

**Diagnóstico del comportamiento de los Niveles de Material Particulado -PM10 en el  
Área Metropolitana de Bucaramanga. Periodo 2009-2019**

**Kevin Andrés Ordóñez Gómez**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, pecuarias y del medio ambiente - ECAPMA**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**Bucaramanga**

**2021**

**Diagnóstico del comportamiento de los Niveles de Material articulado -PM10 en el  
Área Metropolitana de Bucaramanga. Periodo 2009-2019**

**Kevin Andrés Ordóñez Gómez**

**Trabajo para optar al título de Ingeniero Ambiental**

**Director:**

**Diana Ibarra**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, pecuarias y del medio ambiente - ECAPMA**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**Bucaramanga**

**2021**

**Página de Aceptación**

---

**Diana Ibarra**

**Director Trabajo de Grado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Bucaramanga-2021**

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi madre, por haberme dado la vida y haber estado apoyando, aconsejando y cuidando cada momento de mi vida tanto estudiantil como personal para poder llegar a este punto tan importante de mi formación profesional. A mi padre, por ser un gran soporte y ejemplo en mi vida dándome su cariño y cuidado incondicional que junto con mi madre son el estandarte de mi desarrollo como ser humano, ya que cada cosa grande o pequeña que he conseguido durante mi existir ha sido gracias totalmente a ellos. A mi tía Flor Ángela, por ser un apoyo fundamental en una etapa fundamental de mi juventud.

## Resumen

El presente reporte fue desarrollado para mostrar el comportamiento de las concentraciones de material particulado PM10 (partículas de tamaño de 2,5-10  $\mu\text{m}$ ) durante el periodo 2009 a 2019 en Bucaramanga y su área metropolitana.

El reporte se llevó a cabo basado en la unificación de los registros de informes de estaciones de monitoreo oficiales operadas por entes gubernamentales como la CDMB (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga) y AMB (Área metropolitana de Bucaramanga). A pesar de que en el área metropolitana se contaba con 8 estaciones oficiales para esa década, solo en 4 de ellas se encontraron registros suficientes para análisis.

Con la información obtenida se llevó a cabo un análisis en la tendencia de las concentraciones mes a mes durante la década para determinar que valores sobrepasaron los límites permisibles según las resoluciones vigentes y analizar la propensión del PM10 en el transcurso del tiempo. Además, de las permanentes insuficiencias en la recolección y validación de datos en todas las estaciones año tras año, los resultados mostraron que los mayores registros de contaminación se presentaron en el mes de febrero (rango de 52,51 a 70,93  $\mu\text{g PM10 /m}^3$ ) mientras que los menores se presentaron en el mes de octubre (rango de 39,01 a 50,16  $\mu\text{g PM10 /m}^3$ ). El año 2013 fue el que más altos niveles de contaminación registró y la causa más reportada que mayores niveles de contaminación generó fue las emisiones móviles.

**Palabras claves:** Material particulado, Contaminación, monitoreo, tendencia, Bucaramanga.

### **Abstract**

This report was developed to show the behavior of PM10 particulate matter concentrations (particles of size 2.5-10  $\mu\text{m}$ ) during the period 2009 to 2019 in Bucaramanga and its metropolitan area.

With the information obtained, an analysis was carried out on the trend of concentrations month by month during the decade to determine which values exceeded permissible limits according to current resolutions and analyze the propensity of PM10 over time.

In addition to the permanent inadequacies in data collection and validation at all seasons year after year, the results showed that the largest pollution records were in February (rate from 52.51 to 70.93 g PM10 /m<sup>3</sup>) while minors showed up in October (rate from 39.01 to 50.16 g PM10 /m<sup>3</sup>). The year 2013 was the highest levels of pollution recorded and the most reported cause that higher levels of pollution generated was mobile emissions.

**Keywords:** Particulate matter, Pollution, monitoring, trend, Bucaramanga

## Tabla de contenido

Introducción .....	11
Planteamiento del problema.....	13
Justificación .....	14
Marco referencial.....	15
Objetivos .....	25
Metodología .....	26
Análisis y Discusión de Resultados.....	30
Conclusiones .....	56
Bibliografía .....	59

**Lista de tablas**

Tabla 1. Resolución 610 de 2010. Máximos valores permisibles para PM10 .....	20
Tabla 2. Resolución 2254 de 2017. Máximos valores permisibles para PM10 .....	20
Tabla 3. Porcentajes de datos no aceptables para estaciones en el 2019.....	22
Tabla 4. Estaciones de monitoreo oficiales durante el periodo de 2009 a 2019 .....	29
Tabla 5. Tabulación de Comportamiento de PM10 en la estación Centro.....	32
Tabla 6. Tabulación de Comportamiento de PM10 en la estación Ciudadela .....	34
Tabla 7. Tabulación de Comportamiento de PM10 en la estación Florida.....	36
Tabla 8. Tabulación de Comportamiento de PM10 en la estación Cabecera.....	38



**Lista de figuras**

Figura 1. Tamaño de partículas según su origen.....	15
Figura 2. Convenciones de muestreo para fracciones de aerosol .....	16
Figura 3. Distribución del tamaño de las partículas según la fuente de emisión .....	19
Figura 4. Normatividad sobre calidad de aire hasta el año 2010 .....	23
Figura 5. Normatividad sobre la calidad de aire desde el año 2011... ..	24
Figura 6. Localización de estaciones de monitoreo en el área Metropolitana .....	28
Figura 7. Gráfica de tendencia del material particulado PM10 en la estación Centro... ..	31
Figura 8. Gráfica de tendencia del material particulado PM10 en la estación Ciudadela... ..	33
Figura 9. Gráfica de tendencia del material particulado PM10 en la estación Florida.....	35
Figura 10. Gráfica de tendencia del material particulado PM10 en la estación Cabecera ..	37
Figura 11. Velocidad media anual de viento en Bucaramanga de 2009 a 2019 .....	53
Figura 12. Conteo de días con presencia de lluvia en Bucaramanga de 2009 a 2019.....	53

## **Lista de apéndices**

Apéndice A. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2009

Apéndice B. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2010

Apéndice C. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2011

Apéndice D. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2012

Apéndice E. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2013

Apéndice F. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2014

Apéndice G. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2015

Apéndice H. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2016

Apéndice I. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2017

Apéndice J. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2018

Apéndice K. Tabulación de datos consolidados de los registros de niveles de PM10 para el año 2019.

## **Introducción**

El presente documento tiene como objetivo la recopilación de los registros referentes a los niveles de material particulado  $10\ \mu\text{m}$ , que es un contaminante definido como “una mezcla de diminutas piezas solidas o gotitas liquidas en la atmósfera, generada a partir de alguna actividad antropogénica, que se pueden suspender a través de un cabezal de muestreo con un rendimiento de separación del 50% para un diámetro aerodinámico de 10 micrómetros.” (Euskal, 2018)

Arias(2020) indicó que el fenómeno de contaminación por material particulado afecta la salud del ser humano cuando las partículas de PM10 ingresan directamente al cuerpo por las vías respiratorias, provocando la aparición de radicales libres; Si hay una gran cantidad de estas sustancias ocurre un realce de procesos inflamatorios, lo que a corto plazo genera una inflamación permanente en el sistema respiratorio, pudiendo llegar a generar complicaciones mayores por el exceso de inhalación de dichas partículas.

La OMS (2016) indicó que las personas más susceptibles a padecer estas consecuencias son los niños, mujeres embarazadas, adultos mayores y pacientes con enfermedades crónicas, impactando de manera determinante a quienes tienen enfermedades respiratorias, como las personas con asma o la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica. Teniendo en cuenta lo anterior se identificó la necesidad de desarrollar el siguiente reporte que se fundamentó en diagnosticar el comportamiento de las concentraciones PM10 registradas desde el año 2009 a 2019 .

Para desarrollar este reporte se recopiló y examinó los valores de concentración de MP10 durante la década mencionada, basándose en la búsqueda y registro cronológicamente organizado de las mediciones efectuadas por entes gubernamentales constituidos del área

metropolitana los cuales fueron la CDMB (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga) y AMB (Área metropolitana de Bucaramanga).

Posteriormente se efectuó la revisión de la información encontrada, para dar paso a la respectiva tabulación de las cifras y su seguido análisis, en el cual primeramente se examinó las tendencias obtenidas para determinar qué tan contaminante fueron las concentraciones periodo tras periodo y después se llevó a cabo la verificación de argumentos encontrados en fuentes bibliográficas oficiales como reportes de calidad de aire, artículos de periódico, artículos científicos entre otros, que explicaron diversas causas que provocaron los niveles de contaminación por PM10.

La finalidad del presente reporte es dar a conocer la manera en que se comportaron las concentraciones de material particulado durante los años descritos para entender que tan contaminante fue dicho parámetro y de ese modo describir las causas que influyeron en su propagación.

Dicho desarrollo analítico aportó descubrimientos tales como los periodos anuales con más altas y más bajas concentraciones de contaminación, los registros que incumplieron con la normatividad vigente, los periodos mensuales donde se presentó mayores niveles de contaminación, entre otros.

### **Planteamiento del problema**

Actualmente la sociedad ha venido prestando más atención sobre cómo afecta la contaminación atmosférica directamente a la salud humana. Colprensa(2018) indica que

“aunque la calidad del aire en Colombia es mejor que la de países con ingresos similares, la población percibe que el problema va cada vez más en aumento”.

Por lo tanto, el cuidado del medio ambiente es un tema que ha ido calando más entre la población, lo que hace importante proporcionar información veraz y accesible sobre este tópico, específicamente en este caso acerca de las tendencias de cómo se comporta el material particulado y las causas que fomentan el incremento de sus concentraciones.

Albis (2020) indicó que en el caso de Bucaramanga se ha venido dando incrementos esporádicos con tendencia a ser permanentes desde principios de 2020 en los niveles de material particulado afectando directamente la salud y bienestar de la población en la ciudad.

Motivo por el cual es fundamental dar a conocer, de una forma objetiva, el comportamiento del de PM10, como sus niveles están afectando nuestra calidad de vida y por qué se están aumentando, pero ¿dónde puede la comunidad encontrar una fuente de información que junte todos estos temas y los analice de manera organizada cronológicamente?

Por ende, para crear este reporte se utilizaron los informes y evaluaciones certificadas por organizaciones especializadas en la recolección de esta clase de datos como la CDMB (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga) y AMB (Área Metropolitana de Bucaramanga), así como de soportes bibliográficos de fuentes científicas que brindaron argumentos avalados acerca del comportamiento de estos datos.

### **Justificación**

La contaminación atmosférica por material particulado es una temática de vital importancia en nuestra sociedad debido a su impacto negativo en la salud humana. Suarez(2019) señala que de acuerdo con el Instituto Nacional de Salud (INS), solamente en Colombia este fenómeno junto a otras fuentes como el agua contaminada ha ocasionado al menos 17.500 muertes.

El propósito de este reporte fue crear el acceso a una fuente diagnóstica informativa veraz y concisa sobre las variables en el comportamiento de PM10 en la última década del área metropolitana de Bucaramanga ya que no se encontró una fuente documental que hiciera un diagnóstico sobre el comportamiento PM10 en la última década en las bases digitales de información de los entes encargados de esta temática en la ciudad como son la CDMB(Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga) y AMB (Área metropolitana de Bucaramanga).

El reporte mostró la tendencia de los niveles de contaminación PM10 de la ciudad y a su vez indicó que tan eficiente fue el trabajo de medición de los entes ambientales encargados de monitorear este parámetro, para de esa forma generar una perspectiva al lector de que tan alarmante es la situación en la que ha estado la calidad de aire en la última década.

Por consiguiente el reporte contribuyó a brindar un avance en el entendimiento acerca de la contaminación atmosférica para la comunidad santandereana, explicando puntos relevantes tales como que tan buena o mala calidad de aire se ha estado respirando en esa última específica década, que tan o buena o mala ha sido la gestión de las corporaciones gubernamentales en el proporcionamiento de datos válidos y sostenibles a lo largo del tiempo, que actividades son aportadoras al incremento de las concentraciones año tras año, entre otros.

## Marco referencial

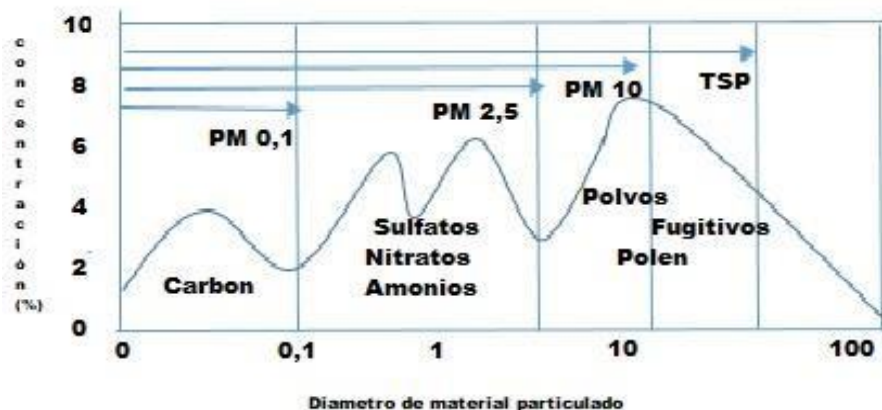
Institutos técnico- científicos indican que “La contaminación atmosférica es la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente. “(IDEAM, 2010)

Castro (2019) señaló que su origen puede remontarse a la Revolución Industrial, y a pesar de los cambios ocurridos desde entonces, las grandes ciudades y los entornos de los núcleos industriales continúan mostrando valores preocupantes, hasta el punto en el que la Organización Mundial de la Salud, en su Informe de 2018, cifró en 7 millones el número de muertes prematuras que esta contaminación origina.

El tipo de contaminante en el que se basa el presente trabajo se define como PM10(partícula con un diámetro aerodinámico de 10 micrómetros nominales). En la siguiente Figura 1 se muestra la clasificación de los diferentes tamaños de las partículas contaminantes según la procedencia de su composición.

