mínimos en el lapso estudiado. En lo referente a los mínimos promedio podemos observar que se presentó la misma tendencia con valores muy cercanos entre las dos variables presentando sus puntos más altos en el mes de julio con datos de 10.75 µg/m<sup>3</sup> y 11.42 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> respectivamente y sus registros más bajos para el mes de mayo, arrojando valores de 4.6 µg/m<sup>3</sup> para el caso de PM<sub>2.5</sub> y 5.06 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>.

En términos de máximos promedios se puede denotar que los picos más altos se le atribuyen al mes de mayo con mediciones de 35.8 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>2.5</sub>) y 42.2 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>10</sub>), cumpliendo de esta manera lo establecido en la normativa en cuanto a los niveles permitidos ya que los valores son inferiores a los 37 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>2.5</sub>) y 75 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>10</sub>). En el caso de los valores más bajos para esta estación tuvo una pequeña variación conforme a las demás ya que para PM<sub>10</sub> su descenso se ubicó en el mes julio con 26.83 µg/m<sup>3</sup> y para el caso del PM<sub>2.5</sub> su valor más bajo le corresponde al mes de junio con un registro de 27.13 µg/m<sup>3</sup>.

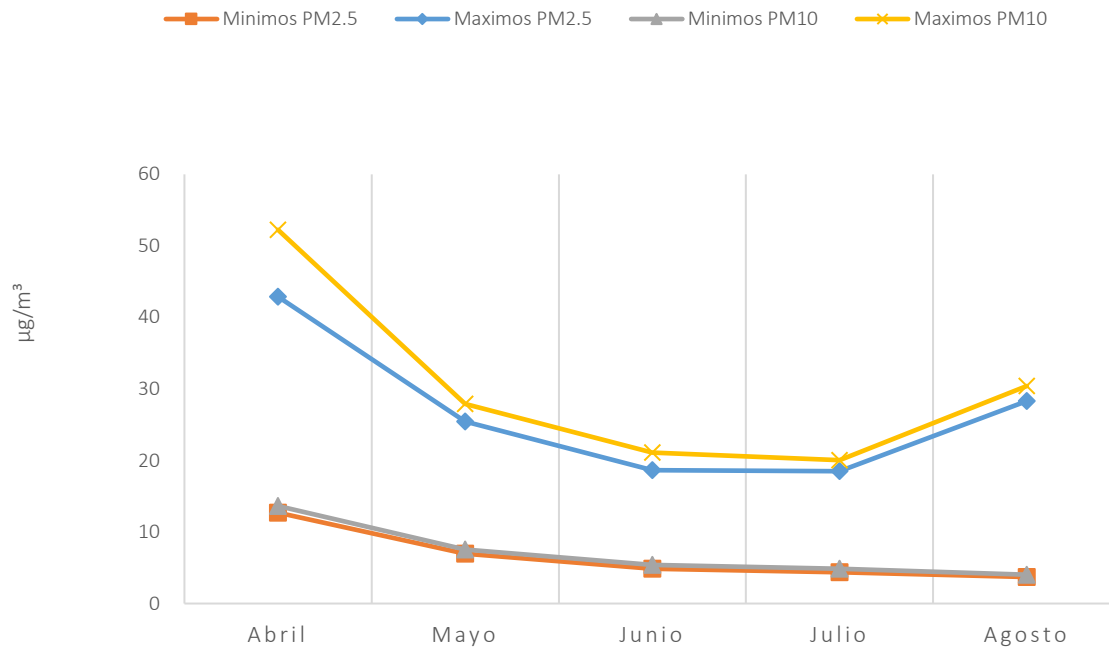
Figura 16. Mínimas y máximas concentraciones por mes – Estación Colegio Comuneros - 2019



En relación a los valores máximos representados en la figura 17, se puede observar que para la variable  $PM_{2.5}$  en el mes de abril, la concentración de material particulado superó el valor límite permisible en  $5.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , esto corresponde al día 18 del mes, junto con el 15, 16 y 17 que igualmente presentaron niveles no permisibles por la resolución. Las concentraciones de este contaminante, en los días mencionados, cumplen el rango de declaratoria de prevención, lo cual permite tomar medidas para su control. (Resolución 2254, Tabla 4, Capítulo II)

