



Informe de Calidad del

Aire

Primer Trimestre de 2020



Dr. JUAN CARLOS REYES NOVA

Director General

Ing. Esp. LEONEL ENRIQUE ROA

Subdirector de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio

Ing. Esp. MARIA CARMENZA VICINI MARTINEZ

Coordinadora Gestión del Conocimiento e Investigación Ambiental

Ing. JOHANNA PATRICIA ARDILA LERMA

Profesional Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire

Bucaramanga, Abril de 2020

Tabla de contenido

Introducción.....	4
Objetivos	6
1. Conceptos para entender la Contaminación del Aire.....	7
1.1. ¿Qué es la contaminación del aire?.....	7
1.2. Los contaminantes criterios y sus efectos.....	8
1.2.1. Material particulado	8
1.2.2. Monóxido de carbono	10
1.2.3. Dióxido de Azufre	11
1.2.4. Dióxido de Nitrógeno	11
1.2.5. Ozono	12
1.3. La meteorológica en la eliminación de contaminantes	13
1.4. Emisiones Atmosféricas en Bucaramanga y su Área Metropolitana	14
1.4.1. Fuentes Fijas	15
1.4.2. Fuentes Móviles.....	17
1.5. Reglamentación Colombiana.....	21
1.5.1. Resolución 2254 de 2017	21
2. Análisis del Monitoreo de los Contaminantes Criterio.....	24
2.1. Resultados del Monitoreo de la CDMB	24
2.1.1. Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de la CDMB	24
2.1.2. Mediciones de PM10.....	25
2.1.3. Medición de Ozono	27
2.1.4. Resultados meteorológicos.....	27
2.2. Resultados del Monitoreo del AMB	32
2.2.1. Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire del AMB	32
2.2.2. Mediciones de PM 2.5 y PM10	33
2.2.3. Mediciones de O ₃ y NO ₂	37
2.2.4. Mediciones Meteorológicas.....	38
2.3. Índice de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Bucaramanga....	44
3. Causas de la Contaminación en el Área Metropolitana de Bucaramanga	45
Conclusiones.....	49
Referencias	51

Introducción

En años anteriores se ha evidenciado que para el primer trimestre de cada año se presenta un aumento en las concentraciones de los contaminantes criterios y que este efecto se le atribuye al predominante tiempo seco que se da desde principio de febrero hasta mediados de marzo, y no solo en Bucaramanga si no en todo el país. Para el año 2020 se vivió tal situación; sin embargo a esta se le sumó una situación no esperada y fue dañinos niveles de concentración de material particulado en el mes de marzo. El presente informe pretende primero observar el comportamiento de los contaminantes criterios medidos por la CDMB y el AMB durante el primer trimestre del 2020 y segundo determinar cuáles fueron las causas del incremento de material particulado en el mes de marzo.

La información analizada fue generada por el Sistema de Calidad del Aire de la CDMB y del Área Metropolitana de Bucaramanga, para un total de ocho estaciones en el área metropolitana de Bucaramanga, los contaminantes monitoreados y registrados fueron PM10, PM2.5, Ozono y Dióxido de Nitrógeno, así como las variables meteorológicas temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento.

El análisis de esta información de calidad del aire permitió determinar que en enero y febrero respiramos un aire *aceptable*, pero en marzo un aire *dañino para la salud* de la población en general, sin embargo los registros meteorológicos muestran que las condiciones atmosféricas del mes de marzo fueron buenas para haber tenido una calidad del aire igual o mejor que en enero y febrero por presentar más precipitaciones y sumado a ello, las medidas de aislamiento a causa de la emergencia sanitaria por COVID19 y la restricción de movilidad a las fuentes móviles impuesto por el pico y placa ambiental en Bucaramanga. Dichas medidas se vieron reflejadas en la disminución del contaminante dióxido de nitrógeno.

La calidad del aire del mes de marzo fue afectada por material particulado, y una vez evaluado el origen de la contaminación, se determinó que ha sido causada por los incendios forestales, y es que en Colombia aumentó el 110% de puntos calientes en comparación con el mismo mes del año 2019, localizados sobre todo

en el norte del país, el Magdalena Medio y en los Llanos Orientales, mientras la situación de Santander fue peor al aumentar un 130%.

Del análisis del viento que es esencial en el transporte y la dilución de los contaminantes, fue encontrado que en el área metropolitana de Bucaramanga, predomina el viento con velocidades de hasta 1.8 m/s y que proveniente de todas las direcciones, mientras los vientos con velocidades entre 1.8 m/s y 4.5 m/s provienen del cuadrante noroeste. Y es esta última dirección donde, según el mapa de puntos de calor de Santander de marzo se dieron más de 600 puntos de los 994 en total.

Por su parte el IDEAM realizó análisis con datos de tres de sus estaciones climatológicas automáticas ubicadas en Bucaramanga, Floridablanca y Girón con el fin de dar respuesta a la permanencia de la contaminación en la atmósfera del área metropolitana de Bucaramanga para la ventana del 14 y 27 de marzo, identificando que por el comportamiento de la dirección del viento hay una recirculación del aire, evitando el transporte de la contaminación hacia otros lugares, además del comportamiento promedio del viento (movimiento vertical), generado con datos a nivel de 850 hPa, que para la zona de Santander se encontró una condición divergente *“en niveles bajos de la atmósfera está asociado con movimientos descendentes del aire, lo que inhibe movimientos verticales de la atmósfera, haciéndola más estable y favoreciendo presencia de fenómenos como niebla y brumas reduciendo la visibilidad dependiendo el grado de polvo y/o contaminantes presentes en la atmósfera”*.

Para cumplir los objetivos del presente informe, se divide principalmente en tres secciones, la primera presenta los conceptos para entender la contaminación del aire, en la segunda se desarrolla los análisis de los monitoreos de la CDMB y el AMB y cálculo del índice de calidad del aire y la tercera aborda las causas de la Contaminación en el Área Metropolitana de Bucaramanga en el mes de marzo.

Objetivos

Generar información acerca del estado de calidad del aire del área metropolitana de Bucaramanga para el primer trimestre de 2020, con el fin de tener información que permita la gestión del recurso aire a partir de:

1. Determinar el cumplimiento al nivel máximo permitido para los contaminantes criterios PM10, PM2.5, Ozono y Dióxido de Nitrógeno, establecido en la norma de calidad del aire, Resolución 2254 de 2017.
2. Observar el comportamiento de los contaminantes criterios monitoreados teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, relacionando el efecto de estas variables con el aumento y disminución de las concentraciones.
3. Calcular el índice de calidad del aire en el área metropolitana de Bucaramanga durante el primer trimestre del 2020.
4. Establecer las causas el episodio de contaminación dañina para la salud en el mes de marzo generada por el material particulado inferior a 2.5 micrómetros.

1. Conceptos para entender la Contaminación del Aire

1.1. ¿Qué es la contaminación del aire?

Determinar la composición del aire no contaminado es casi imposible, toda vez que los seres humanos han vivido en el planeta durante miles de años y sus numerosas actividades han influido en la composición del aire antes de que fuese posible medir los elementos que lo conforman.

Los principales elementos constitutivos del aire son alrededor de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y el 1% restante se compone de gases como el dióxido de carbono, argón, neón, helio, hidrógeno, otros gases y vapor de agua, es decir el aire siempre ha tenido cierto grado de contaminación.

Los fenómenos naturales como la erupción de volcanes, descargas eléctricas en las tormentas, fuertes vientos, descomposición de plantas y animales e incluso los aerosoles emitidos por los océanos "contaminan" el aire. Sin embargo, cuando se habla de la contaminación del aire, los contaminantes son aquéllos generados por la actividad del hombre (antropogénicos). Se puede considerar como contaminante a la sustancia que produce un efecto perjudicial en el ambiente, que pueden alterar tanto la salud como el bienestar de las personas.

Hay cientos de contaminantes en el aire, que se presentan en forma de partículas y gases. El material particulado está compuesto por pequeñas partículas líquidas o sólidas de polvo, humo, niebla y ceniza volátil. Los gases incluyen sustancias como el monóxido de carbono, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles. Dependiendo de su origen los contaminantes también se puede clasificar a como primarios o secundarios.

Contaminante primario es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química, como por ejemplo, la ceniza de la quema de residuos sólidos. Y el contaminante secundario es aquel que

experimenta un cambio químico cuando llega a la atmósfera. Por ejemplo es el ozono que surge de los vapores orgánicos y óxidos de nitrógeno que emite una estación de gasolina o el escape de vehículos de combustión interna. Los vapores orgánicos reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar y producen el ozono.

Los contaminantes del aire también se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio. Los contaminantes criterio se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el ambiente. Para Colombia, según la norma de calidad del aire, la Resolución 2254 de 2017 los contaminantes criterio son:

- Material particulado PM10 y PM2.5
- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Ozono (O₃)

1.2. Los contaminantes criterios y sus efectos

Como anteriormente se mencionó los contaminantes criterios se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos y del ambiente en general. Y fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en Estados Unidos, con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población.