**Figura 1.**

*Tamaño de partículas según su origen.*



Fuente: Vaina (2003).

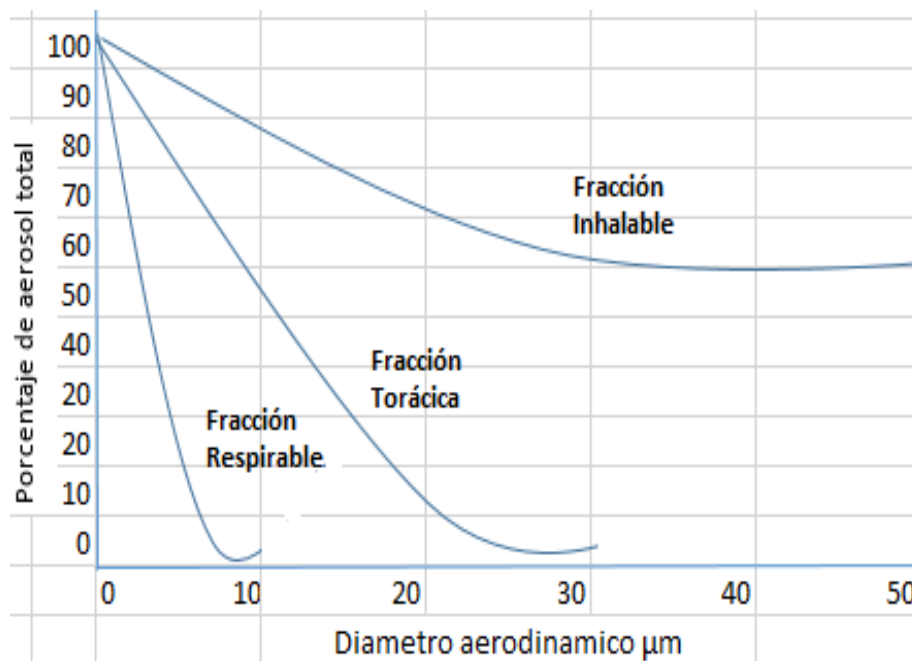
Gomez(2013) denota que, a mediados de 1990, la Organización Internacional de Normalización (ISO), acordó las definiciones de partículas inhalables, torácicas y respirables que penetran en diversos compartimentos del tracto respiratorio, por consiguiente, la fracción inhalable es equivalente a la cantidad de partículas peligrosas que entrará en la nariz y/o boca.

A continuación,

Figura 2 muestra las cantidades en unidades de microgramos/metro cúbico respirables e inhalables de acuerdo a los porcentajes de aerosol.

### Figura 2.

*Convenciones de muestreo para fracciones de aerosol.*



Fuente: Liden(2006).



### **Principales Orígenes y causas de la contaminación atmosférica en el contexto Mundial.**

Los principales responsables de la contaminación atmosférica tienen su origen en actividades humanas.

Sin embargo, Moriana (2018) señaló que también hay fuentes de contaminación procedentes de causas naturales, como pueden ser las erupciones volcánicas, que alteran la composición natural de los gases presentes de forma natural en la atmósfera o el humo y gases de incendios naturales no provocados.

De acuerdo a Fernandez (2005) con la Revolución Industrial, durante la segunda mitad del siglo XVIII, se inició la gran fomentación en el auge de la producción en fábricas, y la utilización de los primeros medios de transporte lo que propicio la necesidad del uso de los combustibles fósiles, eventualmente generando desde ese entonces y hasta hoy en día el aumento en la concentración de gases como el dióxido de carbono.

Por otra parte, Lillo (2020) señala que actualmente las actividades que están siendo grandes contribuyentes a la contaminación atmosférica como son las extracciones mineras pues para dicho proceso de sustracción se emplean diferentes dosis de químicos y maquinaria pesada que liberan partículas por la dispersión de polvos.

Según Moriana (2018) también el uso excesivo de productos pesticidas en la agricultura genera contaminación ya que estas sustancias afectan y alteran los suelos, facilitando la acumulación de gases en el aire, así como la deforestación ya que las especies, vegetales son capaces de limpiar el aire al secuestrar contaminantes de la atmósfera y neutralizarlos.

## **Afectaciones y consecuencias del ser humano ante la exposición a la contaminación atmosférica**

El tamaño de las partículas se encuentra directamente vinculado con el potencial para provocar problemas de salud.

Barbieri (2017) indicó que las partículas pequeñas iguales o menores a 10 micrómetros de diámetro suponen los mayores problemas, debido a que pueden llegar a la profundidad de los pulmones, y algunas hasta pueden alcanzar el torrente sanguíneo.

Según la EPA (2018 ) múltiples estudios científicos vincularon la exposición a la contaminación por partículas a una variedad de problemas, que incluye:

- Muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares
- Infartos de miocardio no mortales
- Latidos irregulares
- Asma agravada
- Función pulmonar reducida
- Síntomas respiratorios aumentados.

De acuerdo a la OPS (2020) lo más preocupante para la población es que todas las personas expuestas al aire contaminado pueden sufrir algún nivel de afectación que dependerá de varios factores tales como el nivel de contaminación, la intensidad y tiempo de la exposición, al igual que la susceptibilidad individual.

En general, Caballero (2019) señala que los grupos poblacionales más susceptibles son los niños menores de 5 años, debido a que sus pulmones y su sistema inmunológico se están desarrollando, así como las personas de la tercera edad y las personas quienes padecen enfermedades respiratorias como Asma o Fibrosis pulmonar enfermedades cardiovasculares

pueden empeorar su estado de salud cuando respiran aire contaminado tanto en sus hogares como del medio ambiente.

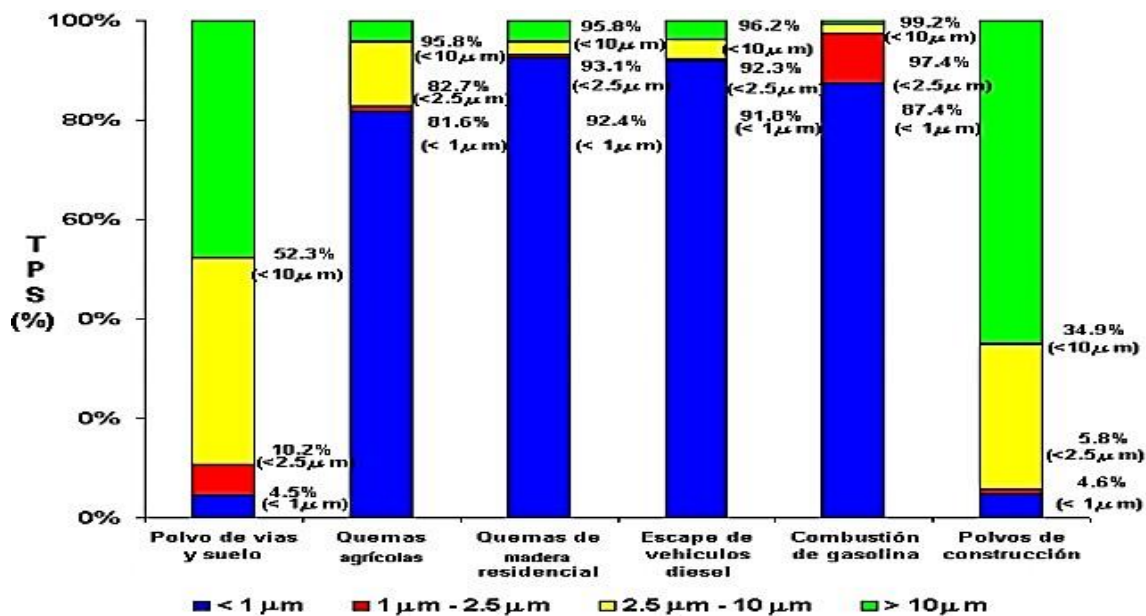
Es relevante mencionar que aún no ha existido un estudio nacional que reuniera datos claves acerca de los niveles de contaminación y su relación con las fuentes que las producen en ciudades principales.

Liberal (2018) resalta que como país es necesario un estudio de esta dimensión, para que empecemos a dimensionar los daños que existen en el bienestar de las personas y así resaltar los cambios que son necesarios efectuar en la normatividad colombiana.

Haciendo referencia a las fuentes generadoras de PM10 la siguiente Figura 3 muestra la distribución de partículas suspendidas medidas de fuentes comunes de emisión.

**Figura 3.**

*Distribución de tamaño de las partículas según la fuente de emisión.*



Fuente: Chow (1998).

## Marco Legal

Según lo establecido por, Mini Ambiente (1995) se señala que:

“Una norma de Calidad del Aire o nivel de inmisión se define como el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.”

En la Tabla 1 y Tabla 2 se resumen 2 de las 3 legislaciones vigentes aplicables para este reporte.

**Tabla 1.**

*Resolución 610 de 2010. Máximos valores permisibles para PM10*

Contaminante	Nivel Máximo Permisible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición
PM10	50	Anual
PM10	100	24 horas

Fuente: (Mini Ambiente, 2010).

**Tabla 2.**

*Resolución 2254 de 2017. Máximos valores permisibles para PM10*

Contaminante	Nivel Máximo Permisible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición
PM10	50	Anual
PM10	75	24 horas

Fuente: (Mini Ambiente, 2017).

Como se acoto anteriormente en el desarrollo de este reporte se tuvieron en cuenta tres resoluciones establecidas por el Ministerio Del Medio Ambiente Y Desarrollo Sostenible que

tienen relevancia por su periodo de vigencia en la operatividad y establecimiento de la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional.

Siendo la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 que rigió hasta el 31 de diciembre de 2010 estableciendo límite máximo permisible de 150  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  para 24 horas y de 70  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  anual.

Posteriormente la Resolución 610 de 2010 que rigió hasta el 31 de diciembre del 2017 estableció el límite máximo permisible de 100  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  para 24 horas y de 50  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  anual y finalmente la normatividad que regula actualmente el nivel de inmisión en Colombia la cual es la Resolución 2254 del 2017, que establece límite máximo permisible de 75  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  para 24 horas y de 50  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  anual.

Otras normatividades establecidas según MiniAmbiente (2012) que fueron aplicables dentro del periodo en el que se desarrolla este trabajo es la Resolución 2154 de 2010 por la cual 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 , la resolución 650 de 2010 Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, la Resolución No. 1632 de 2012 Por la cual se adiciona el numeral 4.5 al Capítulo 4 del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y ajustado por la Resolución 2153 de 2010 y se adoptan otras disposiciones".

Es fundamental tener en cuenta que hay un precedente crucial del protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire establecido por el Ministerio de medio Ambiente, que define que el porcentaje de datos válidos empleados para realizar los cálculos de promedios de concentraciones de los contaminantes criterio, no debe ser inferior al 75%.

De acuerdo a MiniAmbiente (2010) el porcentaje de datos válidos se calcula de la relación entre la cantidad de datos válidos (V) y la cantidad de datos que debieron ser reportados (N) en un período de tiempo definido, usando la ecuación “%*Val\_datos*= (V/N) \*100”.

A continuación en la Tabla 3 se muestra un ejemplo de porcentajes establecidos para la recolección óptima de datos para algunas de las estaciones de monitoreo .

**Tabla 3.**

*porcentajes de datos no aceptables PM10 para estaciones en el 2019*

Estación	Ciudadela	Cabecera	Florida
Equipo	Monitor PM10	Monitor PM10	Analizador
	BAM 1020	BAM 1020	de ozono API-400A
V*	246	112	245
N**	273	273	273
% de captura	90%	41%	90%

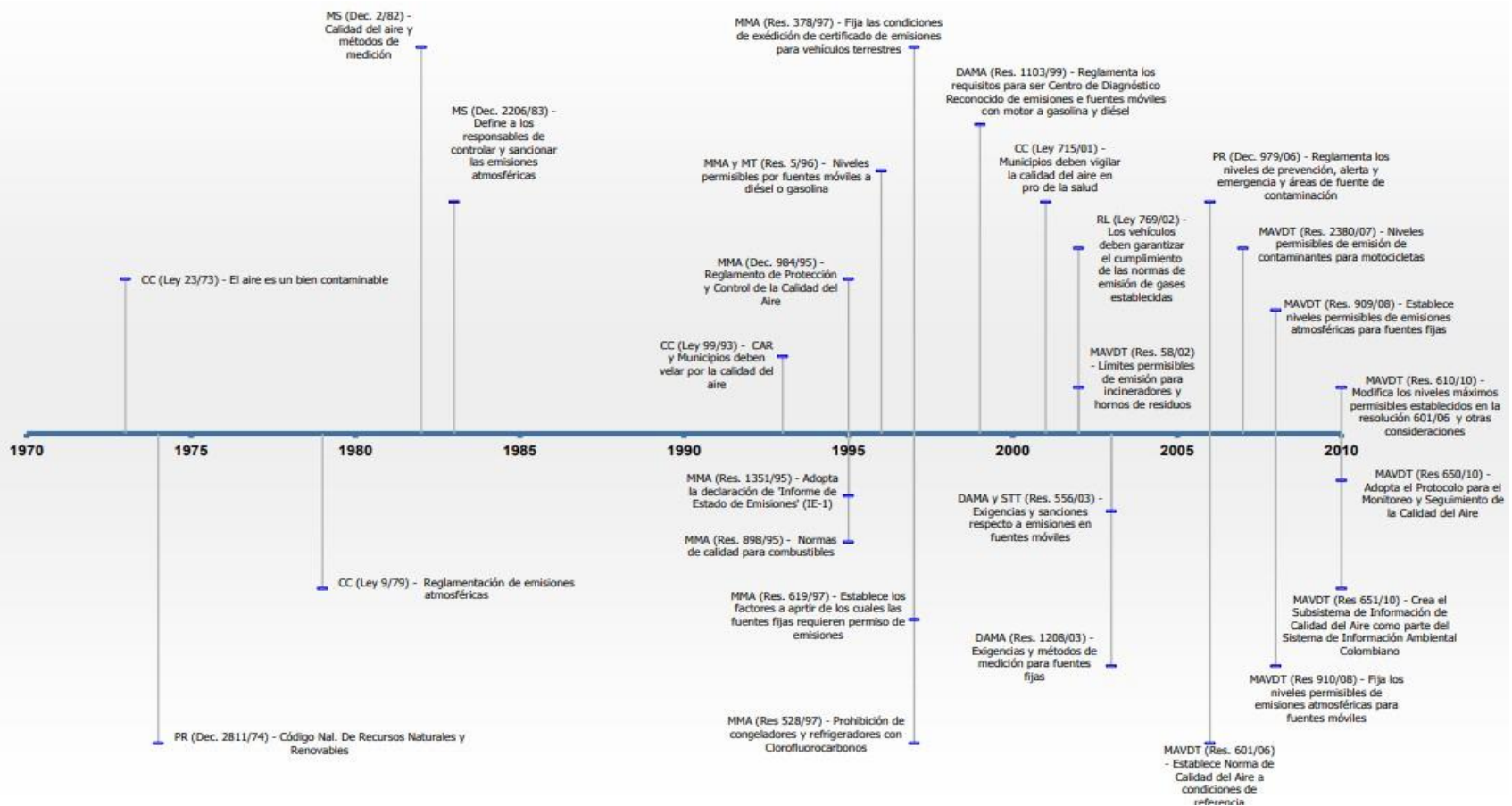
Fuente: CDMB (2019).