Por su parte, de mayo a agosto, todos los días cumplieron los valores exigidos por la norma, es así que se observa en la figura 17 que los niveles máximos no sobrepasaron los  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En lo que respecta al  $PM_{10}$  se puede apreciar que los niveles de polución no superaron los  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  exigidos por la norma, pues se mantuvieron en los valores de  $52.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $27.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $21.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $20.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $30.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para cada uno de los meses, los datos mínimos estuvieron comprendidos entre  $4.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el mes de agosto (día 22) y  $13.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en abril (día 11).

**Figura 17.** Mínimas y máximas concentraciones por mes – Estación Colegio Comuneros - 2020



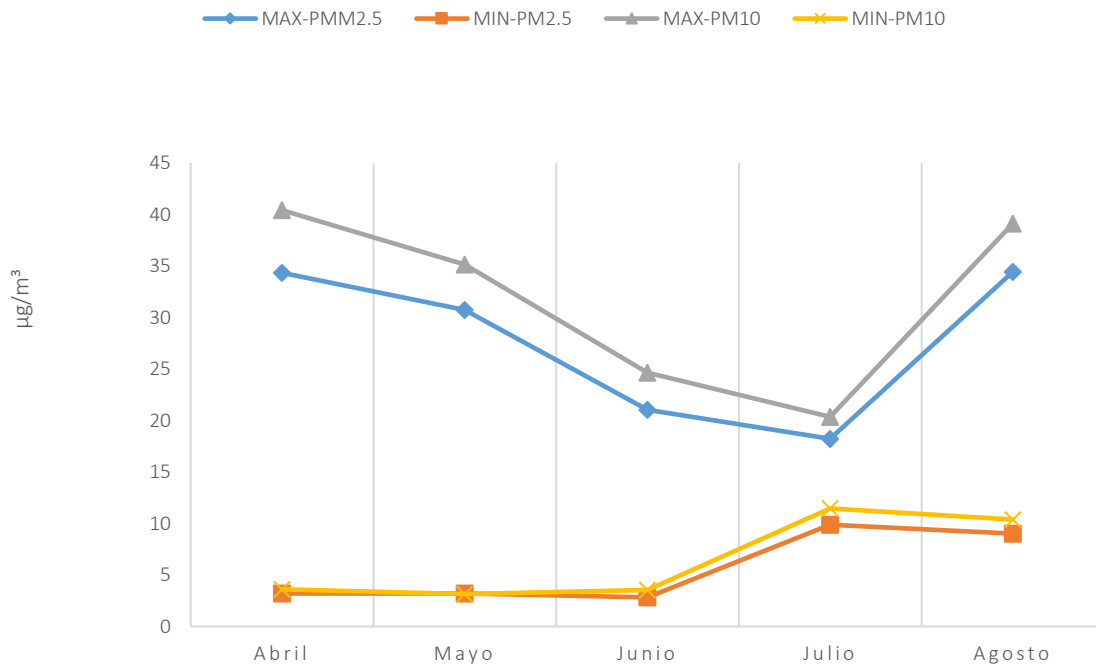
### 3.3.3 Estación Colegio Dámaso Zapata

A la hora de analizar los datos arrojados por la estación Dámaso Zapata, en términos de promedios diarios para las dos variables estudiadas ( $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ) se pudo encontrar que en lo que respecta a sus valores mínimos las variables tuvieron un comportamiento muy similar, como se evidencia en la figura 18 esto ocasionado a la similitud en los valores puesto que los datos para  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  oscilaron entre  $2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $9.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respetivamente. Teniendo registros muy parecidos específicamente en el mes de mayo con valores de  $3.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{2.5}$  y  $3.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{10}$ . En el caso de los valores máximos presentados a lo largo de estos meses se refleja que igualmente que en el caso anterior conservaron la misma tendencia para las dos variables solo que no con la misma semejanza, para el  $PM_{2.5}$  el intervalo fue de  $18.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $34.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para el  $PM_{10}$  se situó entre  $20.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $40.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  obteniendo sus valores más elevados en el mes de abril y sus puntos más bajos en Julio, lo anterior nos corrobora como los dos parámetros se ajustan a la legislación sobre la cual se ven regidos, puesto que en ninguno de los dos casos se superó los valores máximos permisibles.