1.2.1. Material particulado

Es una mezcla de partículas sólidas y líquidas encontradas en el aire. Algunas de estas partículas son grandes y oscuras que pueden ser percibidas tales como el hollín y el humo, otras son tan pequeñas que solamente pueden ser detectadas mediante la utilización de un microscopio electrónico y son estas últimas las más peligrosas para el hombre porque tienen mayor probabilidad de ser inhaladas. Por su tamaño hay tres tipos de material particulado:

- Partículas Suspendidas Totales – PST: Son partículas dispersas en el aire que no sedimentan en cortos periodos, si no que permanecen suspendidas debido a su tamaño y densidad.
- Partículas Menores a 10 micras – PM10: Son llamadas también partículas gruesas y tienen un tamaño menor a 10 micrómetros. Aproximadamente 7 veces más pequeñas que el cabello humano.
- Partículas Menores a 2.5 micras – PM2.5: Se denominan partículas finas de menos de 2.5 micrómetros de diámetro, es decir son aproximadamente 20 veces más pequeñas que un cabello humano.

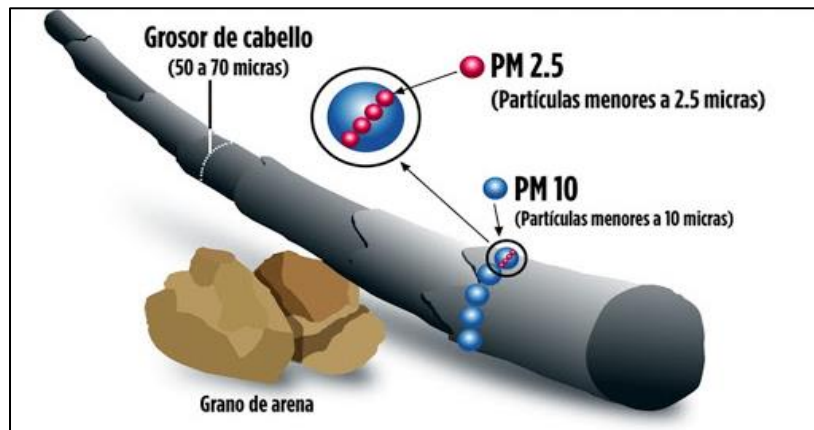
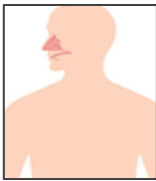


Ilustración 1. Tamaño del Material Particulado¹

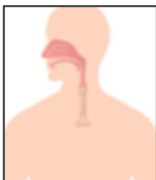
Estas partículas son originadas tanto por fuentes móviles y fijas como por la misma naturaleza. Generalmente emitidas por vehículos de combustión interna, manipulación de materiales de construcción, compactación o remoción de tierra, en obras civiles, trituración de piedras, así como del polvo levantado por el viento, por incendios forestales y por supuesto chimeneas industriales donde se quema madera o el carbón.

El material particulado no es la causa directa de enfermedad o mortalidad respiratoria aguda sino un factor asociado, que en combinación con otros factores producen un aumento de las enfermedades respiratorias, y cuyo riesgo para la persona varía en función de las condiciones fisiológicas, de la edad y de antecedentes de enfermedad cardiorrespiratoria.

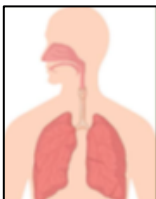
¹ Fuente: <http://pueblobicicleteo.org/respiran-regios-aire-saturado-de-microcontaminantes/>



Fracción Inhalable: son las partículas menores a 100 micras, genera irritación aguda de los ojos y de las vías respiratorias. Conjuntivitis irritativa y abrasiones en la córnea.



Fracción Torácica: son las partículas menores a 10 micras, genera reducción de la capacidad pulmonar y agotamiento respiratorio. Desarrollo de problemas respiratorios y cardiovasculares.



Fracción Respirable: son las partículas menores a 4 micras, puede desarrollar cardiopatías y neuropatías, así como enfermedades crónicas de obstrucción pulmonar. Agravan el asma y se asocian al desarrollo de diabetes.

1.2.2. Monóxido de carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro que en concentraciones altas puede ser letal. En la naturaleza se forma mediante la oxidación del metano, que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. La principal fuente antropogénica de monóxido de carbono es la combustión incompleta de combustibles (gasolina, diésel, gas natural, entre otros) que contienen carbono.

La combustión de solo una proporción de carbón se oxida a monóxido de carbono (CO), mientras que la combustión completa conduce a la formación de dióxido de carbono (CO₂). Para que se complete el proceso de combustión es necesario que haya cantidad adecuada de oxígeno.

La mayor fuente de CO son los vehículos, especialmente en zonas urbanas. El volumen del tránsito y el clima influyen sobre su concentración en el aire. Una manera de reducir la generación es exigir a todos los vehículos que mantengan un adecuado funcionamiento y para ello la utilidad de las revisiones técnico mecánicas y de gases, procedimiento obligatorio para saber si los vehículos poseen buenas condiciones mecánicas y si cumple con las normas de emisiones contaminantes, para poder circular.

Los efectos sobre la salud dependen de la concentración y duración de la exposición, el CO en los seres humanos inhabilita el transporte de oxígeno a las células provocando mareos, dolor de cabeza, náuseas, estados de inconciencia e incluso la muerte.

1.2.3. Dióxido de Azufre

Los óxidos de azufre son gases incoloros que se forman al quemar azufre. El dióxido de azufre (SO₂) es el contaminante criterio que indica la concentración de óxidos de azufre en el aire. La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles, en particular el carbón.

Un ejemplo, al quemar 100 kilos de carbón que contienen 7 kilos de azufre, la emisión producida por la quema contendrá aproximadamente 14 kilos de dióxido de azufre, siete kilos de azufre y siete de oxígeno. El azufre reacciona con el oxígeno en el proceso de combustión para formar dióxido de azufre.

Han encontrado que los óxidos de azufre perjudican el sistema respiratorio, especialmente de las personas que sufren de asma y bronquitis crónica. Los efectos de los óxidos de azufre empeoran cuando el dióxido de azufre se combina con partículas o humedad del aire. Esto se conoce como efecto sinérgico porque la combinación de sustancias produce un efecto mayor que la suma individual del efecto de cada sustancia.

Los óxidos de azufre también son responsables de algunos efectos sobre el ambiente. El de mayor preocupación es la contribución de óxidos de azufre a la formación de lluvia ácida que puede perjudicar lagos, la vida acuática, materiales de construcción y la vida silvestre.

1.2.4. Dióxido de Nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno (comúnmente referidos como NO_x) son un grupo de gases conformado por el nitrógeno y oxígeno. El nitrógeno es el elemento más común del aire y representa 78% del aire que respiramos. Los óxidos de nitrógeno incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NO_x se refiere a la combinación de estas dos sustancias.

Los procesos naturales y los realizados por el hombre producen óxidos de nitrógeno. En una escala global, la emisión natural de óxido de nitrógeno es casi 15 veces mayor que la realizada por el hombre. Las fuentes más comunes de óxidos de nitrógeno en la naturaleza son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos, y la actividad volcánica. Las principales fuentes de emisión antropogénica son los escapes de los vehículos y la quema de combustibles fósiles.

En el proceso de combustión, el nitrógeno en el combustible y aire se oxida para formar óxido nítrico y algo de dióxido de nitrógeno. Los óxidos nítricos emitidos en el aire se convierten en dióxido de nitrógeno mediante reacciones fotoquímicas condicionadas por la luz solar.

El óxido nítrico es relativamente inofensivo, pero el dióxido de nitrógeno puede causar efectos en la salud y bienestar, daña el sistema respiratorio porque es capaz de penetrar las regiones más profundas de los pulmones. Asimismo, contribuye a la formación de lluvia ácida.

1.2.5. Ozono

El ozono es considerado como un contaminante criterio y secundario. Se forma mediante una serie compleja de reacciones en la atmósfera. En términos sencillos, se forma mediante la reacción química del dióxido de nitrógeno (NO_2) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la luz solar.

Las fuentes principales de estos contaminantes son los productos de combustión incompleta que emiten los escapes de los vehículos, la quema de combustibles fósiles y el uso de compuestos de petróleo y solventes orgánicos en procesos industriales y de limpieza.

El ozono es el principal componente del smog fotoquímico o niebla fotoquímica y causa efectos nocivos en seres humanos y plantas. La población de mayor riesgo a la contaminación por ozono son los enfermos y ancianos, así como los neonatos y nonatos. Además, cuando se le compara con los otros contaminantes criterio, es el que más daña a las plantas.

El ozono tiene la singularidad de que es también beneficioso para los seres humanos y otros seres vivientes. Es un componente necesario de la estratosfera, la capa del aire que protege la troposfera, porque sirve para proteger a la tierra de la nociva radiación ultravioleta del sol. Sin embargo, cuando se encuentra en concentraciones altas en la troposfera o capa inferior de la atmósfera, se le considera un contaminante.