Nota: El “\*” se refiere a entidad de datos válidos y los “\*\*” se refieren a cantidad de datos que debieron ser reportados.

A continuación en la figura 4 y Figura 5 se resumen la legislación en forma de línea del tiempo aplicable hasta el año 2010 y después que aplicó desde 2011 respectivamente.

## Figura 4.

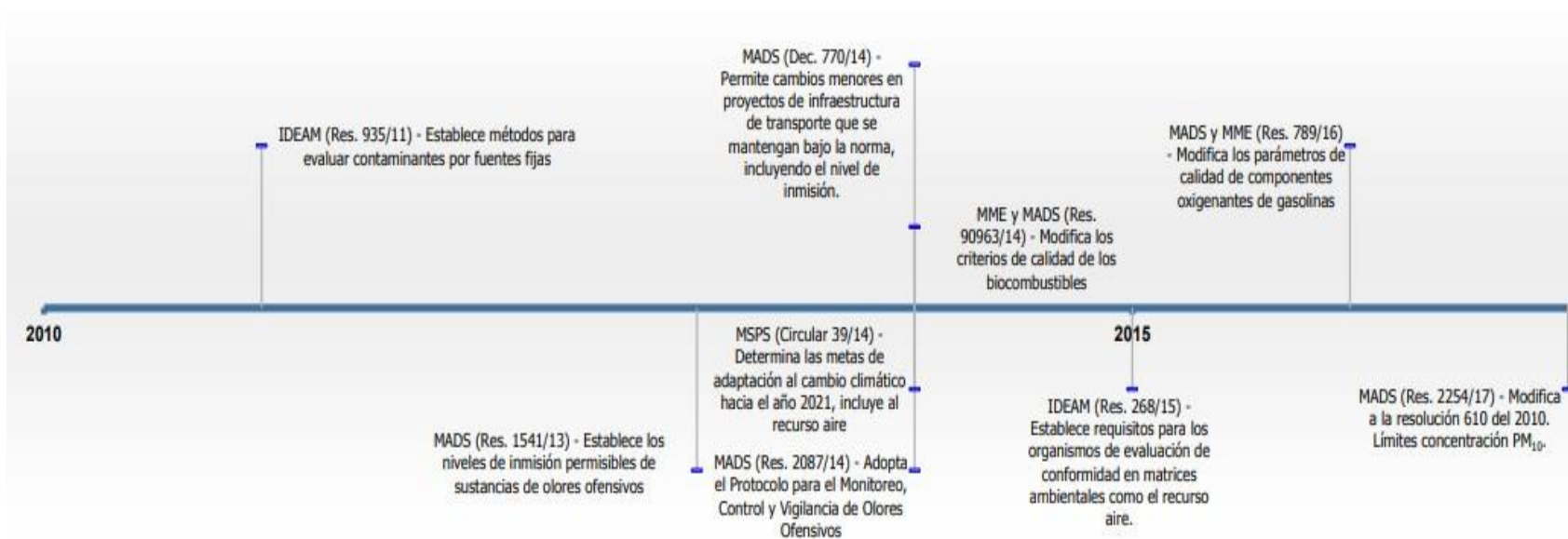
### Normatividad sobre la calidad del aire en Colombia hasta el año 2010



Fuente: MiniAmbiente(2010).

**Figura 5.**

*Normatividad sobre la calidad del aire en Colombia desde el año 2011.*



Fuente: Bioparque(2019).



## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Diagnosticar el comportamiento de los niveles de material particulado -PM10 en el Área Metropolitana de Bucaramanga en el periodo 2009-2019.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar el comportamiento de los niveles de PM10 reportados por las autoridades ambientales del Área Metropolitana de Bucaramanga en el periodo 2009-2019.
- Establecer las principales fuentes generadoras de contaminación por material particulado en el Área Metropolitana de Bucaramanga, mediante información el análisis de información secundaria.

## Metodología

El proyecto se desarrolló mediante un procedimiento cuantitativo, basado en un método estadístico de análisis descriptivo de las concentraciones de material particulado PM10, que fueron encontradas en la siguiente base de datos oficial digital (<http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/archivos.html>) de las lecturas de emisiones realizadas por la red de monitoreo de la Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga (CDMB, 2020), que hace parte del sistema especial de vigilancia de calidad del aire para el periodo comprendido en los años 2009-2019.

El análisis se basó en la revisión y organización cronológicamente detalla de las cifras consignadas en los informes evaluativos anuales tales como; Los informes de calidad de aire que se sustrajeron del repositorio de archivos del sistema de vigilancia de calidad de aire de la CDMB y los informes anuales de los estados de los recursos naturales de Bucaramanga y su área metropolitana realizados por el área de calidad ambiental de esta misma corporación, que se sustrajeron de la base digital de informes de la gestión institucional de calidad ambiental en la página web oficial de la CDMB. (<http://www.cdm.gov.co/web/gestion-institucional/informes/calidad-ambiental>)

Por consiguiente, fundamentado en estas cifras se elaboró un comparativo de datos utilizando un modelo estadístico descriptivo en el cual se obtuvieron los valores de promedios acumulados mensuales que se calcularon al dividir la suma total de los registros diarios en cada estación y posteriormente los promedios acumulados anuales , error absoluto y desviación media periodo tras periodo que fueron establecidos para facilitar el análisis de la información y evaluar el estado de la calidad del aire del área metropolitana en las zonas que cuenta con disposición de dispositivos de monitoreo.

Finalmente, se dispuso a realizar una compilación de información respecto a las principales fuentes de emisión de material particulado en el Área Metropolitana de Bucaramanga, haciendo una recopilación de argumentos hallados en fuentes bibliográficas de fuentes de información primaria tales como periódicos y documentos oficiales de instituciones públicas de la ciudad para de ese forma establecer la correlación existente entre el comportamiento de los niveles de material particulado PM10 en el tiempo con los fenómenos naturales y actividades antropogénicas que tienen influencia en él .

Los resultados obtenidos en el reporte son basados en el análisis y recopilación previa de los registros de datos validos generados diariamente y presentados mensualmente por los puntos de monitoreo fijados y regulados por el sistema de vigilancia de calidad de aire de la CDMB.

Henaó, Gómez y Flórez (2017) señalaron que las estaciones de monitoreo de calidad de aire en Bucaramanga hacen parte de la red nacional que es conformada por 132 estaciones de monitoreo estructuradas en 19 sistemas de vigilancia de la calidad del aire ubicadas en ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Cartagena y que estas son vigiladas por el sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) que tiene por función principal ofrecer información valida, para dar a conocer el estado actual de las condiciones ambientales del país.

A continuación, en la figura 6 se muestra la localización satelital de las estaciones de monitoreo de calidad de aire.

**Figura 6.**

*Localización de estaciones de monitoreo en el área metropolitana.*



Fuente: CDMB (2014).

Según la veracidad de los datos recolectados a lo largo de la década de estudio se toma para el siguiente análisis como estaciones relevantes la estación de Cabecera, Centro, Ciudadela y Florida ya que son las de mayor aporte de datos activos y válidos. No obstante, a continuación, en la Tabla 4 se muestra el listado de las estaciones de monitoreo reconocidas por la CDMB en lo que respecta a la década de este reporte.

**Tabla 4.***Estaciones de monitoreo oficiales durante el periodo de 2009 a 2019.*

Estación	Dirección	Coordenadas geográficas	Parámetros
Centro	Cra 15 con calle 14	7°7'59'' N	NOX, SO <sub>2</sub> , CO ,
		74°52'10'' W	O <sub>3</sub> , PM10
Ciudadela	Colegio. Aurelio Mutis	7°6'2'' N	NOX, CO , O <sub>3</sub> ,
		74°52'3'' W	PM10
Florida	Autopista/manga-Piedecuesta	7°4'20'' N	-O <sub>3</sub> , PM10
	sede sur Tele Bucaramanga	74°53'45'' W	
Norte	Hospital local del Norte	7°8'54'' N	O <sub>3</sub> , PM10
		74°52'0'' W	
Cabecera	Cra 36 con calle 54	7°6'41'' N	NOX, SO <sub>2</sub> , CO,
		74°53'34'' W	O <sub>3</sub> , PM10
La joya	Cra 11 con calle 35	7°7'3'' N	O <sub>3</sub> , PM10
		74°52'14'' W	
Concordia	Cra 21 con calle 52	7°6'41'' N	PM10
		74°52'59'' W	
San Miguel	Diagonal 15 con calle 50	7°6'42'' N	PM10
		74°52'50'' W	

Fuente: Martínez (2010).

## **Análisis y Discusión de Resultados**

Teniendo en cuenta que el objetivo de este reporte se centró en presentar un análisis de los niveles de PM10 fundamentado en las estaciones relevantes en Cabecera, Florida, Centro y Ciudadela, se procedió a analizar el comportamiento del promedio acumulado mensual basados en registros diarios para cada estación lo que posteriormente generó el promedio acumulado anual con su respectiva desviación media y error absoluto, con la tabulación obtenida (ver apéndice A) se hizo el siguiente análisis, teniendo en cuenta la Resolución 2254 de 01 de noviembre de 2017 que es la normatividad que se encuentra vigente actualmente.

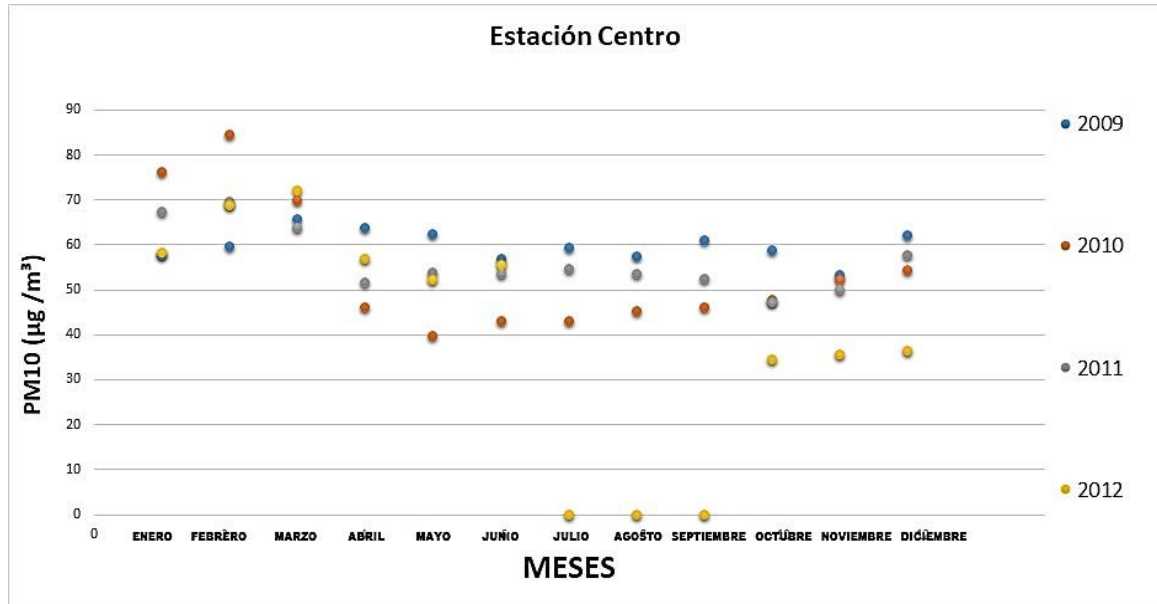
### **Comportamiento Estación Centro**

Para esta estación se encontraron solamente registros certificados de 2009 a 2012, con excepción de algunos meses sin registros en 2012. (Ver tabla 5)

En la Figura 7 se muestra la representación gráfica del comportamiento de PM10 del promedio mes a mes en la estación Centro en los 10 años de informes analizados. En ella se evidencia que de los 4 años que se obtuvieron datos, en los dos primeros 2009 y 2010 hubo una tendencia ascendente en el primer trimestre mientras que a partir del segundo semestre hasta finalizar esos dos periodos hubo una permanente declinación. Por otra parte, en el primer trimestre de los años 2011 y 2012 también se presentó una tendencia ascendente y a partir de abril empieza a generarse un descenso que se mantiene a lo largo de todos los siguientes meses exceptuando el mes de diciembre de 2011 que registro un aumento significativo.

**Figura 7.**

*Gráfico de tendencia del Material Particulado PM10 en la Estación Centro*



Fuente: Adaptado de Informes de calidad de aire de Bucaramanga CDMB (2009-2019).

A continuación, se presenta la Tabla 5 y sus valores de promedio general, error absoluto y desviación media de la Estación Centro donde se puede deducir que enero y febrero de 2010 fueron los únicos meses donde se superó el límite establecido en la legislación actual ( $75 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ). En promedio, en los años analizados febrero presentó el mayor nivel de PM10 ( $70,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mientras que en octubre se presentó la menor concentración promedio ( $46,98 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ). De acuerdo con la desviación estándar, los valores de PM10 registrados para el mes de marzo fueron los más estables años tras año ( $3,78 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ) y los del mes de diciembre fueron lo que mayor variación presentaron ( $11,3 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ).