Con base en la figura 19 se puede considerar que, en los meses analizados, la zona de influencia de esta estación presentó una concentración de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  que no superó los límites

máximos permisibles por la resolución 2254 de 2017; cabe mencionar que, en el mes de abril, la estación no contaba con registros para su respectivo análisis.

**Figura 18.** Mínimas y máximas concentraciones por mes – Estación Colegio Dámaso Zapata - 2019



Se puede apreciar que las dos variables tuvieron un comportamiento paralelo, es así que, en mayo, se evidenció los datos más altos para ambos componentes, esto apoyado en valores de 22.00 µg/m³ para PM<sub>2.5</sub> y 24.42 µg/m³ para PM<sub>10</sub>, registros que corresponden al día 27 del mes en cuestión y no sobrepasan los 37 µg/m³ ni los 75 µg/m³ que establece la norma.

En julio y agosto las concentraciones máximas tuvieron una tendencia a disminuir y en agosto nuevamente aumentaron adoptando valores de 20.32 µg/m³ y 22.81 µg/m³ para PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> respectivamente, pertenecientes al día 14 de agosto. En cuanto a los valores mínimos oscilaron entre 2.1 µg/m³ y 9.32 µg/m³

### 3.4 Comparación de los dos años

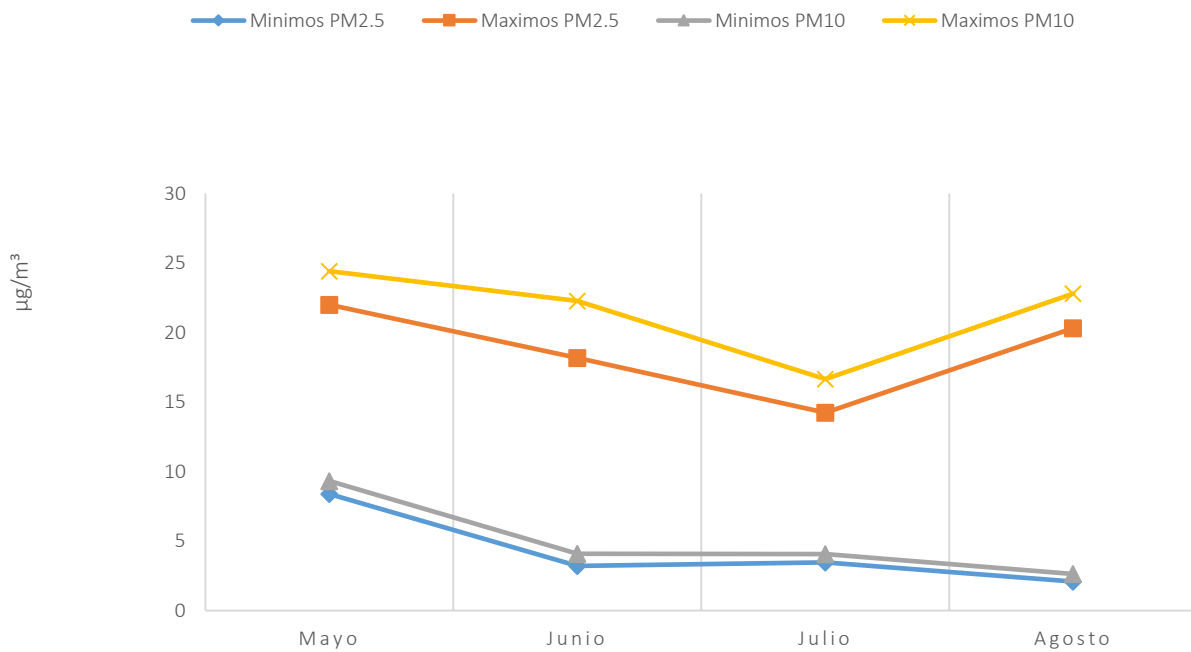
Con el fin de comparar los datos promedio mensuales de los dos años de estudio se presenta las siguientes figuras por estación.