1.3. La meteorológica en la eliminación de contaminantes

Son las condiciones meteorológicas los métodos con los que cuenta la atmósfera para eliminar parcial o totalmente la concentración de los contaminantes, los cuales son:

1. La transformación en otras sustancias mediante reacción química o fotoquímica, por ejemplo el ozono.
2. La deposición seca para partículas de diámetro mayor a 100 μm que se precipitan cerca a la fuente. Las de menor diámetro se sedimentarán luego que alcancen dicho tamaño por soldadura con otras partículas.
3. El lavado por lluvia, la nieve o las nubes, que disuelve algunos de los compuestos gaseosos, líquidos o sólidos y los deposita en el suelo. Es el más eficaz, ya que una gota de lluvia barre un cierto volumen.
4. La dispersión o difusión atmosférica, que no es una verdadera eliminación de contaminantes si no que reparte el volumen de los contaminantes en el aire a una mayor área, es decir que fenómenos meteorológicos como el viento (movimiento horizontal) o la estabilidad atmosférica (movimiento vertical) transportan los contaminantes bien sea a zonas próximas a las fuentes de emisión o más alejadas.

Y es el último método es el más cotidiano para la eliminación de los contaminantes ya que los otros son más esporádicos. Sin embargo hay episodios en la atmósfera que modifican las condiciones meteorológicas y como consecuencia afectan la dispersión de los contaminantes y unos de estos son las inversiones térmicas y la variación de la altura de la capa de mezcla.

Para entender qué son las inversiones térmica primero explicaremos cómo es el comportamiento normal de la temperatura del aire en la atmósfera, generalmente la temperatura del aire disminuye con la altura y las masas de aire más cercanas a la superficie terrestre se calientan generando que los gases se expandan y disminuyan su peso por unidad de volumen, es así que al ser más ligeros asciendan a las capas de aire más altas, durante el ascenso se van enfriando progresivamente al tiempo que permiten una buena dispersión vertical de los gases y partículas contaminantes. En condiciones de inversión térmica, las capas de aire más altas son más calientes que las cercanas de la tierra, frenando la dispersión vertical de los contaminantes. Entonces los contaminantes se encuentran confinados bajo una 'capa de inversión' que actúa como un tapón térmico.

Los fenómenos de inversión térmica no provocados por la topografía, se producen principalmente en invierno, en situaciones anticiclónicas o de altas presiones que corresponden con días soleados y sin nubes.

La altura de la capa de mezcla es un parámetro esencial en los estudios de dispersión de la contaminación atmosférica al representar el volumen de aire disponible para la dispersión y transporte de contaminantes vertidos a la atmósfera. Lo que quiere decir que a una mayor altura hay una mejor dispersión de contaminantes; sin embargo esta condición meteorológica no es medida, sino estimada por métodos poco sencillos. No obstante, es evidente que cuando hay episodios de inversión térmica la altura de la capa de mezcla es más baja.

1.4. Emisiones Atmosféricas en Bucaramanga y su Área Metropolitana

En el año 2016 se desarrolló el inventario de emisiones del Área Metropolitana de Bucaramanga² - AMB, en el que se determinaron las fuentes fijas y móviles que emiten contaminación al aire; las fuentes fijas son las estáticas como las industrias y las móviles se desplazan a lo largo y ancho de la ciudad.

² Inventario de Emisiones Atmosféricas, Año Base 2016- Convenio de Asociación No. 195 entre el Área Metropolitana de Bucaramanga y la Universidad Pontificia Bolivariana - Alcance 1 y 2 - Informe Final

1.4.1. Fuentes Fijas

Se determinaron 85 fuentes puntuales de emisión de 72 empresas las cuales se caracterizó por producción, tipo y consumo de combustible, así como frecuencias de operación en las plantas de producción, la ilustración 2 muestra la ubicación de esas 72 empresas en el AMB.

De las 72 empresas, 46 se localizan en Bucaramanga, 17 en Girón, 9 en Floridablanca y por consiguiente ninguna en Piedecuesta, que se distribuyen en 8 sectores de la siguiente manera:

Tabla 1. Distribución por sectores de las fuentes fijas

Sector	No. Empresas	Porcentaje
Bebidas, alimentos y tabaco – BAT	34	47%
Terciario - TER	12	17%
Metalmecánico - MMC	8	11%
Textil y Confección - TXT	8	11%
Derivados del Petróleo - QMC	5	6,9%
Plásticos, Caucho y Empaques -PCE	2	2,8%
Otras Industrias - OTR	2	2,8%
Aserríos y Depósitos de Madera - MAD	1	1,4%

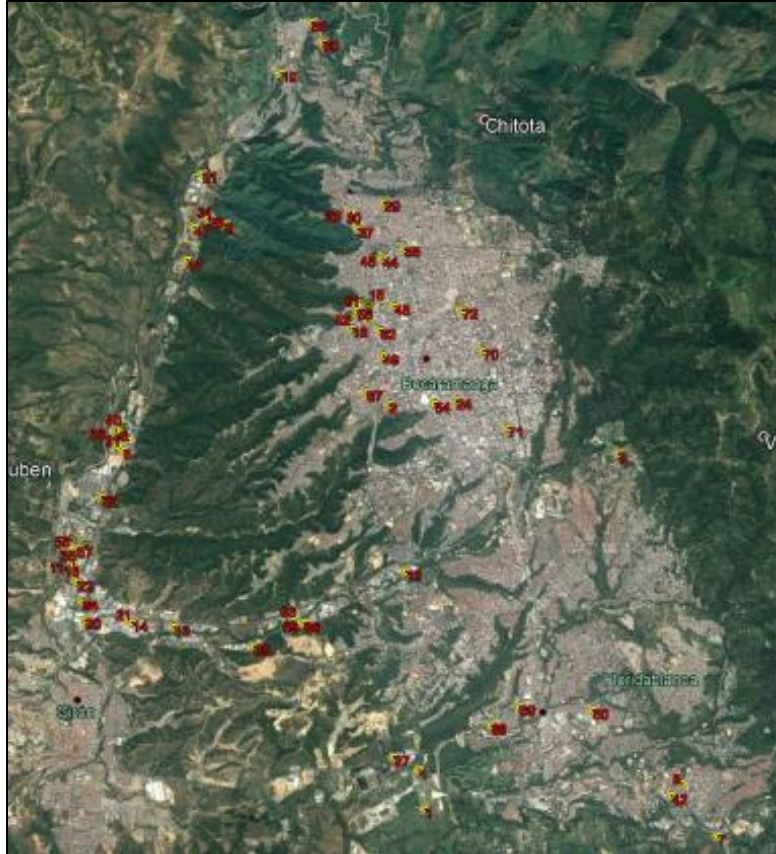


Ilustración 2. Ubicación geográfica de las fuentes fijas - Fuente AMB y UPB

La ilustración 3 muestra que el sector de Bebidas, alimentos y tabaco – BAT aporta más del 99% de los contaminantes atmosféricos del AMB emitidos por las fuentes fijas.

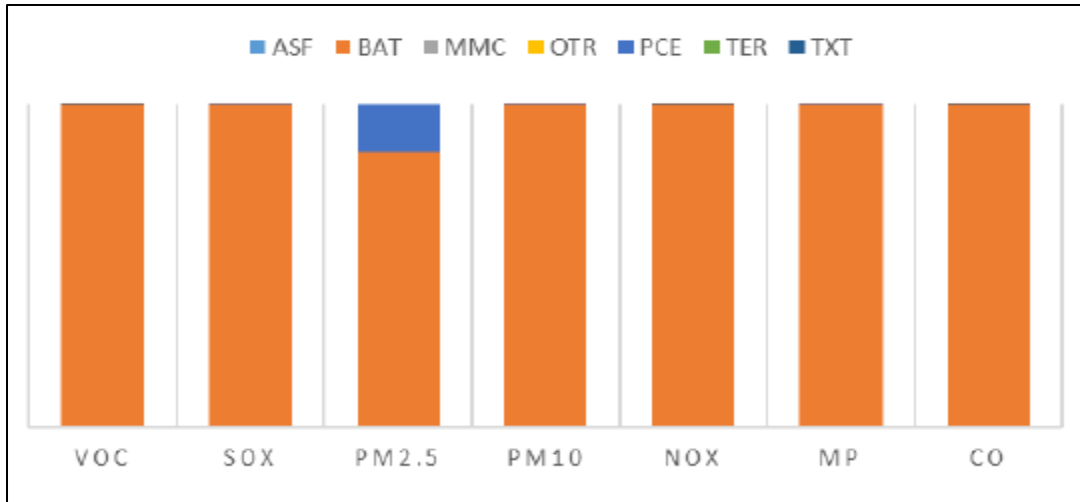


Ilustración 3. Contaminantes emitidos por sector - Fuente AMB y UPB

La ilustración 4 muestra la emisión de contaminantes por cada sector productivo, donde el sector de plásticos y cauchos – PCE aporta aproximadamente el 12% de PM2.5, y el contaminante NOx es la mayor cantidad (4220 Mg al año), seguido del CO (1713,64 Mg).