**Tabla 5.**

*Tabulación de Comportamiento de PM10 en la estación Centro.*

ESTACION CENTRO								
AÑO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	57,16	7,53	59,62	10,87	65,62	2,16	63,71	9,15
2010	76,04	11,35	84,34	13,85	69,75	1,97	46,02	8,54
2011	67,26	2,57	69,43	1,06	63,73	4,05	51,65	2,92
2012	58,29	6,40	68,57	1,92	72,02	4,24	56,88	2,32
Desviación	8,81		10,24		3,78		7,54	
Promedio	64,69		70,49		67,78		54,57	
AÑO	MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	62,43	10,48	56,68	4,49	59,37	7,08	57,45	5,34
2010	39,71	12,25	43,02	9,17	42,92	9,37	45,28	6,83
2011	53,61	1,66	53,53	1,34	54,58	2,29	53,6	1,49
2012	52,07	0,12	55,52	3,33	SIN DATOS	#¡VALOR!	SIN DATOS	#¡VALOR!
Desviación	9,35		6,25		8,46		6,22	
Promedio	51,96		52,19		52,29		52,11	
AÑO	SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	60,99	7,94	58,81	11,83	53,26	5,61	62,09	9,5475
2010	45,9	7,15	47,69	0,71	52,08	4,43	54,18	1,6375
2011	52,27	0,78	46,99	0,01	49,85	2,20	57,6	5,0575
Desviación	7,58		9,96		8,28		11,30	
Promedio	53,05		46,98		47,65		52,54	

Fuente: Adaptado de Informes de calidad de aire de Bucaramanga CDMB (2009-2019).

### **Comportamiento Estación Ciudadela.**

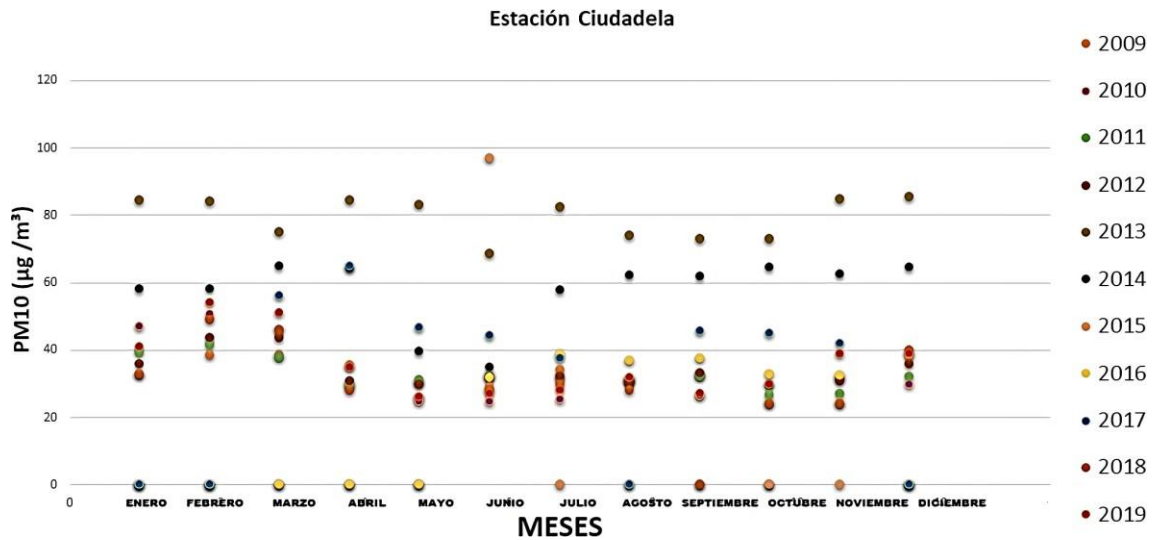
En la figura 8 se muestra la representación gráfica del comportamiento de PM10 del promedio mes a mes en la estación Ciudadela en los 10 años de informes analizados; en ella evidencia que el 2013 es el periodo que mostro mayor fluctuación en sus datos ilustrando un patrón repetido de “loma y valle” durante todo el año, mientras que el resto de los años hubo una tendencia ascendente en sus primeros trimestres y a partir de abril se dio un descenso general y a partir de allí los 8 meses restantes se mantuvo un comportamiento en los datos con poca dispersión y estable entre si exceptuando el 2017 que es el único que muestra a partir de su ultimo trimestre una tendencia de crecimiento nuevamente. Para esta estación el 2016 no reporto



datos en su primer trimestre y el 2015 solo registro un dato en junio lo que hizo a ese mes el más veraz en información para este punto de monitoreo en la década. (ver Tabla 6)

### Figura 8.

*Gráfico de tendencia del Material Particulado PM10 en la Estación Ciudadela*



Fuente: Adaptado de Informes de calidad de aire de Bucaramanga CDMB (2009-2019).

A continuación, se presenta la Tabla 6 con los valores de promedio general, error absoluto y desviación media de la Estación Ciudadela, donde se puede deducir que junio de 2015 y enero, febrero, abril, mayo, junio, julio, noviembre y diciembre de 2013 fueron los meses donde se superó el límite establecido en la legislación actual ( $75 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ) mostrando que en este último año en 42% del tiempo se incumplió dicha norma. En promedio, en los años analizados marzo presentó el mayor nivel de PM10 ( $61,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mientras que en mayo se presentó la menor concentración promedio ( $37,54 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ). De acuerdo con la desviación estándar, los valores de PM10 registrados para el mes de marzo fueron los más estables años a año ( $9,17 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ) y los del mes de enero fueron lo que mayor variación presentaron ( $46,45 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ).

**Tabla 6.***Tabulación de Comportamiento Estación Ciudadela.*

ESTACION CIUDEDELA								
AÑO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	32,74	13,71	38,54	13,97	65,62	4,48	35,66	9,063
2010	47,06	0,61	50,67	1,84	69,75	8,61	29,85	14,873
2011	39,2	7,25	41,77	10,74	63,73	2,59	29,53	15,193
2012	35,84	10,61	43,57	8,94	72,02	10,88	30,94	13,783
2013	84,57	38,12	84,32	37,87	SIN DATOS	#iVALOR!	84,41	39,687
2014	58,19	11,74	58,19	11,74	64,77	3,63	64,15	19,427
2017	SIN DATOS	#iVALOR!	SIN DATOS	#iVALOR!	56,26	4,88	64,97	20,247
2018	33	13,45	49	2,55	46	15,14	28	16,723
2019	41	5,45	54	7,55	51	10,14	35	9,723
Desviación	17,55		14,40		9,17		20,80	
Promedio	46,45		52,51		61,14		44,72	
AÑO	MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	30,48	7,06	29,19	11,76	34,2	5,69	31,19	8,452
2010	24,78	12,76	24,64	16,31	25,37	14,52	30,39	9,252
2011	31,25	6,29	32,54	8,41	31,96	7,93	31,32	8,322
2012	29,79	7,75	32,12	8,83	32,35	7,54	30,34	9,302
2013	83,11	45,57	68,71	27,76	82,55	42,67	74,15	34,508
2014	39,63	2,09	35,03	5,92	57,84	17,96	62,35	22,708
2015	SIN DATOS	#iVALOR!	96,9	55,95	SIN DATOS	#iVALOR!	SIN DATOS	#iVALOR!
2016	SIN DATOS	#iVALOR!	32,02	8,93	39,08	0,81	37,04	2,602
2017	46,79	9,25	44,25	3,30	37,5	2,39	SIN DATOS	#iVALOR!
2018	26	11,54	28	12,95	30	9,89	28	11,642
2019	26	11,54	27	13,95	28	11,89	32	7,642
Desviación	18,52		22,23		17,48		16,66	
Promedio	37,54		40,95		39,89		39,64	
AÑO	SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	37,72	3,87	SIN DATOS	#iVALOR!	32,02	7,89	38,20	7,45
2010	26,33	15,26	24,6	14,41	24,54	15,37	29,73	15,92
2011	32,15	9,44	26,95	12,06	27	12,91	32,22	13,43
2012	33,09	8,50	29,96	9,05	30,95	8,96	35,84	9,81
2013	72,93	31,34	73,18	34,17	84,66	44,76	85,55	39,90
2014	61,84	20,25	64,56	25,55	62,44	22,54	64,65	19,00
2016	37,69	3,90	32,79	6,22	32,52	7,39	SIN DATOS	#iVALOR!
2017	45,54	3,95	45,08	6,07	41,92	2,02	SIN DATOS	#iVALOR!
2018	SIN DATOS	#iVALOR!	24	15,01	24	15,91	40	5,65
2019	27	14,59	30	9,01	39	0,91	39	6,65
Desviación	15,99		18,16		19,35		19,33	
Promedio	41,59		39,01		39,91		45,65	

Fuente: Adaptado de Informes de calidad de aire de Bucaramanga CDMB (2009-2019).

**Comportamiento Estación Florida**

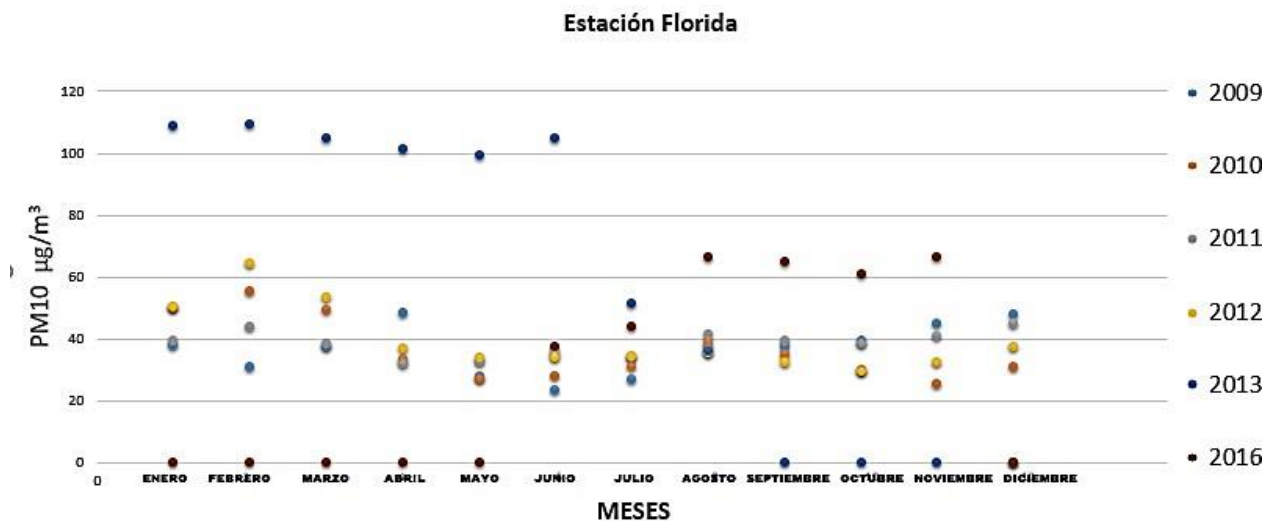
La Figura 9 muestra en la Estación Florida la representación gráfica del comportamiento del promedio mensual de 10 años de informes analizados de PM10; en ella se evidencia que el

año 2013 fue el periodo con la más alta tendencia ascendente, en el primero y segundo semestre hubo decrecimiento uniforme; el resto de años se presentó una tendencia alta constante en el primer trimestre, luego hubo un decrecimiento en las temporadas de mediados de año para posteriormente volver a tener un comportamiento ascendente permanente en el último semestre.

Para esta estación no se encontraron registros certificados del 2014 y tampoco de todos los últimos tres años de la década. (ver Tabla 7).

### Figura 9.

*Gráfico de tendencia del Material Particulado PM10 en la Estación Florida de 2009*



Fuente: Adaptado de Informes de calidad de aire de Bucaramanga CDMB (2009-2019).

A continuación, se presenta en la en la Tabla 7 con valores de promedio general, error absoluto y desviación media de la estación Florida, mediante la cual se puede deducir que completamente todos los periodos mensuales del primer semestre del año 2013 junto con junio el único reporte valido del 2015 superó el límite establecido en la legislación actual ( $75 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ). En promedio, en los años analizados febrero presentó el mayor nivel de PM10 ( $60,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mientras que en el periodo de julio se presentó la menor concentración promedio ( $36,88 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ). De acuerdo con la desviación estándar, los valores de PM10 registrados para el

mes de diciembre fueron el más estable año a año ( $7.50 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ) por otro lado los datos del mes de junio fueron los que mayor variación presentaron ( $40.04 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ).

**Tabla 7.**

*Tabulación de Comportamiento Estación Florida.*

ESTACION FLORIDA								
AÑO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	37,76	19,45	30,81	29,78	37,28	19,33	48,08	2,216
2010	49,96	7,25	55,2	5,39	49,38	7,23	33,29	17,006
2011	39,29	17,92	43,8	16,79	38,18	18,43	32,04	18,256
2012	50,17	7,04	64,09	3,50	53,39	3,22	36,85	13,446
2013	108,88	51,67	109,06	51,85	104,83	48,22	101,22	50,924
Desviación	29,46		29,83		27,84		29,16	
Promedio	57,21		60,59		56,61		50,30	
AÑO	MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	27,74	16,26	23,48	31,20	26,66	10,22	37,11	5,337
2010	27,05	16,95	28,06	26,62	31,07	5,81	38,61	3,837
2011	32,2	11,80	35,24	19,44	33,91	2,97	41,44	1,007
2012	33,63	10,37	33,76	20,92	34,52	2,36	35,3	7,147
2013	99,37	55,37	104,73	50,05	51,06	14,18	35,83	6,617
2015	SIN DATOS	#¡VALOR!	120,32	65,64	SIN DATOS	#¡VALOR!	SIN DATOS	#¡VALOR!
2016	SIN DATOS	#¡VALOR!	37,15	17,53	44,04	7,16	66,39	23,943
Desviación	31,08		40,04		9,00		11,94	
Promedio	44,00		54,68		36,88		42,45	
AÑO	SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	37,17	4,58	39,5	0,07	44,92	3,11	47,78	7,59
2010	35,03	6,72	29,74	9,83	25,34	16,47	31,04	9,16
2011	39,31	2,44	38,44	1,13	40,61	1,20	44,59	4,40
2012	32,33	9,42	29,32	10,25	32,12	9,69	37,37	2,83
2016	64,92	23,17	60,84	21,27	66,05	24,24	SIN DATOS	#¡VALOR!
Desviación	13,21		12,80		15,52		7,50	
Promedio	41,75		39,57		41,81		40,20	

Fuente: Adaptado de Informes de calidad de aire de Bucaramanga CDMB (2009-2019).