#### 3.4.1 Estación Colegio Santander

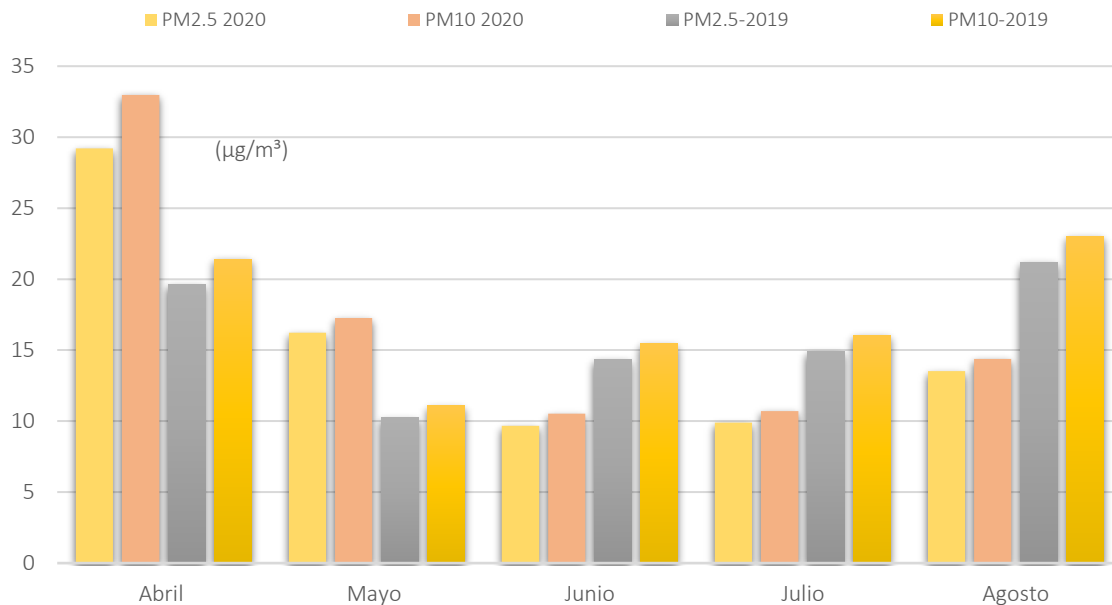
En el momento de realizar una comparación en los valores obtenidos para el material particulado de los años 2019 y 2020 correspondiente a la estación Colegio Santander se logró evidenciar que el máximo registro se le atribuye al PM<sub>10</sub> en el mes de abril del año 2020 con un valor de 32.98 µg/m³ el cual supero

en  $11.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el registro del año 2019 para el mismo mes, mostrando un incremento en términos porcentuales de 54.06, en lo referente al valor mínimo para esta variable se presentó en el mes de mayo de 2019 con  $11.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para el caso del año 2020 su menor medición le corresponde al mes de julio con  $10.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto al material particulado de diámetro 2.5 se puede observar que para el año 2019 el registro máximo se le atribuye al mes de agosto, diferente al año 2020 para el cual la mayor concentración tuvo lugar en el mes de abril con una diferencia entre ellos de  $8.037 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Con respecto a las concentraciones más bajas se vieron en los meses de junio de 2020 y mayo de 2019 con valores de  $9.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $10.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Además, se puede evidenciar que para el mes de abril el  $\text{PM}_{2.5}$  aumento en un 49.04% de 2019 a 2020, de igual forma sucedió en el mes de mayo con un incremento de 58.36%.