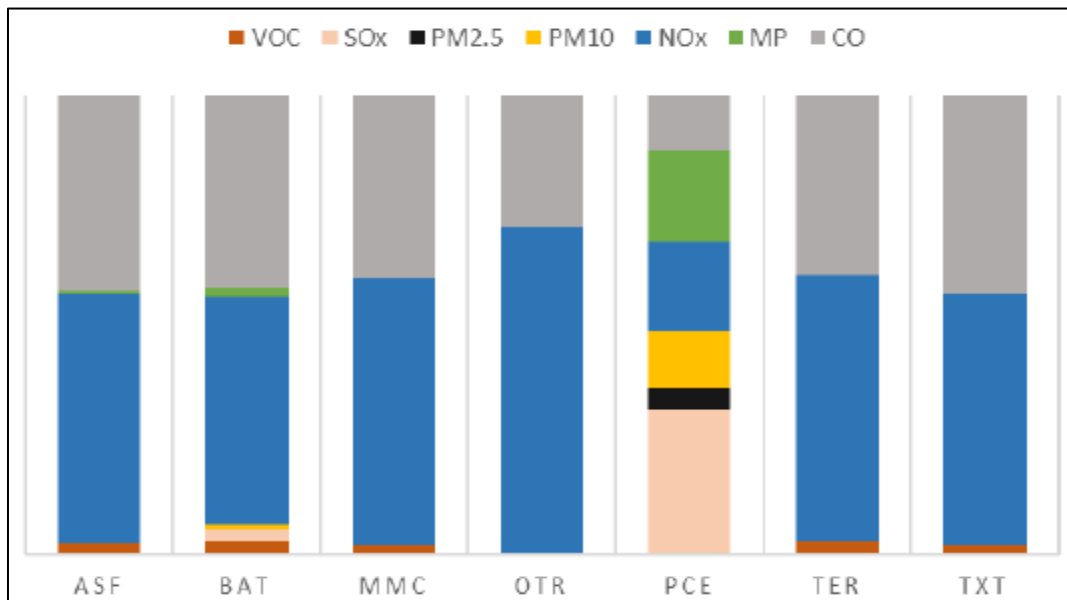


Ilustración 4. Emisiones de contaminantes por sector - Fuente AMB y UPB

1.4.2. Fuentes Móviles

Para el año 2016 se tenía registrados en todas las secretarías de tránsito del área metropolitana de Bucaramanga un total de 521.318 vehículos y para el año 2018 la cifra ascendía a 703.075³, es decir que en Bucaramanga y su área metropolitana mensualmente se matriculan aproximadamente 4.300 vehículos. Otra cifra interesante es el aumento del 195,4% del parque automotor entre los años 2010 (359.760⁴) y 2018 (703.075) y que una muy pequeña porción de estas matrículas ha sido para servicio público, refiriendo también que la gran mayoría de automóviles y motocicletas tienen menos de 10 años de edad.

Los datos a exponer a continuación fueron calculados para el año 2016 y como se acabó de mostrar, a la fecha se ha dado un considerable aumento de las fuentes móviles para el área metropolitana de Bucaramanga, por tanto se puede realizar la premisa que en la actualidad las contribuciones a las emisiones atmosféricas han cambiado y por ello la necesidad de actualizar el inventario.

La distribución de las fuentes móviles en el área metropolitana de Bucaramanga (ilustración 5) muestra que el 65% corresponde a motocicletas, 27% a autos particulares, 3% a autos comerciales, el 5% restante a camiones, buses, tractocamiones y volquetas.

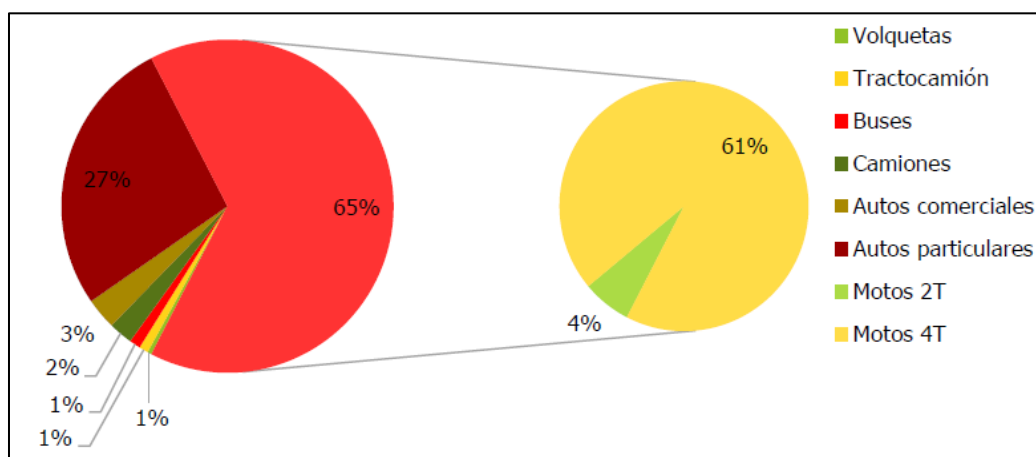


Ilustración 5. Composición de las fuentes móviles - Fuente AMB y UPB

Como preliminarmente se mencionó, gran cantidad del parque automotor tiene menos de 10 años y como lo muestra la ilustración 6 es el 70% del total de los vehículos y aproximadamente el 10% tienen más de 20 años.

³ <https://www.transitobucaramanga.gov.co/parque-automotor.php>

⁴ <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/transitan-4053-automotores-nuevos-este-es-el-impacto-en-el-area-LG1190481>

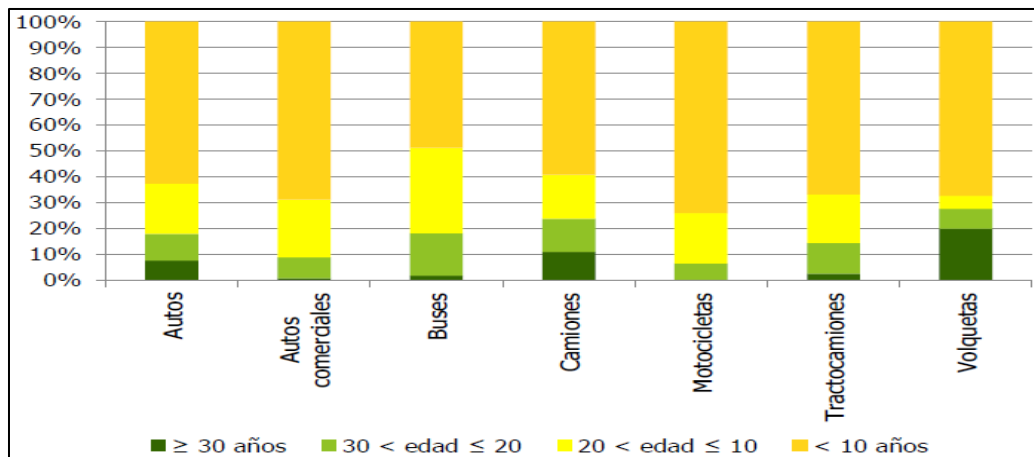


Ilustración 6. Edad del parque automotor - Fuente AMB y UPB

Ahora bien, cómo es la contribución a las emisiones atmosféricas de las fuentes móviles, el inventario del año 2016 indicó y de acuerdo a la ilustración 7 que la categoría que mayor emite CO y SOx son los autos particulares, aportando respectivamente el 65% (21.355 ton/año) y el 56% (58 ton/año) de estos contaminantes, y un poco más del 20% de las emisiones de NOx (834 ton/año) y VOC (495 ton/año) y aunque aportan cerca del 6% del PM2.5 (17 ton/año) primario, deben hacer una contribución importante al PM2.5 secundario, el cual tiene como precursores a los SOx, NOx y VOC, seguido de la categoría de camiones aportando el 47% de PM2.5 (134 ton/año) y el 38% de NOx (1.485 ton/año).

Otro sector a resaltar es el de las volquetas al emitir el 14% del contaminante PM2.5 (41 ton/año) y el 8% del contaminante NOx (313 ton/año), pues estos vehículos representan tan solo el 0,4% del parque automotor.