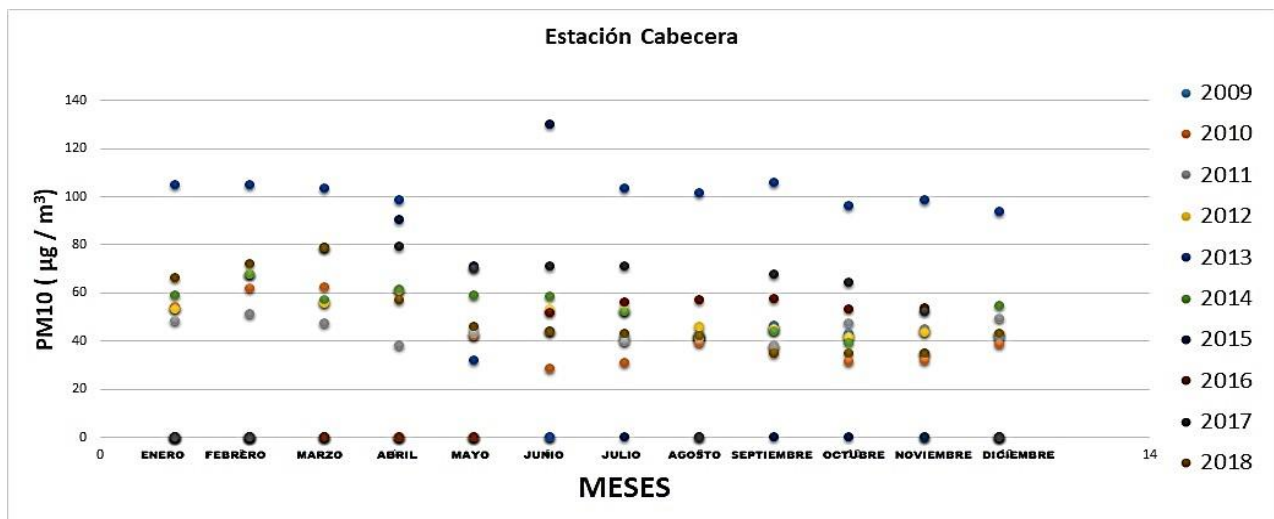
### Comportamiento Estación Cabecera

En la Figura 10 se mostró la representación gráfica del comportamiento de  $\text{PM}_{10}$  del promedio mensual en la Estación Cabecera en los 10 años de informes analizados en ella se evidencia que 2013 mostró una tendencia muy alta que se mantuvo estable a lo largo del tiempo exceptuando por un punto, así como el 2015 que mostro un patrón de ascendencia similar. Por otro lado, el año 2012 mantuvo un comportamiento ascendente estable durante el primer semestre y a partir

del segundo hubo un leve decrecimiento que se mantuvo hasta finalizar el periodo mientras que el resto de años presentó inicios con trayectorias ascendentes continuas que a partir del segundo trimestre empezó a disminuir hasta llegar al último trimestre que mostro un ligero crecimiento nuevamente. Para esta estación todos los años en ciertos respectivos meses reportaron datos validos a excepción del año 2019 no reporto ningún dato valido. (ver Tabla 8).

**Figura 10.**

*Gráfico de tendencia del Material Particulado PM10 en la Estación Cabecera*



Fuente: Adaptado de Informes de calidad de aire de Bucaramanga CDMB (2009-2019).

Seguidamente, se presenta en la en la Tabla 8 con los valores de promedio general, error absoluto y desviación media de la estación Cabecera, mediante la cual se puede deducir que el año 2013 fue el de mayor nivel de registros de niveles de contaminación ya exceptuando enero mayo y junio todos los meses restantes excedieron el límite de  $75 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  siguiéndole los años 2015 y 2017 con dos meses que fueron abril, junio, marzo y abril respectivamente y por último el año 2018 en marzo. En promedio, en los años analizados febrero presentó el mayor nivel de PM10 ( $70,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mientras que en el periodo de noviembre se presentó la menor concentración promedio ( $49,27 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ). De acuerdo con la desviación estándar, los valores

de PM10 registrados para el mes de enero fueron los más estables años a año (6.75  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ) por otro lado los datos del mes de junio fueron los que mayor variación presentaron (30.82  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ ).

**Tabla 8.**

*Tabulación de Comportamiento Estación Cabecera.*

ESTACION CABECERA								
AÑO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2010	53,97	2,07	62,08	8,85	62,19	6,89	60,72	8,65
2011	48,2	7,84	51,27	19,66	47,58	21,50	38,15	31,22
2012	53,1	2,94	67,51	3,42	55,56	13,52	SIN DATOS	SIN DATOS
2013	SIN DATOS	SIN DATOS	104,92	48,88	103,51	34,43	98,67	29,3
2014	58,95	2,91	67,79	11,75	56,92	12,16	61,57	7,8
2015	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	90,47	21,1
2017	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	78,81	9,73	79,01	9,64
2018	66	9,96	72	15,96	79	9,92	57	12,37
Desviación	6,75		18,13		19,23		21,06	
Promedio	56,04		70,93		69,08		69,37	
AÑO	MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS	40,86	13,63	42,45	9,001
2010	41,88	9,87	28,33	31,78	31,17	23,32	39,28	12,171
2011	43,23	8,52	44,17	15,94	39,78	14,71	41,05	10,401
2012	SIN DATOS	SIN DATOS	53,39	6,72	52,84	1,65	46,11	5,341
2013	32,08	19,67	SIN DATOS	SIN DATOS	103,19	48,70	101,58	50,129
2014	58,95	7,20	58,55	1,56	52,38	2,11	42,06	9,391
2015	70,08	18,33	130,03	69,92	SIN DATOS	#¡VALOR!	SIN DATOS	SIN DATOS
2016	SIN DATOS	SIN DATOS	51,54	8,57	55,93	1,44	57,08	5,629
2017	70,04	18,29	70,85	10,74	71,25	16,76	SIN DATOS	SIN DATOS
2018	46	5,75	44	16,11	43	11,49	42	9,451
Desviación	14,79		30,82		21,62		21,00	
Promedio	51,75		60,11		54,49		51,45	
AÑO	SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO	PROMEDIO	ERROR ABSOLUTO
2009	46,4	6,53	43,12	7,04	34,85	14,42	41,11	10,74
2010	37,1	15,83	31,37	18,79	31,82	17,45	38,71	13,14
2011	38,3	14,63	47,33	2,83	44,8	4,47	49,05	2,80
2012	44,73	8,20	41,77	8,39	43,54	5,73	42,77	9,08
2013	105,86	52,93	96,19	46,03	98,43	49,16	93,9	42,05
2014	43,93	9,00	38,93	11,23	SIN DATOS	#¡VALOR!	54,4	2,55
2016	57,43	4,50	53,35	3,19	53,57	4,30	SIN DATOS	SIN DATOS
2017	67,6	14,67	64,38	14,22	52,17	2,90	SIN DATOS	SIN DATOS
2018	35	17,93	35	15,16	35	14,27	43	8,85
Desviación	22,40		19,90		21,42		19,28	
Promedio	52,93		50,16		49,27		51,85	

Fuente: Adaptado de Informes de calidad de aire de Bucaramanga CDMB (2009-2019).

### **Análisis global del comportamiento de PM10 en el área metropolitana de Bucaramanga.**

Haciendo un análisis unificado en todas las estaciones relevantes en el área metropolitana se evidencia que en la estación Cabecera en el 2013 para los meses febrero, marzo, julio agosto, septiembre y para el año 2015 en el mes de junio se excedió el límite permisible de 100  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para esos años.

y para el año 2018 en marzo se excedió el límite permisible de 75  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para ese año.

También en la estación Florida en el 2013 para los meses febrero, marzo, junio y para el año 2015 en el mes de junio se excedió el límite permisible de 100  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para esos años.

Los periodos anuales con mayores carencias de registros veraces son el año 2015 y 2019, en los que se presentó mayor eficacia en gestionar registros fueron los años 2010 y 2011 que fueron los únicos periodos donde todos los meses hubo datos legítimos.

La Estación De Ciudadela es la estación de medición con mejor aporte de registros admisibles y la que menos aportó fue la estación del Centro.

El mes y año que presentó el registro promedio más alto de todas las estaciones en toda la década fue junio de 2015 con 130,03  $\text{PM}_{10}/\text{m}^3$  y se reportó en la Estación De Cabecera. Cabe resaltar que junio 2015 también fue el mes y año que reportaron el registro más alto de toda la década para las estaciones de Florida (120,32  $\text{PM}_{10}/\text{m}^3$ ) y Ciudadela (96,9  $\text{PM}_{10}/\text{m}^3$ ).

El mes y año que obtuvo el registro promedio más bajo de todas las estaciones en toda la década fue junio de 2009 con 23,48  $\text{PM}_{10}/\text{m}^3$  y se reportó en la estación de Florida; Este mes también fue el periodo que reporto el registro promedio más bajo en Cabecera (28,33  $\text{PM}_{10}/\text{m}^3$ ) pero fue en el año 2010.

En todas las estaciones relevantes fue febrero el periodo que siempre obtuvo los más altos registros de promedio durante toda la década en un rango de 52,51 a 70,93 PM10/m<sup>3</sup> y el que más bajos registros de promedios obtuvo fue octubre en un rango de 39,01 a 50,16 PM10/ m<sup>3</sup>.

El mes que registró un comportamiento más variable y disperso entre sus datos fue junio ya que en 3 de las 4 estaciones (tablas 7,8,9,10) al finalizar la década dicho mes reportó los mayores valores de desviación mientras que el mes con mayor estabilidad en sus datos entre sí fue siempre diferente en todas las estaciones nunca predominó un periodo que se repitiera.

Por lo tanto, los meses de junio con un rango de desviación de 6,25 a 40,04 y abril con un rango de desviación de 20,80 a 54,27 fueron los periodos con mayor índice de dispersión mientras que el mes de octubre con un rango de desviación de 9,96 a 19,90 y diciembre con un rango de desviación de 11,30 a 19,28 fueron los meses con mayor estabilidad en su comportamiento lo que concluye que el segundo trimestre en la década presentó una tendencia a tener la mayor variabilidad en sus cifras que denota que las concentraciones de PM10 oscilaron en niveles de contaminación muy cambiantes mientras que el cuarto trimestre de la década presentó la tendencia a tener la menor variabilidad en sus cifras que denota que las concentraciones de PM10 presentaron un patrón de comportamiento estable, oscilando en niveles bajos de contaminación.

La estación con promedios anuales acumulados más estables y más bajos en los niveles de PM10 fue Ciudadela mientras que la estación con más altos fue la de Cabecera.

Por otro lado, según la desviación media se puede precisar que la estación con una tendencia de dispersión menor y un comportamiento en sus cifras de todos los meses más uniforme entre sí fue la del Centro mientras que la estación con mayor tendencia en la dispersión y un comportamiento más irregular en general fue la de Florida.



## **Principales causas de la contaminación por material particulado en el Área Metropolitana de Bucaramanga.**

Teniendo en cuenta que este reporte trazó el objetivo de presentar qué fuentes son generadoras de concentraciones de material particulado; basado en las fuentes bibliográficas oficiales de los entes ambientales gubernamentales así como de las diversas fuentes de información primarias y secundarias, a continuación, se exponen las causas generales y específicas que argumentan año tras año el porqué del comportamiento de dicho parámetro.

- **Año 2009**

Este análisis parte desde el 2009, donde de manera generalizada durante todo este periodo de la década de monitoreo se puede corroborar que ningún promedio mensual en las estaciones relevantes excedió el límite permisible de 150  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para ese año, por lo tanto, este contaminante mantuvo un rango similar de concentraciones promedio, entre 30 y 80 microgramos por metro cubico verificable en todas las estaciones de monitoreo existentes.

Según la CDMB (2009) se indicó que esta tendencia se basó principalmente en las condiciones de movilidad vehicular sobre la carrera 15 que no cambiaron desde la finalización de la infraestructura para el Sistema Integrado de Transporte masivo.

De igual forma es importante mencionar que según la CDMB (2009) el incremento laboral con las respectivas actividades constructivas por la terminación de la infraestructura vial del Sistema Integrado de Transporte Masivo sobre la autopista Bucaramanga – Piedecuesta, repercutió en que los últimos dos meses del año registraran los mayores niveles de concentración de Material Particulado PM10.

Rueda(2009) señaló que el aporte contaminante en el área del centro de la ciudad se originó por el alto flujo de buses por la carrera 15, entre las calles 36 y 45, ya que la gran fila de autobuses que a diario se represan sobre esta área, propició condiciones ideales para esparcir al aire el monóxido de carbono que ocasiona la polución. Estos vehículos, según la autoridad ambiental metropolitana, operaron en condiciones de muy alta aceleración y desaceleración, incentivando aún más a la producción de material particulado contaminante.

- **Año 2010**

De acuerdo al análisis realizado durante este periodo anual en la década de estudio de monitoreo se pudo corroborar que ningún promedio mensual en las estaciones relevantes excedió el límite permisible de 150  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para ese año.

Se notó con respecto a los datos obtenidos que las máximas concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  tendieron a registrarse en los primeros tres meses que fue una época que según CDMB (2010) coincidió con la presencia de una temporada seca que solo registro ciertas precipitaciones terminando el trimestre.