**Figura 19.** Mínimas y máximas concentraciones por mes – Estación Colegio Dámaso Zapata - 2020



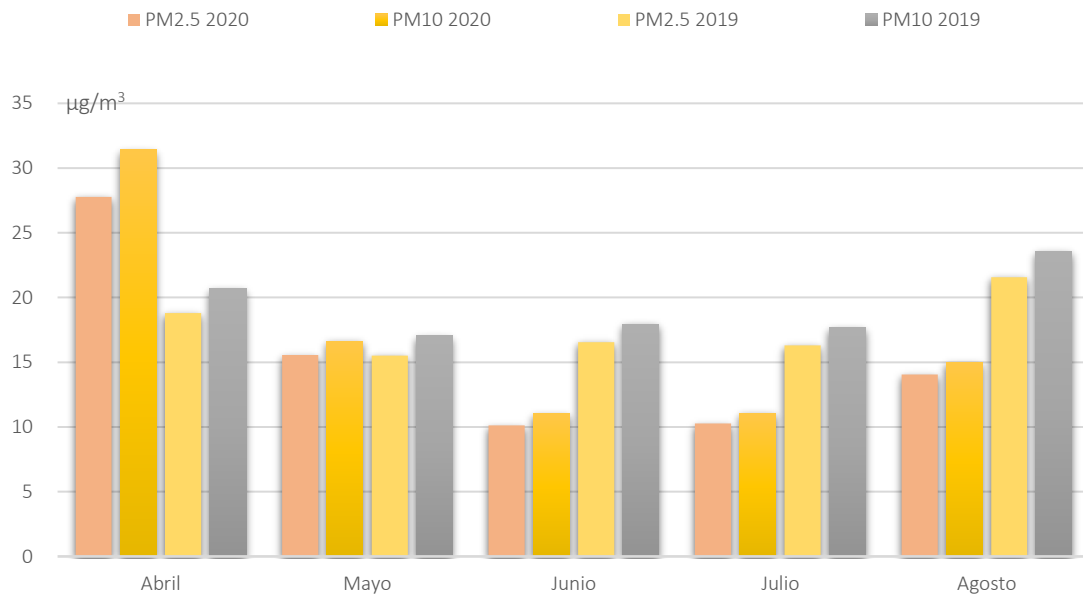
**Figura 20.** Promedio mensual de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en los años 2019 y 2020



### 3.4.2 Estación Colegio Comuneros

Comparando los dos años estudiados, se puede evidenciar en la figura 21, que en promedio la concentración tanto de  $PM_{10}$  como  $PM_{2.5}$  en el mes abril de 2020, superaron en  $10.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $8.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a los niveles promedio de 2019 lo cual equivale a un aumento del 51.90% y 47,79%, respectivamente. En mayo para el  $PM_{2.5}$  hubo un leve aumento de 0.35% respecto al año anterior, en cambio el  $PM_{10}$  si disminuyó en 2.58%. En junio, julio y agosto la tendencia también fue a la disminución, esto representado en reducciones de  $6.425 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $7.517 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (38.82% y 34.86%) para la variable  $PM_{2.5}$ ; y  $6.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $8.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (38.51% y 36.4%) para el  $PM_{10}$ .