Categoría Vehicular	Toneladas / año				
	CO	NOx	SOx	VOC	PM2.5
Autos particulares	21.355	834	58	495	17
Autos comerciales	422	139	9	26	7
Buses	1.738	809	3	138	26
Camiones	4.715	1.485	6	276	134
Motos 2T	592	1	0	271	7
Motos 4T	3.560	152	25	739	49
Tractocamiones	98	162	1	2	5
Volquetas	577	313	1	47	41
Total	33.056	3.895	103	2.012	285

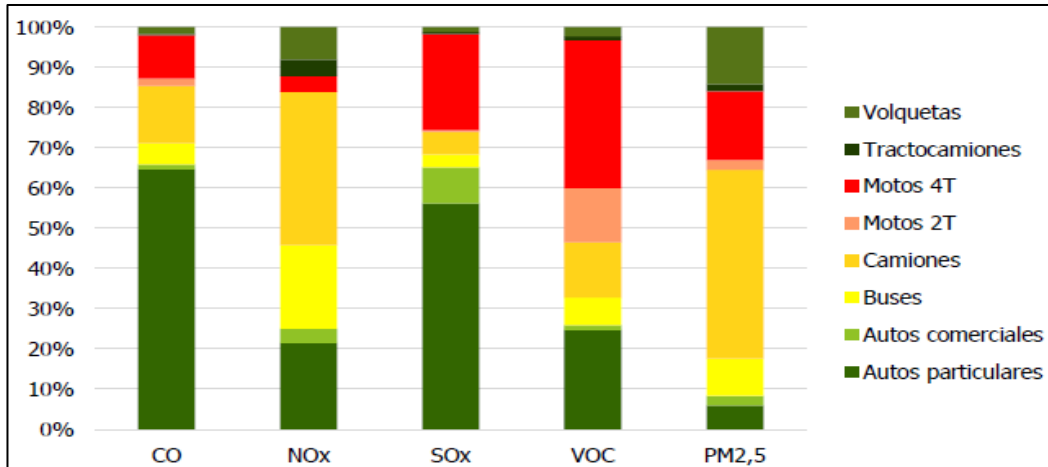


Ilustración 7. Emisión de contaminantes por categoría vehicular - Fuente AMB y UPB

De acuerdo al tipo de combustible cuáles son las emisiones de contaminantes a la atmósfera, pues bien de acuerdo a la ilustración 8 la gasolina la causante del 40% de la emisión de CO, del 89% de SOx y del 75% de VOC; además el diésel causa el 73% de emisiones de NOx y el 75% del PM2.5, mientras el gas natural vehicular causa el 54% de emisiones de CO.

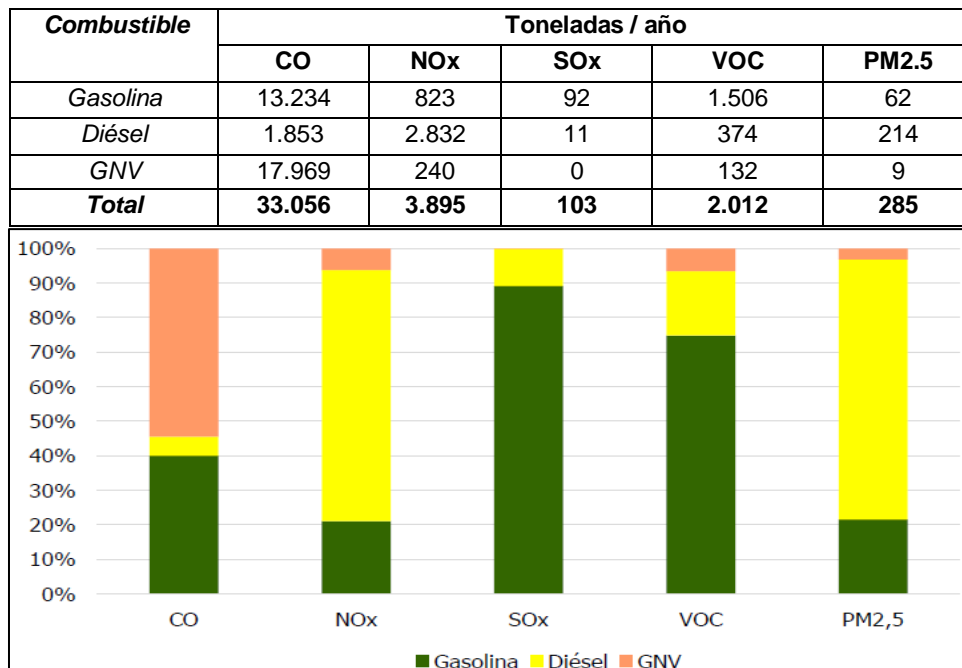


Ilustración 8. Emisiones por tipo de combustible - Fuente: AMB y UPB

Es así que el inventario de emisiones del año 2016 del AMB y la UPB concluye que:

“Así, puede decirse que tanto la gasolina como el diésel son fuentes importantes de las emisiones de PM2.5, pues mientras el diésel aporta el 75% de las emisiones de PM2.5 primario, la gasolina es la principal aportante de contaminantes precursores de PM2.5 secundario, como lo son los SOX y VOC, y el diésel a su vez aporta el 73% de los NOX, otro precursor de PM2.5 secundario. Cabe anotar que los NOx y VOC también son precursores de ozono troposférico (O3). Es importante mencionar que el bajo aporte del GNV a las emisiones contaminantes está relacionado con que tan solo el 2,4% del parque automotor opera con este combustible.”

1.5. Reglamentación Colombiana

Colombia adoptó en el 2015 los Objetivos de Desarrollo Sostenible para conseguir a nivel mundial la igualdad entre las personas, proteger el planeta y asegurar la prosperidad como una agenda a cumplir al 2030.

Es por ello que Colombia en el año 2017 se ajustaron los niveles de inmisión a corto y largo plazo en la Resolución 2254 de 2017 y el año 2018 sacaron el documento CONPES 3943 como la Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire que será el instrumento de navegación de los próximos años para reducir la concentración de contaminantes en el aire.

1.5.1. Resolución 2254 de 2017

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible estableció mediante la Resolución 2254 de 2017 la Norma de Calidad del Aire para el territorio nacional colombiano, en la cual ajustó los niveles máximos permisibles al corto y largo plazo de la concentración en el aire de los contaminantes criterio y tóxicos que causan riesgos sobre la salud humana.

En la tabla 2 se relaciona el nivel máximo permitido para los contaminantes criterios desde el 1 de julio de 2018 hasta el 31 de diciembre de 2029, como también las concentraciones que regirán a partir del 2030 para algunos parámetros.

Tabla 2. Nivel Máximo Permissible de Contaminantes

Contaminante	Nivel Máximo Permissible [$\mu\text{g}/\text{m}_3$]	Tiempo de Exposición
PM10	50	Anual
	75	24 Horas
PM2.5	20	Anual
	37	24 Horas
O3	100	8 Horas
NO2	60	Anual
	200	1 Hora
SO2	50	24 Horas
	100	1 Hora
CO	5,000	8 Horas
	35,000	1 Hora
Concentraciones a partir del 1 de enero de 2030		
PM10	30	Anual
PM2.5	15	Anual
SO2	20	24 Horas
NO2	40	Anual

De igual manera, la norma establece los rangos de concentración y el tiempo de exposición bajo los cuales se debe declarar por parte de las autoridades ambientales los estados excepcionales de contaminación del aire denominados niveles de prevención, alerta o emergencia, que se relacionan en la tabla 3.

Tabla 3. Concentración para los niveles de prevención, alerta o emergencia

Contaminante	Tiempo de Exposición	Prevención	Alerta	Emergencia*
PM10	24 Horas	155 - 254	255 - 354	≥ 355
PM2.5	24 Horas	38-55	56-150	≥ 151
O₃	8 Horas	139 - 167	168 - 207	≥ 208
SO₂	1 Hora	198-486	487-797	≥ 798
NO₂	1 Hora	190-677	678-1221	≥ 1222
CO	8 Horas	10820-14254	14255-17688	≥ 17689

*Aplicables a concentraciones mayores o iguales a las establecidas en la columna de emergencia

La Resolución 2254 de 2017 en el artículo 18 también definió el Índice de Calidad del Aire – ICA, como un valor adimensional para reportar el estado de la calidad del aire; en una escala numérica de 0 a 500 dividida en 6 colores, a los cuales hay asociados unos efectos en la salud humana. Entre más pequeño sea el ICA mejor es la calidad del aire.

El índice de calidad del aire está enfocado en cinco contaminantes principales o contaminantes criterio: Ozono (O₃), material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO).

La tabla 4 describe de forma general el Índice de Calidad del Aire – ICA, entre más bajo sea el ICA menos riesgosa es la contaminación atmosférica. También relaciona los puntos de corte para las concentraciones de PM₁₀, PM_{2.5}, ozono y dióxido de nitrógeno de acuerdo al tiempo de exposición.