CDMB (2010) también señaló que los niveles de contaminación para el 2010 se dieron por la calidad del aire del sector de la carrera 33, pues, aunque hayan salido de operación 588 buses en el Área Metropolitana para iniciar la operación de Metro Línea, en este sector de la ciudad se desmejoro debido a que se mantiene la circulación de gran cantidad de buses antiguos, que tienen procesos de combustión nocivos para el medio ambiente.

CDMB (2011) señaló que en el mes de febrero de 2010 se llegó a la culminación de los trabajos de construcción, de la infraestructura para el sistema integrado de transporte

masivo sobre la autopista Bucaramanga-Piedecuesta, lo que ocasionó que la contaminación de material particulado en el área de influencia de Cañaveral registrara una mejoría a partir del segundo semestre haciendo que en el transcurso del año se diera un leve impacto positivo en la mejora de la calidad del aire a nivel general en esta zona del área metropolitana.

- **Año 2011**

Para este año durante la década de monitoreo se puede corroborar que ningún promedio mensual en las estaciones relevantes excedió el límite permisible de 100  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para ese año.

De acuerdo a la CDMB (2011) entre enero y marzo se registraron las concentraciones de material particulado más altas durante el último año de monitoreo, principalmente en el área de influencia del parque San Pio, a causa de las escasas precipitaciones que se presentaron en estos meses.

CDMB (2011) también indicó que en la estación de Floridablanca – Cañaveral, se presentó el registro de altos valores de concentración debido a la gran cantidad de construcciones desarrolladas durante el 2011 en este sector, de igual manera situándonos en la zona centro de Bucaramanga se observó que durante este año, el material particulado obtuvo registros un poco más altos que el año anterior, pero sin llegar a representar ningún riesgo significativo para la población.

Según la AMB (2013) se recaló que la fuente principal generadora de  $\text{PM}_{10}$  para este año fue la combustión incompleta de los vehículos particulares que utilizan gasolina como combustible ya que cuando salen directamente del exhosto entran en contacto con el oxígeno del aire que los rodea y se diluye rápidamente. Este fenómeno se evidencio

constantemente en la carrera 36 en sentido sur norte de Bucaramanga por el incremento en el flujo vehicular en ese trayecto.

También es importante resaltar que el incremento de la contaminación en el sector del centro en comparación con el 2010, se debió principalmente a que

“se han abierto establecimientos comerciales para la cocción de alimentos, que no tienen aún el control adecuado para originar la menor cantidad de emisiones contaminantes posibles.” (El Tiempo, 2012)

- **Año 2012**

Para este año durante la década de monitoreo se puede corroborar que ningún promedio mensual en las estaciones relevantes excedió el límite permisible de 100 µg PM10/m<sup>3</sup> según la resolución vigente establecida para ese año.

Chio(2012) señaló que los factores que impactaron negativamente la calidad del aire durante este año fueron nuevamente la circulación de buses no afiliados a Metro línea principalmente por el combustible Acpm que utilizan y la presencia de establecimientos de cocción de alimentos, que siguieron en aumento progresivo de apertura y operatividad por la demanda de los comensales.

Según informes de ese año de la corporación también se destacó que directamente en “el Sector De Cañaveral- Floridablanca, en el último semestre, se obtuvo un aumento de las concentraciones PM10 por el desarrollo de actividades de adecuación de cimientos y construcción de estructuras del centro comercial Parque Arauco” (CDMB,2012), por tal razón la zona reportó datos que pasaron el 50% de límites permisibles de acuerdo a la norma.

La AMB( 2013) señaló que los tres primeros meses de 2012 fueron los más secos del año, por lo tanto, los más críticos en cuanto a contaminación del aire por material

particulado. De igual manera desde marzo a junio el crecimiento del nivel de contaminación fue constante, mientras que de septiembre a diciembre se registró un decrecimiento paulatino.

- **Año 2013**

Para este año durante la década de monitoreo se puede corroborar que hubo incumplimiento según las cifras en las estaciones de Cabecera en 6 meses y en la estación de Florida en 5 meses que excedieron el límite permisible de  $100 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para ese año, dicho fenómeno se argumenta porque siguió manteniéndose una tendencia de mayores niveles de contaminación en el primer trimestre del año puesto que hubo escasas precipitaciones las cuales desde marzo empezaron a darse.

Según (Ardila, 2013) los altos niveles de contaminación de este año se explican por razones tales como el auge en el fenómeno de la piratería en el transporte convencional, de hecho, a los aproximadamente 150 mil vehículos que a diario rodaron en el 2013 por la ciudad se les atribuyó el 80% de la polución. Cabe resaltar que según campañas efectuadas por la corporación en 1.077 buses que prestan servicio de transporte público al ser examinados, 584 de ellos no pasaron la prueba técnico-mecánica; es decir, el 54% están operando en la ciudad y ya cumplieron su tiempo de vida útil. La mayoría de ellos deberían estar ya desintegrados, pero, aun así, todavía circulan por el área metropolitana aportando una constante fuente de material particulado lo que provocó que los niveles durante este año siguieran generalmente al alza.

Sánchez (2013) también señaló que el aumento dinámico especialmente de las motocicletas para este año aportó un contundente crecimiento en los registros de  $\text{MP}_{10}$  ya que de acuerdo con cifras oficiales, aproximadamente 40 mil motocicletas fueron registradas y matriculadas durante el último año en las cuatro ciudades del área metropolitana. Lo cual

indicó que unos promedios de 109 motocicletas más ingresaron cada día al parque automotor y ocuparon las vías de Bucaramanga, Floridablanca, Piedecuesta y Girón.

- **Año 2014**

Para este año durante la década de monitoreo se puede corroborar que ningún promedio mensual en las estaciones relevantes excedió el límite permisible de 100  $\mu\text{g}$  PM10/m<sup>3</sup> según la resolución vigente establecida para ese año.

Sin embargo, según los informes para ese año la CDMB (2014) indicó que desafortunadamente se originaron una serie de fallas, averías, mantenimientos tardíos y otros factores en diversas estaciones de monitoreo de la red haciendo más dificultoso analizar y corroborar el comportamiento del parámetro de material particulado en el área metropolitana.

Por ejemplo, en este periodo empezó sucediendo en la estación de Florida pues no presentó registros, dadas las labores de modernización del edificio de Tele Bucaramanga donde se encuentra ubicada la estación de monitoreo, así que forzosamente salió de funcionamiento para evitar un daño definitivo permanente por la inestabilidad del fluido eléctrico que alimenta el equipo.

No obstante CDMB (2014) señaló que el aumento del nivel de contaminación obedeció principalmente al incremento de alto tráfico vehicular en la zona de La Calle De Los Estudiantes, debido al inicio de la actividad académica y las obras viales que comenzaron a realizarse sobre la calle 56 y alrededores del Centro Comercial Acrópolis; trabajos que estuvieron emitiendo partículas al ambiente y obligando a los conductores a buscar vías alternas como la calle de los estudiantes y sus cercanías para su circulación.

Para este año sobre todo en el último trimestre se le siguió atribuyendo a el parque antiguo automotor la tendencia creciente de material particulado.

De acuerdo a Gamboa (2015) durante los controles hechos por el grupo de fuentes móviles de la Subdirección Ambiental del AMB, se ratificó la tendencia en que los vehículos más antiguos son los que más contaminan, y fueron los operativos que se adelantaron en los dos últimos meses de 2014, los que más preocupantes resultados de indicadores de automotores arrojaron.

Como ejemplo práctico en el proceso de selección, se revisaron tres vehículos modelo 1971 a 1975 y todos perdieron la prueba. De igual forma una situación similar ocurrió con los automotores de modelos entre 1986 y 1995 de los cuales el 65% de los revisados estaban contaminando.

Durante estos controles también se evidenció que de 133 vehículos de menos de 10 años de fabricación que fueron sometidos a control de emisión de gases, el 47% de ellos estuvieron generando altos niveles de contaminación.

“La directora del Área Metropolitana menciono que, aunque la muestra no fue muy representativa, no deja de ser preocupante el resultado”. (Gamboa, 2015).

- **Año 2015**

Se evidenció que para este año durante la década de monitoreo hubo incumplimiento dadas las cifras en las estaciones de Cabecera y Florida en el mes de junio respectivamente ya que excedieron el límite establecido de  $100 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para ese año.

No obstante, según los informes para ese año, la CDMB (2015) señaló que también presentó permanentes inconvenientes con las estaciones de medición en diferentes zonas como fue la estación del norte en el primer semestre del año o la estación del centro en varios meses durante el 2015, por ende, los datos capturados de esas estaciones no son datos

representativos, debido a que los equipos han estado en mantenimiento y fuera de servicio como es el caso del muestreado de material PM10. Es preciso tener en cuenta que los equipos que operaban para ese año tenían aproximadamente 15 años en funcionamiento continuo.

Ardila (2016) señaló que para este año de acuerdo con los datos revelados por las autoridades competentes se hizo control y evaluación a una fracción del parque automotor equivalente a apenas 275 vehículos, lo cual no es consecuente con los fuertes incrementos que ha tenido el parque automotor desde los últimos años puesto que, al mirar las cifras históricas, los resultados no son comparables ya que en el año 2011 se registraron 38.336 vehículos.

Por consiguiente, el anterior hecho deja una gran brecha de desinformación concisa y asertiva para determinar más eficazmente los niveles de influencia de los vehículos en general en el aumento del material particulado en la ciudad.

- **Año 2016**

Durante este año se mantuvo la infortunada situación que varias estaciones siguieron sin funcionar apropiadamente por varios fragmentos del año. No obstante, se corroboró que ninguno de los registros excedió el límite permisible de  $100 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para ese año.

Sin embargo Barragan (2016) indicó que para este año algunas investigaciones de entes importantes como la del Observatorio de salud pública de Santander (OSPS), en Bucaramanga y el área metropolitana que proporcionó datos acerca del deterioro en la calidad del aire y el aumento de la contaminación atmosférica de este periodo, entre las razones que esta organización dio para fundamentar los niveles altos en varios sectores del área metropolitana estuvieron el aumento de las emisiones de gases de vehículos que utilizan combustibles fósiles, o diésel, en el caso de los buses y vehículos de carga pesada, afirmando



que los carros contaminan más que la industria porque en la localidad bumanguesa solo hay pequeñas y medianas empresas cuyo impacto ambiental no alcanza a ser mayúsculo.

El crecimiento del parque automotor también es un factor trascendental ya que según registros de la Dirección De Tránsito de Bucaramanga se mostró que el municipio pasó de

“76.576 automóviles y 24.503 motocicletas matriculados a 31 de diciembre de 2011, a tener 91.901 automóviles y 34.110 motocicletas finalizando 2015; es decir, en cuatro años 15.325 carros y 9.607 motos se pusieron en marcha.” (Barragan, 2016).

De acuerdo a Vanguardia,R.(2018) uno de los resultados que más generó datos reveladoramente preocupantes para este año fue el relacionado con el alto impacto para el ambiente que producen los camiones, tracto camiones y volquetas, ya que en los cuatro municipios estaban matriculados un total de 12.106 camiones y 2.197 volquetas, de los cuales el 10% y 20%, respectivamente, tienen más de 30 años de antigüedad.

“La longevidad de estos vehículos se ve reflejada en las emisiones de gases contaminantes, pues a pesar de solo representar el 4% del parque automotor, fueron los directos responsable en emitir el 64% del material particulado. “(Vanguardia,R. 2018)

- **Año 2017**

Para este año durante la década de monitoreo se puede corroborar que ninguno de los registros excedió el límite permisible establecido de 100  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para 2017 aunque cabe mencionar que para ese año se fijó la nueva y actual resolución vigente 2254 que ya modifica el limite permisible anual a 75  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ .

Por otro lado, de acuerdo a CDMB (2018) para ese año lamentablemente también siguió contándose con datos escasos y precarios pues prácticamente durante todo este periodo solo dos estaciones funcionaron, aunque no a su máximo nivel las cuales fueron la de

Cabecera y la de Ciudadela, cabe resaltar que hubo una tendencia a mayores concentraciones principalmente por la alta aglomeración de vehículos por varias adecuaciones en las vías de la carrera 33 con calle 52, alrededor de las 7:00 a.m., los miércoles y jueves principalmente en el primer semestre.

Además, Ardila (2017) señaló que durante este año siguió en alta la tendencia de el aumento en el parque automotor particular en el área metropolitana (motos y carros), lo que tiene una incidencia directa en la disminución de la calidad del aire, el aumento de la congestión y del grado de exposición a accidentes de tránsito.

- **Año 2018**

Durante 2018 sólo hubo datos del promedio anual de material particulado, PM10 en las estaciones Ciudadela y Cabecera, lo que a estas alturas del análisis de datos representativos y según los informes para ese año de la CDMB (2018) denoto claramente que la tendencia desde el 2014 es que Bucaramanga y su área Metropolitana no conto eficientemente con estaciones de medición suficientes y en las que estuvieron trabajando no se tomaron las lecturas por mal funcionamiento o falta de mantenimiento apropiado.

No obstante, para este año durante la década de monitoreo se puede corroborar que un promedio mensual en las estaciones relevantes excedió el límite permisible establecido  $75 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para ese año.

Para este periodo el área metropolitana después de hacer estudios comparativos basándose en las emisiones generadas en el día sin carro identifico que el 90% de las emisiones que se presentan son por el sector automotor y un 10% por el sector industrial.

“El estudio asegura que las motos son las que más aportaron en dicho año a la contaminación de Bucaramanga con un 65,16% de participación, seguido de los vehículos particulares con un 27,08%.” (TRO, R. N. , 2018).

- **Año 2019**

Para este año durante la década de monitoreo se puede corroborar que ningún promedio mensual en las estaciones relevantes excedió el límite permisible establecido de 75  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  según la resolución vigente establecida para ese año.

Según la CDMB (2019) y sus informes anuales el 2019 no fue la excepción con respecto a la ineficiente cantidad y calidad de datos de registros de material particulado en especial de una de las zonas más críticas del área como es la de Cabecera puesto que por fallas de funcionamiento solo pudo trabajar a una capacidad del 50 %.