**Figura 21.** Promedio mensual de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en los años 2019 y 2020

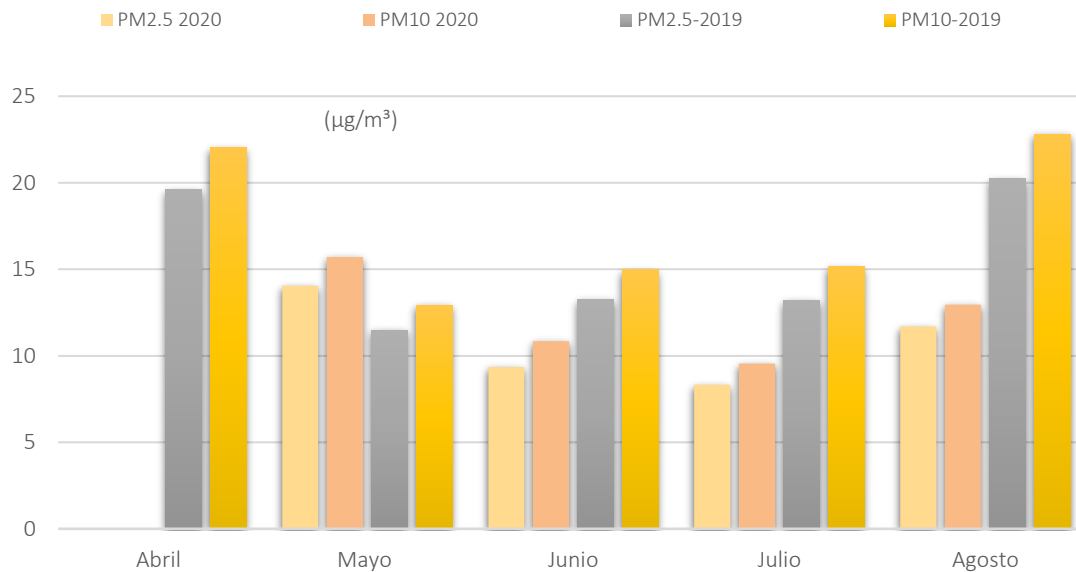


### 3.4.3 Estación Dámaso Zapata

En la figura 22 se plasman los datos recopilados por la estación Dámaso zapata en donde se puede observar que para el caso del  $PM_{10}$  los valores del año 2019 estuvieron por encima de los datos obtenidos para el año 2020 en excepción el mes de mayo, en el cual el 2020 supero con un valor de  $2.796 \mu\text{g}/\text{m}^3$  equivalente a un incremento del 21.6 %, este mismo mes presento el valor mínimo en el año 2019 con un dato de 12.92. En términos de  $PM_{2.5}$  teniendo en cuenta que para el mes de abril no se encontraron registros, el mes con mayor concentración fue agosto de 2019 con  $20.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , evidenciando una disminución de 42.27% respecto al año 2020, además, mayo de este mismo año fue el único que estuvo por debajo de los valores registrados en el año siguiente, pues este lo supero por  $2.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  es así que, en contraste con 2020 hubo un aumento en su concentración de 22.25%.



**Figura 22.** Promedio mensual de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en los años 2019 y 2020



#### 4 Discusión

Teniendo en cuenta que en dos de las estaciones analizadas abril de 2020 superó en promedio a abril de 2019 en concentraciones de material particulado incluso estando en confinamiento obligatorio, esto indica que las condiciones meteorológicas y otros factores extremos influyeron notablemente en los resultados obtenidos. En ese contexto, según el OEP (Observatorio de Ecología Política de Venezuela, 2020), “el mes de abril, fue uno de los meses de la temporada seca con más reportes de incendios”; los diferentes parques nacionales y reservas forestales del país reportaron incendios durante los días 2, 6, 7, 9, 12, 13, 14, 18 y 27 del mes, época donde se arrasaron más de 200 hectáreas de zona boscosa por causas antrópicas, según el informe.

Es importante mencionar que, del día 14 al 18 de abril, se presentaron en la zona Noroeste de Bucaramanga, Santander, los mayores niveles de contaminación por material particulado, es decir, que el fenómeno de incendios en el país vecino pudo ser uno de los focos de emisión que aumento las concentraciones en dicho mes debido a la relativa cercanía.

Otro factor a considerar es que, los registros históricos de precipitación de la estación meteorológica “ISANTAND 31” de Bucaramanga demuestran que abril fue un mes poco lluvioso, con una precipitación acumulada total de 1.67 in (42.42 mm), cabe destacar que en los días con picos más altos de contaminación la precipitación fue de 0 mm, por lo cual, este suceso contribuyo a que el material particulado se concentrara sobre la ciudad y no fuera arrastrado ni por la lluvia ni por las corrientes de viento, pues las velocidades en este lugar también fueros bajas (sobre los 23 mph).