Tabla 4. Descripción del ICA, sus efectos y Puntos de Corte

Rango y Color	Estado de la calidad del Aire	Efectos	Puntos de Corte			
			PM _{2.5} µg/m ³ 24 horas	PM ₁₀ µg/m ³ 24 horas	O ₃ µg/m ³ 8 horas	NO ₂ µg/m ³ 1 hora
0 – 50 Verde	Buena	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud.	0-54	0 – 54	0 – 106	0-100
51 – 100 Amarillo	Aceptable	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.	55-154	55 – 154	107 – 138	101-189
101 – 150 Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos sobre la salud. 1) Ozono Troposférico: las personas con enfermedades pulmonares, niños, adultos mayores y las que constantemente realizan actividad física al aire libre, deben reducir su exposición a los contaminantes del aire. 2) Material Particulado: Las personas con enfermedad cardíaca o pulmonar, los adultos mayores y los niños se consideran sensibles y por lo tanto en mayor riesgo.	38-55	155 – 254	139 – 167	190-677
151 – 200 Rojo	Dañina para la salud	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud.	56-150	255 – 354	168 – 207	678-1221
201 – 300 Púrpura	Muy Dañina para la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.	151-250	355 – 424	208 – 393	1221-2349
301 – 500 Marrón	Peligroso	Advertencia sanitaria. Toda la población puede presentar efectos adversos graves en la salud y están propensos a verse afectados por graves efectos sobre la salud.	251-500	425 – 604	394	2350-3853

2. Análisis del Monitoreo de los Contaminantes Criterio

Se realiza el análisis de la información recopilada por los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire de la CDMB y el AMB, con el fin de determinar el cumplimiento del nivel máximo permitido que se ha establecido en la norma de calidad del aire, como también observar el comportamiento de los contaminantes criterios monitoreados teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, y por último calcular el índice de calidad del aire en el área metropolitana de Bucaramanga durante el primer trimestre del 2020.

2.1. Resultados del Monitoreo de la CDMB

2.1.1. Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de la CDMB

El Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire – SVCA está compuesto por equipos para la medición y registro de los contaminantes atmosféricos, que se encuentran instalados en un lugar de interés y con el propósito de determinar la calidad del aire.

El SVCA operado por la CDMB lo componen tres estaciones automáticas denominadas Cabecera, Ciudadela y Florida, integradas por equipos especializados para el monitoreo automático de los niveles de concentración de los contaminantes criterios: PM10 y el gas O₃.

La tabla 5 relaciona la ubicación de cada estación y el contaminante criterio que se mide en estas.

Tabla 5. Estaciones del SVCA de la CDMB

Nombre de la Estación	Ubicación	Municipio	Mide
Cabecera	Carrera 33 con calle 52	Bucaramanga	PM10
Ciudadela	Terraza de la Institución Educativa Aurelio Martínez Mutis en la Calle de los Estudiantes	Bucaramanga	PM10 y Meteorología
Florida	Terraza del Edificio Movistar Sede Sur en Cañaveral, Autopista Floridablanca - Bucaramanga	Floridablanca	O ₃ y Meteorología

La medición de meteorología acompaña el monitoreo de los contaminantes criterio, con el fin de entender la dispersión de los contaminantes, es decir, los procesos atmosféricos afectan el destino de los contaminantes del aire.

Parámetros meteorológicos como la radiación solar, la temperatura y la humedad, causan un impacto en la transformación de las sustancias contaminantes emitidas en el aire. La remoción de los contaminantes no sólo depende de sus características sino también de fenómenos climáticos como la lluvia o las turbulencias.

2.1.2. Mediciones de PM10

La ilustración 9 muestran los registros de las concentraciones de material particulado inferior a 10 micrómetros de las estaciones de Cabecera y Ciudadela, representadas por las líneas continuas de color negra y azul respectivamente, para el periodo entre el 1 enero al 24 de marzo de 2020⁵, y la comparación con el nivel máximo permisible para un tiempo de exposición de 24 horas que equivale a 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

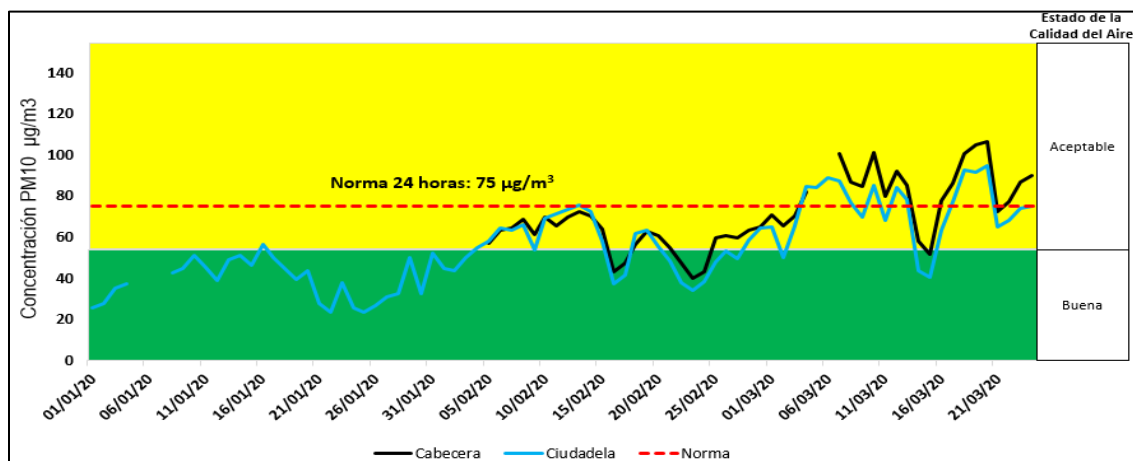


Ilustración 9. Comparación de concentración promedio diaria de PM10 de Ciudadela y Cabecera con la norma

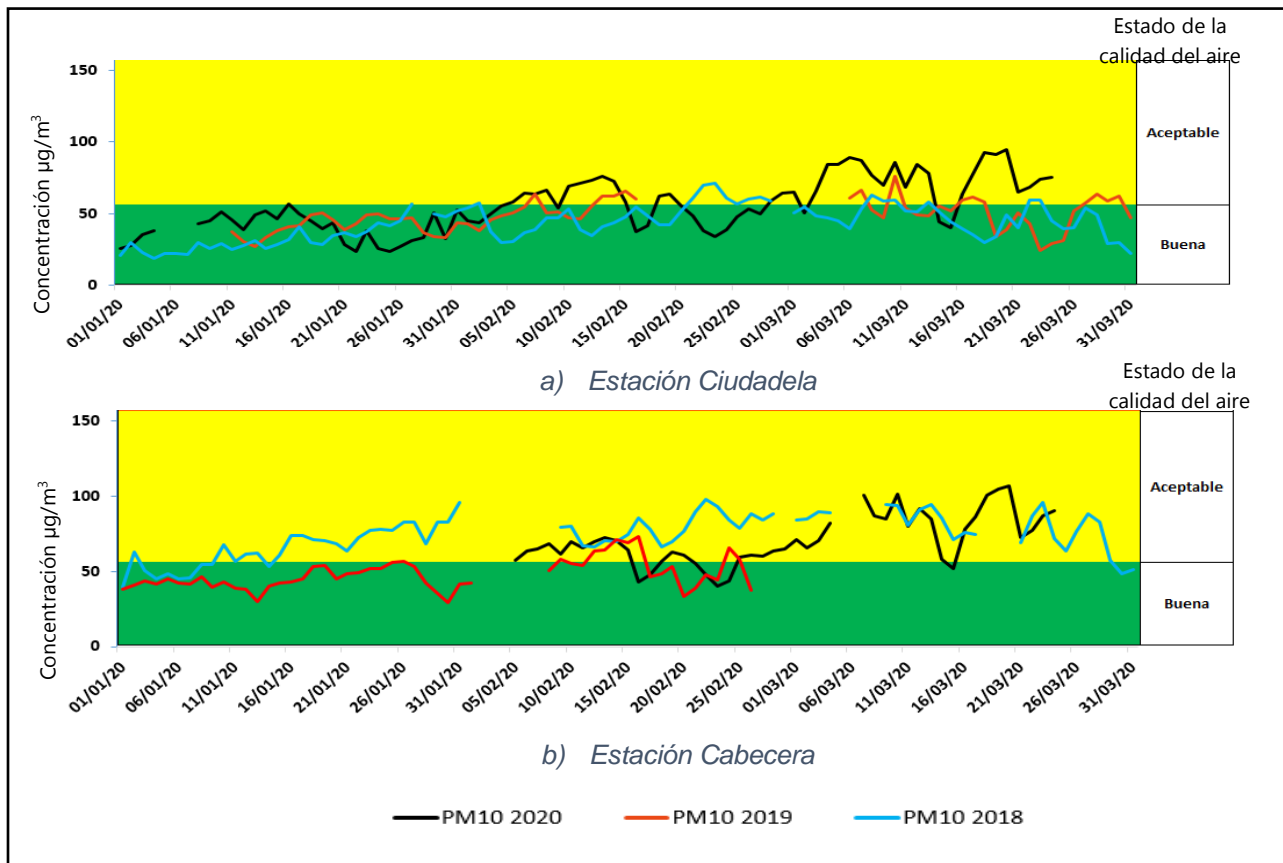
De los registros se puede apreciar el incremento de la concentración del contaminante PM10 a partir de principios de febrero extendiéndose hasta los últimos

⁵ Del 25 al 31 de marzo no se registraron datos por corte de energía realizado por terceros en Cabecera y por ruptura de la cinta filtro en Ciudadela. De igual manera la estación Cabecera no tiene registros en enero por mantenimiento correctivo en el circuito de la caseta.

registros de marzo, así como la excedencias⁶ a la norma por varios días en el mes de marzo, específicamente 16 veces en Cabecera y 15 veces en Ciudadela.