Sin embargo, Horta (2019) indicó que según los análisis y estudios desarrollados en el 2019 los índices de MP10 generaron rangos bastante preocupantes en varios periodos del año entre las razones esta en primer lugar, el aumento incontrolado del parque automotor especialmente las motocicletas, pues el 67 % de 41.574 motocicletas que hay en Bucaramanga y su área metropolitana, no hacen revisión técnico mecánica.

A lo largo de este año se estuvieron haciendo operativos en los cuatros municipios del área metropolitana, en las cuales primordialmente se midió y evaluó

“el parque automotor público colectivo y masivo mostrando que de las pruebas que se han hecho, alrededor de un 30% a un 35% de los vehículos incumplen con los límites establecidos.” (Alvarez, 2019).

Otras causas que influyen en el comportamiento del PM10 son:

Factores meteorológicos

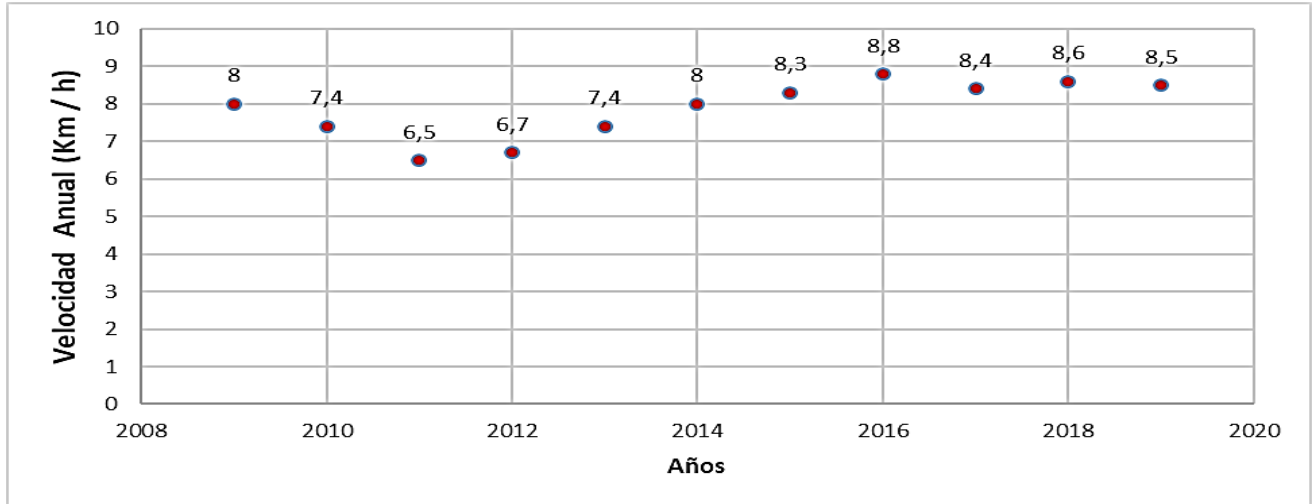
De acuerdo con los datos de PM10 registrados en Bucaramanga y su área metropolitana, los mayores niveles se registraron durante el primer trimestre cada año. Según Vargas (2018) estos periodos coinciden con las temporadas secas lo que propicia un ambiente donde las partículas de PM10 se mantiene suspendidas en la atmosfera, por el contrario en periodos con presencia de precipitaciones la lluvia hace que se genere un ambiente de disolución de los gases y de la intensidad del aire lo que genera una acción que facilita la dispersión de los agentes nocivos incluyendo el material particulado por el entorno disminuyendo su incidencia en los niveles de contaminación

De acuerdo a CDMB (2005) las temporadas secas ocurridas en los primeros trimestres anuales se explican por el fenómeno climatológico general que ocurre en Bucaramanga ya que esta ciudad está bajo la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI) la cual por fenómenos de convergencia y convección origina fuertes precipitaciones que corresponde al inicio de la estación de lluvias desde mediados de abril hasta noviembre.

Con lo anterior se puede diferir que el periodo seco sin presencia de precipitaciones inicia desde diciembre hasta marzo dada la influencia del anticiclón del Atlántico y su alta presión que se origina sobre el norte de Colombia, estableciendo de esta manera las dos grandes y únicas épocas climáticas del año que son la estación húmeda que se conoce como invierno y la estación seca que se conoce como verano. A continuación, se presentan la figura 11 y figura 12 que indican durante cuantos días hubo presencia de lluvias año tras año la velocidad media anual en la década de estudio en la ciudad de Bucaramanga.

**Figura 11.**

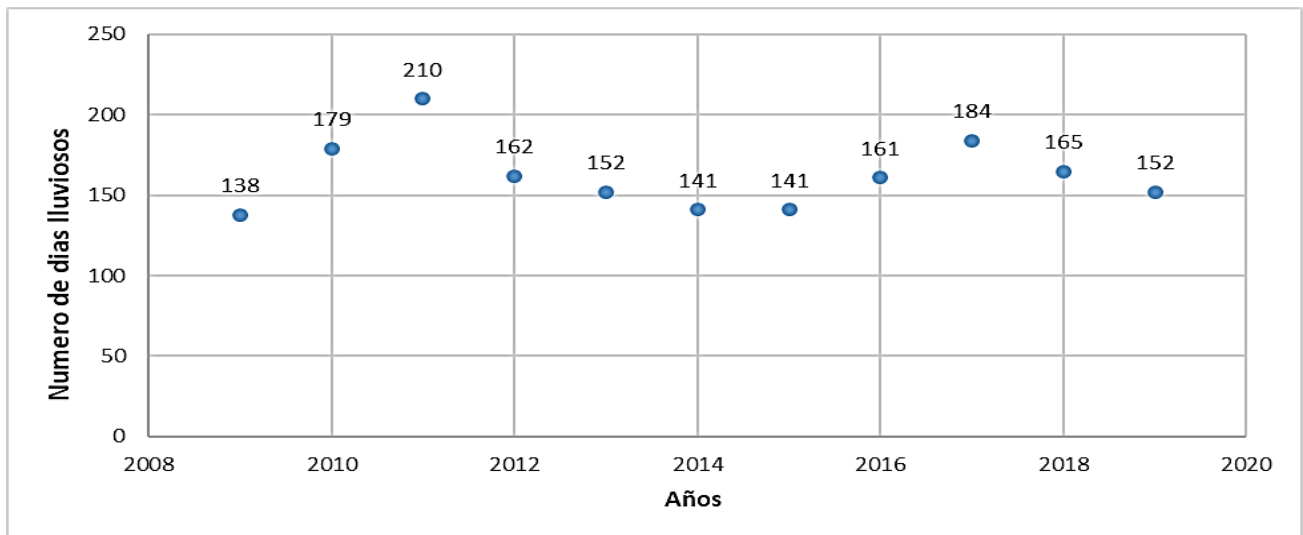
*Velocidad media anual de viento en Bucaramanga de 2009 a 2019.*



Fuente: Adaptado de tiempo.net (2021).

**Figura 12.**

*Conteo de días con presencia de lluvias en Bucaramanga de 2009 a 2019.*



Fuente: Adaptado de tiempo.net (2021).

Con los datos proporcionados en la figura 10 se puede notar que en el segundo semestre hubo una mayor velocidad en la corriente del viento que influye en los niveles de contaminación en la ciudad de Bucaramanga y se puede corroborar notando los valores en las tablas 5,6,7 y 8

puesto que los promedios del segundo semestre tienden a ser menores sobre todo en los meses octubre, noviembre y diciembre comparados con los promedios del primer semestre en todas las estaciones relevantes. Este fenómeno se desarrolla principalmente por que

“el viento si sopla con más rapidez, las corrientes de aire diseminan los agentes de polución registrados en una masa de aire superior y su incidencia negativa es inferior” (Eltiempo.es,2017).

La figura 11 evidencia como solamente para el año 2010 y 2017 los días totales con precipitaciones fueron más de la mitad de los días totales del periodo anual lo cual demuestra como en la ciudad hubo por consistente mayoría más días secos año tras año.

Los años con menor presencia de precipitaciones fueron los años 2009,2014,2015 y 2013 respectivamente sin embargo de esos años solo los dos últimos mostraron valores que permanentemente sobrepasaron o estuvieron a punto de sobrepasar los límites permisibles vigentes en esos periodos ya que los dos primeros se caracterizaron por tener promedios que describieron un compartimiento estable sin llegar a niveles preocupantes de contaminación por material particulado.

### **Exposición de estrategias de mitigación**

A continuación, se presentan algunas estrategias para mitigar el fenómeno de contaminación originado por las concentraciones de material particulado en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana.

- Controladores obligatorios por la dirección de tránsito periódicos a cada vehículo de la flota de transporte público intermunicipal que supere los 10 años desde su fabricación.
- Incentivos estatales a empresas con flota vehicular para que puedan reemplazar vehículos que sobrepasaron su vida útil por nuevas flotas que tengan sistemas de combustión menos contaminantes o adquisición de vehículos con tecnologías de transporte alternativas, que sustituyan parcial o totalmente los combustibles tradicionales.
- Motivar la constitución en las empresas de un programa de transporte compartido para los empleados de la organización.
- Fomentación en el uso de transportes no generadores de emisiones con las respectivas adecuaciones en las vías de todos los municipios.
- Reforzar las medidas obligatorias de restricción vehicular en diferentes zonas concurridas de la ciudad.

### Conclusiones

- Los años 2010 y 2011 fueron los que la mayor recolección de registros veraces y verídicos generando el análisis de datos más confiable, mientras que El 2015 y el 2019 fueron los años con el reporte de registros más deficientes donde en el primero nunca hubo ninguna estación que funcionara apropiadamente a lo largo del periodo y donde el segundo solo conto con una estación oficial de monitoreo funcionando lo largo del periodo.
- La estación relevante con mayor nivel de consistencia y eficacia en el registro de datos fue la estación de Ciudadela que fue la única que siempre mostro al menos una lectura mensual en todos los años del estudio y la de menor fue el Centro ya que a partir del 2013 no reporto más datos válidos.
- Basado en las estaciones relevantes durante la década analizada en un 5,6 % del tiempo el área metropolitana reporto índices de contaminación por PM10 que excedieron el limite permisible actual de 75  $\mu\text{g PM10/m}^3$ .
- El registro más alto en el reporte de todas las estaciones en toda la década fue 130,03  $\text{PM10/m}^3$  en estación Cabecera y el más bajo fue de 23,48  $\text{PM10/m}^3$  es estación Florida.
- El mes con mayor promedio de contaminación por material particulado durante la década fue febrero el cual oscilo de 52,51 a 70,93  $\mu\text{g PM10 /m}^3$  mientras que el mes con menor promedio de contaminación fue octubre el cual oscilo de 39,01 a 50,16  $\mu\text{g PM10 /m}^3$
- El segundo trimestre en general de todos los años en la década fue el que reporto mayor dispersión de datos siendo junio con un rango de desviación de 6,25 a 40,04 y



abril con un rango de desviación de 20,80 a 54,27, los meses que más aportaron a esta tendencia. Por otro lado, el cuarto trimestre en general de todos los años en la década fue el que reporto menor dispersión de datos y por ende un comportamiento más estable siendo diciembre con un rasgo de desviación de 11,30 a 19,28 y octubre con un rango de desviación de 9,96 a 19,90, los meses que más aportaron a esta tendencia.

- El 2013 fue el año que más altos niveles de contaminación registro con mayor frecuencia en un rango de 32,08 a 109,06.
- Los años 2013 y 2015 fueron los únicos años que reportaron 9 y 2 registros de promedios respectivamente que incumplieron con el limite permisible vigente en dicha época el cual era de 100  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ .
- De acuerdo a las referencias bibliográficas de la CDMB el mayor contribuyente a el aumento de los niveles de material particulado en la fuente antropogénica de emisiones móviles y de acuerdo a los estudios de la Dirección de tránsito de Bucaramanga (DTB) el mayor fenómeno que incrementa la contaminación generada por las fuentes móviles es el crecimiento porcentual anual del parque automotor en el área metropolitana.
- De acuerdo a la CDMB, Bucaramanga presentó épocas secas en el primer trimestre año tras año, hecho que condiciono este periodo con más altos niveles de PM10
- Se evidencio la necesidad de mejorar la gestión por parte de los entes ambientales gubernamentales en la reparación y mantenimiento de la red de monitoreo de la calidad de aire pues se evidencio una carencia del 70 % de las lecturas del estudio que impacta negativamente la veracidad de los resultados.

## **Recomendaciones**

Se dieron las siguientes recomendaciones correspondientes al desarrollo de este reporte:

- Controles obligatorios a la flota de transporte público intermunicipal que supere los 10 años desde su manufacturación por parte de la dirección de tránsito.
- Priorizar en la supervisión por parte de los entes gubernamentales encargados del monitoreo de las emisiones de material particulado.
- Gestionar la obtención de recursos para una adecuada inversión periódica en mantenimientos y adecuaciones en las estaciones físicas de monitoreo de toda el área metropolitana.
- Establecer mecanismos participativos para la Comunidad Bumanguesa, donde los entes gubernamentales ambientales encargados puedan brindar información asertiva y veraz acerca de la calidad de aire actual que se respira en la ciudad.
- Promover y fortalecer los procesos de recolección de información certificada acerca de las fuentes que generan emisiones contaminantes por parte de los diferentes medios de información primarios de la ciudad.
- Incentivar la identificación y promulgación clara sobre las medidas que cada ciudadano puede hacer para ayudar a la mitigación de la contaminación atmosférica por parte de las autoridades ambientales, definiendo eficientemente funciones y competencias en cada nivel de gestión.

## Bibliografía

Agudelo, L. Cataño, P. Florez, H.(2017)*oppcm.com*

<http://oppcm.concejodemedellin.gov.co/sites/oppcm/files/2019-08/calidad-del-aire-2017.pdf>

Alvarez, D. P. (22 de octubre de 2019). *Denuncian contaminación producida por un bus 'chimenea' en las calles de Bucaramanga.* <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/vigilante-ciudadano/denuncian-contaminacion-producida-por-un-bus-chimenea-en-las-calles-de-bucaramanga-KI1578905>.