Adicionalmente, en mayo las precipitaciones aumentaron a 2.33 in, por ende, favoreció el decremento de contaminación en el aire. Para el mes de junio, no hay evidencia de que el fenómeno de la nube de polvo proveniente del Sahara afectara la concentración de PM pues este fue uno de los meses con menor nivel del mismo; “las zonas más afectadas por ello fueron San Andrés y el Caribe” (Pérez, 2020)

En comparación a un estudio realizado en Manizales se evidencia que las concentraciones para la zona de Bucaramanga son más elevadas puesto que para el caso del mes de abril el valor promedio para  $PM_{10}$  fue de  $32.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$  diferente al encontrado en la estación Liceo de Manizales el cual fue de  $25.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para esta zona en actividades normales su promedio de concentración de  $PM_{10}$  es de  $30.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el cual está por encima  $8.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del valor en época de no confinamiento en Bucaramanga. Sin embargo, teniendo en cuenta los registros para abril, en Manizales arrojaron una disminución del 17% con respecto al periodo de no confinamiento, para el caso de este estudio contrastando los valores de abril de 2020 con abril de 2019 las concentraciones aumentaron en un 54.06 %, arrojando desviaciones en los datos de 15.7 y 14.19 respectivamente. En cuanto al valor mínimo en Manizales se registró una concentración de  $6.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un máximo de  $61.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la estación colegio Santander su mínimo fue de  $0.917 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un máximo de  $73.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En cuanto al valor mínimo en Manizales se registró una concentración de  $6.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un máximo de  $61.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la estación colegio Santander su mínimo fue de  $0.917 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un máximo de  $73.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para el caso del  $PM_{2.5}$  su disminución fue de 27 % con un valor promedio de  $12.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación liceo, en cuanto a la estación colegio Santander se presentó un aumento en el año 2020 de 49.04% teniendo un valor promedio de  $29.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En lo que respecta al mes de mayo en la estación liceo se presentó un valor promedio para  $PM_{10}$  de  $24.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el cual comparado con lo estimado para la época en donde se circulaba con normalidad tuvo un descenso de 19.5% situación contraria a la acontecida en Bucaramanga puesto que con un valor promedio de  $17.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y respecto a lo obtenido en el año anterior se presentó un aumento de 55.89%, cabe resaltar que los intervalos para Manizales se encontraron entre  $18.1 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 30.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en el caso de Bucaramanga oscilaron entre  $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 64.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En términos de  $PM_{2.5}$  en este estudio se registró un promedio de  $16.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con una dispersión en los datos de 8.2; referente a Manizales el promedio estuvo en un valor de  $10.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con una desviación de 3.4, en cuanto a las variaciones, para el primer caso hubo un incremento del 58.36 %, y para el caso del antecedente obtuvieron un descenso en las concentraciones de 37.5%.

## 5 Conclusiones

Se determinó que en la zona de influencia de las tres estaciones para el año 2019 los meses con mayor concentración de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  fueron abril y agosto; por su parte en 2020, abril y mayo presentaron estos máximos niveles de contaminación

El índice de calidad del aire para la zona de estudio, tomando como referencia el  $PM_{2.5}$ , se clasificó en 2019 entre moderada y buena; de igual manera ocurrió para 2020, sin embargo, se encontró una

calificación de “dañina para grupos sensibles” a inicios de este periodo. Respecto al  $PM_{10}$ , en los dos años de estudio la clasificación ICA, se situó en verde, es decir, buena calidad del aire y sin ningún riesgo para la salud.

Los registros diarios de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en su totalidad cumplieron con los valores máximos permisibles por la Resolución 2254 de 2017, a excepción de los días comprendidos entre el 14 y 18 de abril de 2020, cuyas concentraciones sobrepasaron el nivel límite para la variable  $PM_{2.5}$ . Es preciso destacar que para el año 2030, el nivel máximo permisible se reducirá a más de la mitad y por ende se hace necesario ejercer un mayor control sobre las emisiones.

Al comparar los dos años de estudio se identificó que junio, julio y agosto estuvieron en 2020 por debajo de las concentraciones registradas en 2019; abril y mayo por el contrario en el año 2020 tuvieron una tendencia a aumentar.

El confinamiento preventivo si tuvo influencia sobre los niveles de contaminación pues en agosto se le puede atribuir el leve aumento de los mismos a la reactivación de actividades productivas, sin embargo, estos cambios no fueron notorios por factores externos como los incendios ocurridos en abril y que incrementaron aún más las concentraciones.

### 5.1 Recomendaciones

Realizar un análisis más detallado de la información meteorológica, por ejemplo, rosa de los vientos, para determinar con mayor certeza el nivel de influencia de este tipo de variables en la concentración del contaminante sobre la ciudad.