Recordar que el estado de la calidad del aire se clasifica como *buena* mientras el PM10 sea hasta $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y *aceptable* para concentraciones desde $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $154 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tal se ilustró en la tabla 4 del presente informe.

Ahora, se compara en la ilustración 10 las concentraciones de PM10 del año 2020 con los registros del 2019 y 2018, la parte a) corresponde a la estación Ciudadela y la parte b) a la estación Cabecera la cual refleja semejanza en el aumento para el mismo periodo del año y como notaremos en la siguiente sección se da por la influencia del tiempo seco; pero sin duda existe un aumento muy marcado en la estación Ciudadela para el año 2020 frente a los dos años anteriores, esto a consecuencia principalmente de las obras de construcción que se realizan desde finales del 2019 en la calle de los estudiantes, pese a ello es notable un mayor aumento en el mes de marzo de 2020, en el que más adelante se profundizará.



⁶ Las excedencias son número de veces que la norma ha sido sobrepasada.

Ilustración 10 Comparativo del PM10 por años

2.1.3. Medición de Ozono

La ilustración 11 compara la concentración de ozono para el periodo entre el 01 enero y el 06 de marzo⁷ con la norma para un tiempo de exposición de 8 horas equivalente a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De acuerdo a los registro la concentración de ozono estuvo sin representar un peligro para la salud; sin embargo para los días 5 y 6 de marzo sobre pasó la norma por 1 y $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, alcanzado una calidad del aire aceptable para la zona de influencia de la estación Florida.

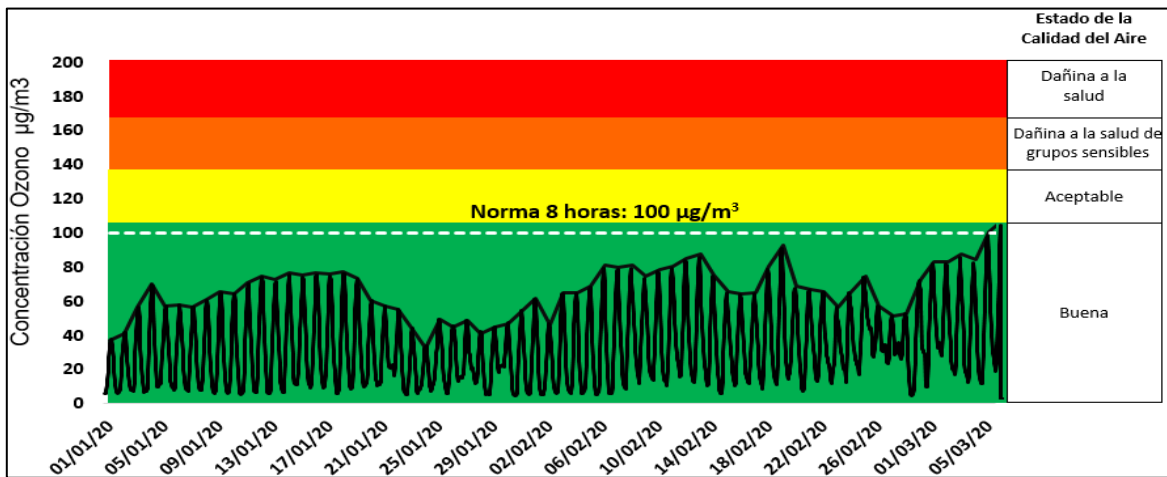


Ilustración 11. Comparación de concentración promedio 8 horas de Ozono con la norma

2.1.4. Resultados meteorológicos

En esta sección se presentan los registros meteorológicos de las estaciones Ciudadela y Florida, resumiendo el comportamiento de la precipitación, temperatura, radiación solar, velocidad y dirección del viento para el periodo entre 01/ene/20 al 24/mar/20, además pretende mostrar cómo estas condiciones atmosféricas propician la remoción o dilución de los contaminantes atmosféricos o por el contrario que se conserven y aumenten en la atmósfera.

⁷ Desde el 7 de marzo no hay registro por mantenimiento correctivo del equipo de refrigeración.

Las ilustraciones 12, 14 y 16 tienen al fondo la concentración del contaminante PM10 (área azul) de la estación Ciudadela y las ilustraciones 13, 15 y 17 tienen la concentración de Ozono (área amarilla) y de ellas se puede apreciar que:

1. El efecto de las precipitaciones en la disminución de la concentración del contaminante material particulado como también que en periodos secos, en los que además se tiene una baja humedad relativa del aire, se da un aumento continuo de la concentración del contaminante.

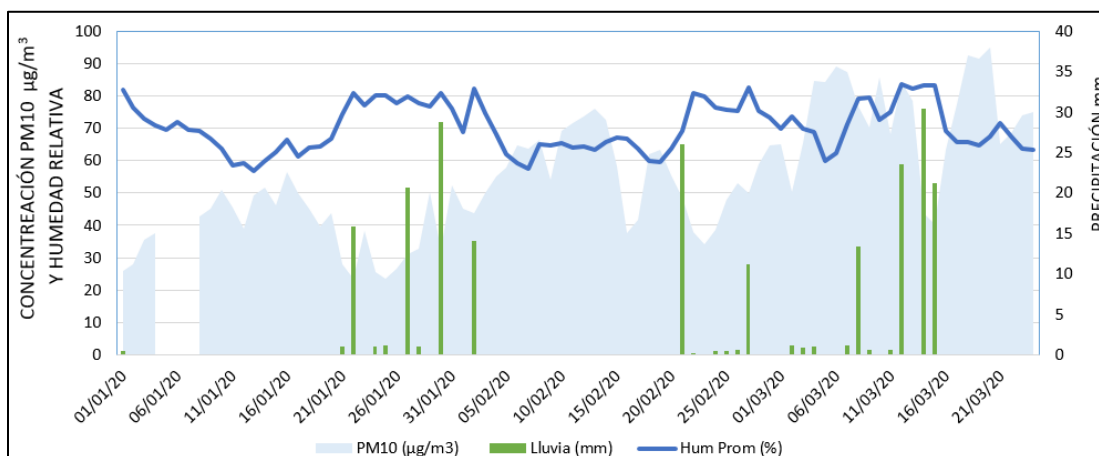


Ilustración 12. Relación de remoción del contaminante PM10 por lluvia

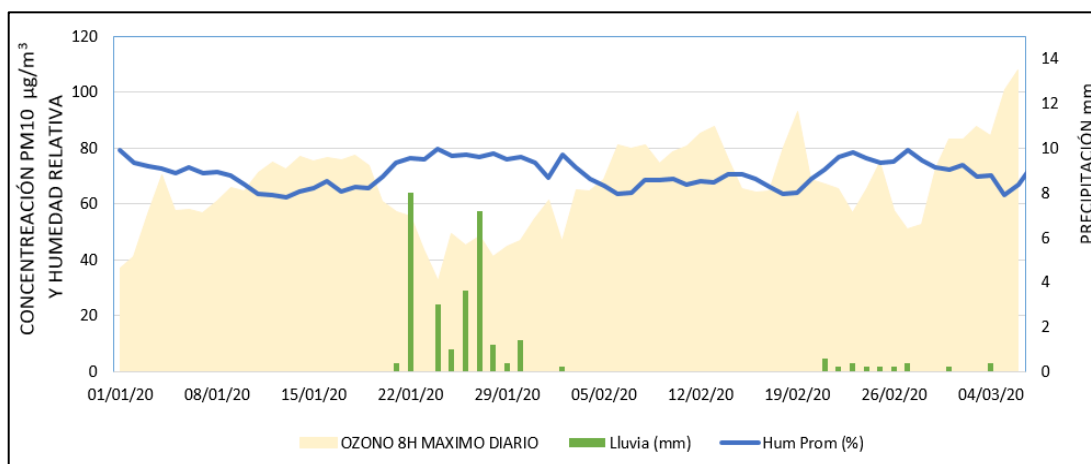


Ilustración 13. Relación de remoción del contaminante Ozono por lluvia

2. La relación directa de la temperatura del ambiente con la concentración del contaminante, en días donde se presentan aumentos consecutivos de la temperatura también se da un rápido aumento del contaminante. Las tres líneas de la imagen representan la temperatura promedio, máxima y

mínima de cada día.