AMB. (2015). *Area Metropolitana de Bucaramanga. Plan integral de desarrollo metropolitano 2026:* [https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/PlanIntegralDeDesarrolloMetropolitano\\_AMB\\_2016-2026.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/PlanIntegralDeDesarrolloMetropolitano_AMB_2016-2026.pdf)

AMB, .. A. (2013). *Plan Integral de Desarrollo Metropolitano 2026.* [https://unhabitat.org/sites/default/files/download-managerfiles/PlanIntegralDeDesarrolloMetropolitano\\_AMB\\_2016-2026.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/download-managerfiles/PlanIntegralDeDesarrolloMetropolitano_AMB_2016-2026.pdf)

Ambiente, M. (2012). *Normatividad aire.* [Tabla 1]: [www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones](http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones)

Ambiente, M. d. (1995 de Junio de 5). *Decreto 948.* [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec\\_0948\\_1995.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf)

Arango, V. R. (noviembre de 2013). *Evolución de la normatividad ambiental colombiana en función de las tendencias mundiales de desarrollo sostenible .*

[https://www.researchgate.net/publication/281526157\\_evolucion\\_de\\_la\\_normativa\\_ambiental\\_colombiana\\_en\\_funcion\\_de\\_las\\_tendencias\\_mundiales\\_de\\_desarrollo\\_sostenible](https://www.researchgate.net/publication/281526157_evolucion_de_la_normativa_ambiental_colombiana_en_funcion_de_las_tendencias_mundiales_de_desarrollo_sostenible)

Ardila, E. (01 de mayo de 2013). *Circulan buses destartalados, peligrosos y contaminantes*. Vanguardia.com:

<https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/circulan-buses-destartalados-peligrosos-y-contaminantes-PYVL206328>

Ardila, E. K. (10 de Julio de 2016). *Preocupa la falta de control de los niveles de contaminación*. Vanguardia.com : <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/preocupa-la-falta-de-control-de-los-niveles-de-contaminacion-DGVL365152>

Ardila, E. K. (13 de octubre de 2017). *Ardila Euclides Kilo*. Movilidad vehicular no avanza en el área metropolitana de Bucaramanga: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/movilidad-vehicular-no-avanza-en-el-area-metropolitana-de-bucaramanga-GGVL412477>

Arias, J. (12 de marzo de 2020). *Vanguardia. Com*. Atento: Así afecta a su salud el deterioro en la calidad del aire de Bucaramanga: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/atento-asi-afecta-a-su-salud-el-deterioro-en-la-calidad-del-aire-de-bucaramanga-eb2131024>

Barragan, K. (29 de agosto de 2016). *Deterioro en la calidad del aire estaría llevando a problemas de salud en Bucaramanga*. Periodico15.com: <https://www.periodico15.com/deterioro-la-calidad-del-aire-estaria-llevando-problemas-salud-bucaramanga/>

Bioparque, C. (2019). *Portal Legal Ambiental De Colombia*. Recurso Aire: <https://www.catorce6.com/normas-ambientales-vigentes/recurso-aire>

Bioparque, C. (2019). *Portal legal ambiental de Colombia* . de [Figura 5]:

<https://www.catorce6.com/normas-ambientales-vigentes/recurso-aire>

CDMB. (Junio de 2005). *Documento de Diagnóstico de Amenazas de inundación y erosión del río de oro* .<https://www.erosion.com.co/presentaciones/category/18-deslizamiento-e-inundacion-en-giron-santander.html?download=223:222-tomo2-informe-ejecutivo-meteorologiaehidrologia>

CDMB. (diciembre de 2009). *Informe Anual Calidad de aire 2009*.  
[http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Informe\\_IBUCA\\_2009.pdf](http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Informe_IBUCA_2009.pdf)

CDMB. (Diciembre de 2010). *Informe anual del estado de los recursos naturales de 2010*.<http://www.cdm.gov.co/web/documentos/calidad-ambiental-1/611-informe-recursos-naturales-2010-1/file>

CDMB. (Diciembre de 2011). *Informe anual del estado de los recursos naturales de 2011*. <http://www.cdm.gov.co/web/documentos/calidad-ambiental-1/762-informe-anual-del-estado-de-los-recursos-naturales-a-dic2011-1/file>

CDMB. (Diciembre de 2012). *Informe anual calidad de aire 2012*

<http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Informe%20dic%202012.pdf>

CDMB. (2014). *Informe anual de calidad de aire 2014*.  
<http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Infome%20RED%20Enero-Marzo%202014.pdf>

CDMB. (2014). *Informe anual de calidad de aire para el 2014*. [Fotografía Satelital]  
[Figura 6]: <http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Infome%20RED%20Enero-Marzo%202014.pdf>

CDMB. (2015). *Informe anual de calidad de aire 2015*.  
<http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/INFORME%20TERCER%20TRIMESTRE%202015.pdf>

CDMB. (Febrero de 2018). *Informe de estado de recursos . naturales 2017*:  
<http://www.cdm.gov.co/web/images/Documentacion/gestion-institucional/calidad-ambiental/INFORME%20RECURSOS%20NATURALES%202017.pdf>

CDMB. (Diciembre de 2019). *Informe de calidad de aire del tercer semestre 2019*.  
<http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Informe%20de%20calidad%20del%20aire%202019%203er%20Trimestre.pdf>

CDMB. (Diciembre de 2019). *Informe de calidad de aire del tercer semestre de 2019*.de  
 [Tabla4]:<http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Informe%20de%20calidad%20del%20aire%202019%203er%20Trimestre.pdf>

CDMB. (2020). *Repositorio de Archivos*.  
<http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/archivos.html>

CDMB, s. d. (Febrero de 2011). *INFORME DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES AÑO.*:<http://www.cdm.gov.co/web/documentos/calidad-ambiental-1/611-informe-recursos-naturales-2010-1/file>

Chio, J. C. (05 de septiembre de 2012). *Calidad del aire sigue siendo regular: Cdm*.  
 Vanguardia Liberal.com: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/calidad-del-aire-sigue-siendo-regular-cdm-PDVL172863>

Chow, J. W. (1998). *Guidline on speciated particulate monitoring. Office of Air Quality Planning and Standars EPA.* de [Figura 2]:

<https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/spec/drispec.pdf>

de, C. S. (2014). *Informe anaul de calidad de aire de 2014.*

<http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Informe%202014.pdf>

Colprensa. (14 de Febrero de 2018). *ElPais.com.co.*

<https://www.elpais.com.co/colombia/la-contaminacion-del-aire-es-el-mayor-problema-ambiental-en-colombia-encuesta.html>

ElTiempo.es. (28 de Enero de 2018). *noticias.eltiempo.es.*

<https://noticias.eltiempo.es/como-influye-el-viento-en-la-contaminacion/#:~:text=Las%20corrientes%20de%20aire%20son%20cruciales%20para%20la%20contaminaci%C3%B3n.&text=En%20una%20zona%20de%20calma,su%20incidencia%20negativa%20es%20inferior.>

EPA, A. d. (Junio de 2018). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente.* <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>

Euskal. (2018). *Calidad Ambiental Definiciones.* Instituto vasco de estadística Estatistika Erakundea: [https://www.eustat.eus/documentos/opt\\_0/tema\\_453/elem\\_13172/definicion.html](https://www.eustat.eus/documentos/opt_0/tema_453/elem_13172/definicion.html)

Fernandez, L. (Julio de 2005). *dialnet.unirioja.es.* <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/5062937.pdf>

Gamboa, S. (15 de enero de 2015). *Vehículos que contaminan en Bucaramanga están en la mira de las autoridades.* [vanguardia.com:https://www.vanguardia.com/area-](https://www.vanguardia.com/area-)

[metropolitana/bucaramanga/vehiculos-que-contaminan-en-bucaramanga-estan-en-la-mira-de-las-autoridades-GRVL295003](http://metropolitana/bucaramanga/vehiculos-que-contaminan-en-bucaramanga-estan-en-la-mira-de-las-autoridades-GRVL295003)

Gomez, M. (2013). *Exposición laboral a material particulado y nanopartículas y su incidencia en el trabajador*. <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2013/exposicion-laboral-material-particulado-nanopartículas-su-incidencia-en-salud-trabajador>

Horta, L. (06 de junio de 2019). ElEspectador.com Alternativas para mejorar la calidad del aire en el área metropolitana de Bucaramanga: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/alternativas-para-mejorar-la-calidad-del-aire-en-el-area-metropolitana-de-bucaramanga/>

Jimenez, A. T. (marzo de 2012). *Guidance for collection of inhalable and respirable ni dust*. de [Figura2]:

[https://www.nickelconsortia.eu/assets/files/library/Guidances/IOM%20Report%201\\_inhalation%20and%20respirably%20monitoring%20guidance%20for%20Ni\\_March%202012.pdf](https://www.nickelconsortia.eu/assets/files/library/Guidances/IOM%20Report%201_inhalation%20and%20respirably%20monitoring%20guidance%20for%20Ni_March%202012.pdf)

Liden, G. (2006). Analytical Performance Criteria, The Need for an International Sampling Convention for inhalable Dust in Calm Air, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 3: D94–D101. <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2013/exposicion-laboral-material-particulado-nanopartículas-su-incidencia-en-salud-trabajador>.

Lillo, J. (2020). *ucm.es*. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf>

Martinez, R. (2010). *Revista del observatorio de la salud publica de Santander*. De [Tabla 3]: [http://web.observatorio.co/publicaciones/Revista\\_Salud\\_Ambiental\\_completa.pdf](http://web.observatorio.co/publicaciones/Revista_Salud_Ambiental_completa.pdf)



Martínez, R. G. (2010). *Revista del observatorio de la salud publica de Santander*.  
[http://web.observatorio.co/publicaciones/Revista\\_Salud\\_Ambiental\\_completa.pdf](http://web.observatorio.co/publicaciones/Revista_Salud_Ambiental_completa.pdf)

MiniAmbiente. (Junio de 1995). *Decreto 948*.  
[https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec\\_0948\\_1995.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf)

MiniAmbiente. (2010). *Documento Tecnico de soporte calidad de Aire*.  
[www.andi.com.co/Uploads/Documento%20tecnico%20de%20soporte%20Agosto%20V5%20Final.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Documento%20tecnico%20de%20soporte%20Agosto%20V5%20Final.pdf).

MiniAmbiente. (2017). *Normatividad de aire*. De [Tabla 2]:  
[www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones](http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones)

MiniAmbiente, M. d. (2010).  
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones>

MiniAmbiente, M. d. (2010). *DOCUMENTO TECNICO DE SOPORTE CALIDAD DE AIRE*.  
<http://www.andi.com.co/Uploads/Documento%20tecnico%20de%20soporte%20Agosto%20V5%20Final.pdf>

MiniAmbiente, M. d. (2012). *MinAmbiente*.  
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones>

MiniAmbiente, M. d. (2017).  
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones>

Ministerio Ambiente, v. y. (Octubre de 2010). *PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA*.  
[https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion\\_atmosferica/Protocolo\\_Calidad\\_del\\_Aire\\_-\\_Manual\\_Dise%C3%B1o.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Dise%C3%B1o.pdf)

OPS. (2020). *paho.org*. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

Radio, R. B. (17 de Febrero de 2020). *BluRadio.com*.

<https://www.bluradio.com/nacion/aumenta-deterioro-del-aire-en-el-area-metropolitana-de-bucaramanga>.

Redacción TRO, N. (27 de abril de 2018). *Noticias.Canaltro.com*. Área Metropolitana de Bucaramanga y UPB medellín realizarán un diagnóstico de la ciudad, para identificar las principales causas de la contaminación: <https://noticias.canaltro.com/analizaran-principales-causas-de-contaminacion-en-el-area-metropolitana-de-bucaramanga/>

Rodriguez, J. (15 de Abril de 2013). *Ciudadela Real de Minas, uno de los sectores con mayor contaminación en el aire*. <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/ciudadela-real-de-minas-uno-de-los-sectores-con-mayor-contaminacion-en-el-aire-DYVL204214>

Rueda, E. A. (09 de Junio de 2009). *Estas son las 10 áreas más contaminadas de la ciudad*. Vanguardia.com:

<https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/estas-son-las-10-areas-mas-contaminadas-de-la-ciudad-NEVL30395>

Sánchez, N. J. (23 de Julio de 2013).

<http://versionantigua.bucaramanga.gov.co/>.

<http://versionantigua.bucaramanga.gov.co/Prensa/post/2013/07/23/En-promedio-109-motos-mas-ingresan-cada-dia-al-parque-automotor-y-ocupan-la.aspx>

Suarez, R. (15 de febrero de 2019). El tiempo.com:  
<https://www.eltiempo.com/salud/muertes-causadas-por-la-contaminacion-en-colombia-317364>

tiempo, R. B. (29 de Enero de 2012). *La calidad del aire que se respira en Bucaramanga es regular*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-11024524>

Vanguardia, R. (26 de abril de 2018). *¿Quiénes son los que más contaminan en Bucaramanga?* Vanguardia.com: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/quienes-son-los-que-mas-contaminan-en-bucaramanga-FEv1431370>

Vargas, J. (27 de Octubre de 2018). *¿Por qué la lluvia elimina la contaminación?*  
Obtenido de <https://www.clima.com/noticias/por-que-la-lluvia-elimina-la-contaminacion>

Viana, R. M. (2003). Niveles de Composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores norte y este de la Península Ibérica y Canarias.De [Figura 1]:  
<https://digital.csic.es/handle/10261/27476>

## Apéndices

Apéndice A. Tabulación de los datos de concentraciones de PM10, obtenidos de los informes anuales de calidad de aire de CDMB.

En el siguiente hipervínculo se encuentran el apéndice A mencionado.

<https://drive.google.com/file/d/1KVk1MaviVtkFvCF4qVQE4JQkM7NRmvTZ/view?usp=sharing>