Evaluar otro tipo de contaminantes, ligados directamente a la actividad industrial y fuentes móviles de la ciudad, con el fin de identificar el aporte de estos sectores a la contaminación atmosférica, verificar si el confinamiento realmente disminuye sus niveles y poder trabajar sobre alternativas de solución.

Tener en cuenta los niveles permisibles y guías sobre calidad del aire establecidos a nivel mundial por organizaciones como la OMS.

### 5.2 Planes para el trabajo futuro

Realizar un estudio similar en el último año para compararlo con estos resultados y analizar con mayor detalle la influencia de la pandemia en la calidad del aire de esta zona de Bucaramanga.

## 6 Agradecimientos

Las autoras expresan agradecimientos al ingeniero Hugo Ballesteros Monsalve por las sugerencias pertinentes.

## 7 Referencias bibliográficas

- Arias, J. (12 de Marzo de 2020). *Vanguardia*. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/atento-asi-afecta-a-su-salud-el-deterioro-en-la-calidad-del-aire-de-bucaramanga-EB2131024>
- Bucaramanga se suma a las ciudades con mala calidad del aire. (2020, 10 marzo). *Diario del Cauca*. <https://diariodelcauca.com.co/noticias/nacional/bucaramanga-se-suma-las-ciudades-con-mala-calidad-del-aire-597146>
  - Builes-Jaramillo, A., Gómez-Bedoya, J., Lopera-Urbe, S., & Fajardo-Castaño, V. (2020). Hotspots, daily cycles and average daily dose of PM2.5 in a cycling route in Medellín. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 96, 87-99. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20191153>
  - Chu, B., Zhang, S., Liu, J., Ma, Q., & He, H. (2020). Significant concurrent decrease in PM2.5 and NO2 concentrations in China during COVID-19 epidemic. *Journal of Environmental Sciences*, 99, 346-353. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.06.031>
  - IDEAM. (s.f.). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
  - Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible. (s.f.). Contaminación Atmosférica. Recuperado el 25 de agosto de 2020, de Contaminación Atmosférica: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/contaminacion-atmosferica>
  - O. (2020b, julio 6). Focos de calor e incendios forestales y de vegetación en Venezuela durante la temporada de sequía entre 2019 y 2020. *Observatorio de Ecología Política de Venezuela*. <https://www.ecopoliticavenezuela.org/2020/07/06/focos-de-calor-e-incendios-forestales-y-de-vegetacion-en-venezuela-durante-la-temporada-de-sequia-entre-2019-y-2020/>
  - Pacheco, H., Díaz-López, S., Jarre, E., Pacheco, H., Méndez, W., & Zamora-Ledezma, E. (2020). NO2 levels after the COVID-19 lockdown in Ecuador: A trade-off between environment and human health. *Urban Climate*, 34, 100674. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100674>
  - Pérez, I. P. A. (2020, 26 junio). Nube de polvo del Sahara afectará levemente a Santander: *Ideam*. [www.vanguardia.com. https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/nube-de-polvo-del-sahara-afectara-levemente-a-santander-ideam-IX2541857](https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/nube-de-polvo-del-sahara-afectara-levemente-a-santander-ideam-IX2541857)
  - Stratoulis, D., & Nuthammachot, N. (2020). Air quality development during the COVID-19 pandemic over a medium-sized urban area in Thailand. *Science of The Total Environment*, 746, 141320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141320>
  - Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. (2020). BOLETÍN EXTRAORDINARIO. Manizales. Recuperado el 14 de Noviembre de 2020, de <http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/publicaciones/Bolet%C3%ADn%20extraordinario%20CA%20Manizales%20II%20-%20Junio%202020-%20Evolucion%20de%20cuarentena%20por%20COVID-19.pdf>

- Xiang, J., Austin, E., Gould, T., Larson, T., Shirai, J., Liu, Y., Marshall, J., & Seto, E. (2020). Impacts of the COVID-19 responses on traffic-related air pollution in a Northwestern US city. *Science of The Total Environment*, 747, 141325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141325>