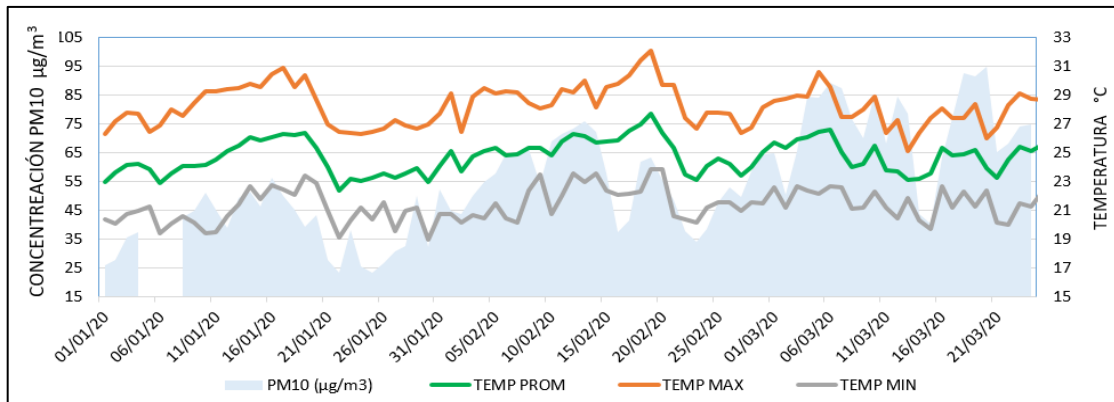


Ilustración 14. Relación de concentración del PM10 con la temperatura

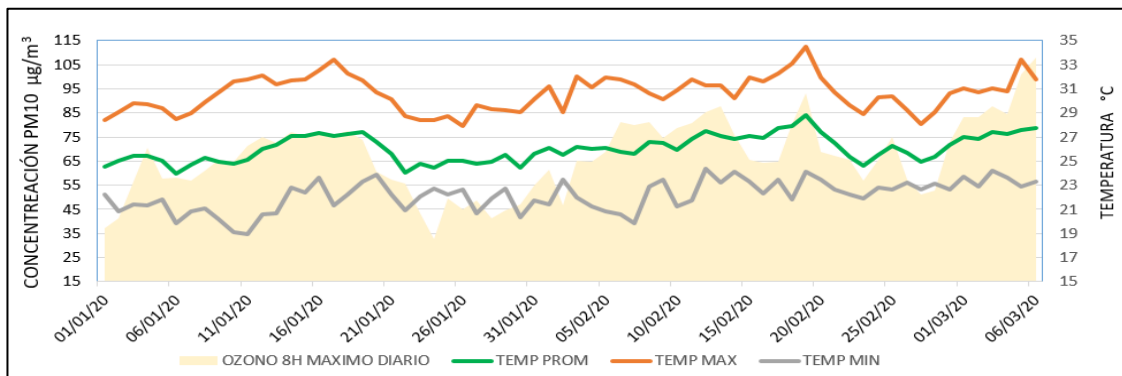


Ilustración 15. Relación de concentración del Ozono con la temperatura

3. La correlación entre la radiación solar y la concentración del contaminante ozono troposférico, lo que comprueba que a mayor radiación y mayor ozono en la atmósfera; aunque no se perciba de igual manera para el PM10, la radiación solar propicia la formación de material particulado secundario a partir de las reacciones químicas de gases en la atmósfera como los NO_x y SO_x.

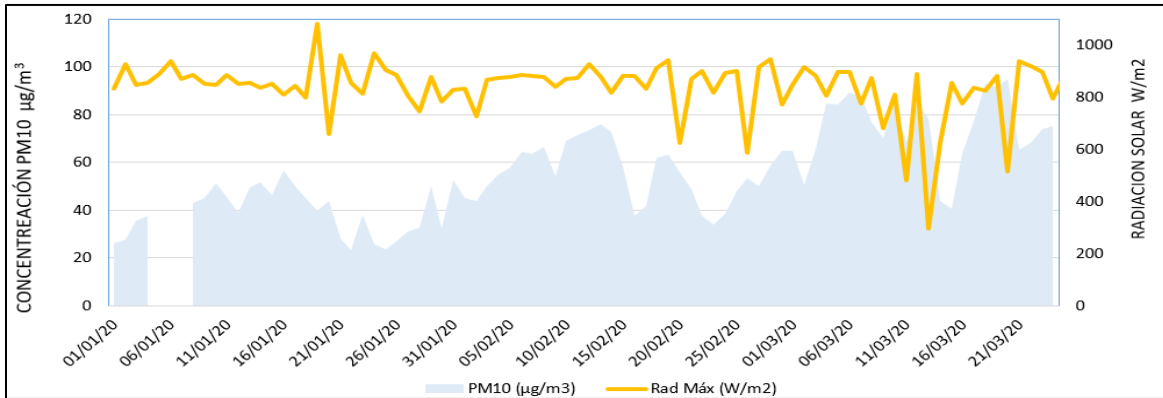


Ilustración 16. Relación de la concentración de PM10 con la radiación solar

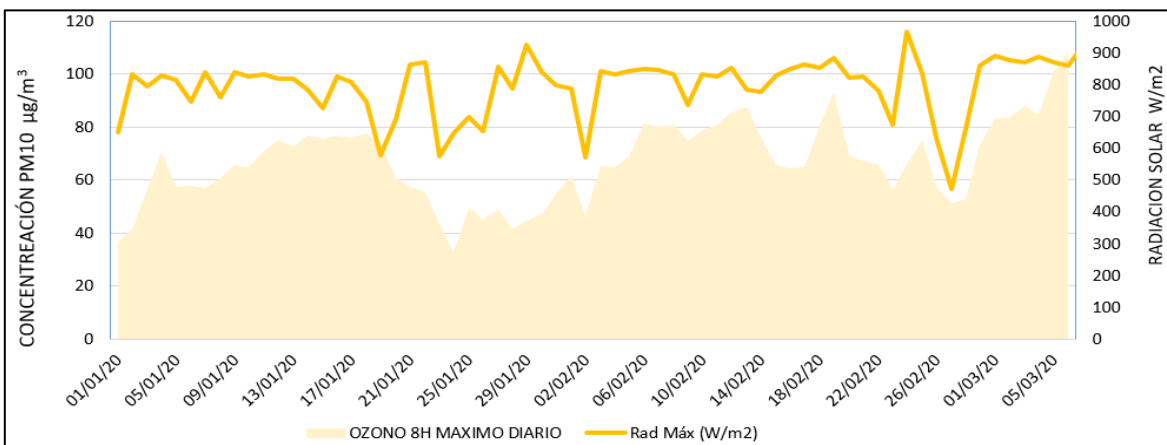


Ilustración 17. Relación de la concentración de Ozono con la radiación solar

La tabla 6 resume las condiciones meteorológicas, en la que se puede ver que el mes de febrero presentó la más baja precipitación, mayor temperatura y menor humedad, es decir las condiciones propicias para tener mayor concentración de contaminantes en la atmósfera. Pese a mejorar las condiciones meteorológicas en el mes de marzo el contaminante PM10 aumentó mucho más que en febrero situación que más adelante se abordará.

Tabla 6. Parámetros meteorológicos estación Ciudadela

Estación Ciudadela						
Mes	Lluvia Acum [mm]	Temp Prom [°c]	Temp Máx [°c]	Temp Min [°c]	Hum Prom [%]	Rad Máx Prom [W/m²]
enero	69.8	24.3	28.0	20.9	70.8	860
febrero	52.8	25.2	28.8	21.7	68.8	852
marzo	118.4	24.9	28.0	21.6	71.4	806
Estación Florida						

Mes	Lluvia Acum [mm]	Temp Prom [°c]	Temp Máx [°c]	Temp Min [°c]	Hum Prom [%]	Rad Máx Prom [W/m ²]
enero	26.2	25.5	30.2	21.6	71.7	777
febrero	2.4	26.4	30.9	22.5	70.6	794
marzo	39.6	26.2	30.2	22.7	72.6	843

El viento es fundamental para el transporte y la dilución de los contaminantes, cuando aumenta la velocidad del viento mayor es el volumen de aire que se desplaza por unidad de tiempo por las zonas donde está localizada la fuente de emisión, en consecuencia la concentración disminuye si la emisión es constante. Por otra parte si la dirección del viento es constante, la misma área estará continuamente expuesta a niveles relativamente altos de contaminación, y por el contrario la dirección del viento es cambiante, los contaminantes serán dispersados sobre un área mayor por tanto las concentraciones resultarán relativamente menores.

La ilustración 18 presenta las rosas de vientos para los tres primeros meses del año en la estación Ciudadela, durante este periodo los vientos se desplazaron predominantemente con velocidades entre 0.4 m/s y 1.8 m/s con un 63 % de frecuencia desde todas las direcciones, seguidos por un 32% de vientos con velocidades entre 1.8 m/s y 4.5m/s desplazándose desde el ONO y el N, seguidos por un 5% de calmas.

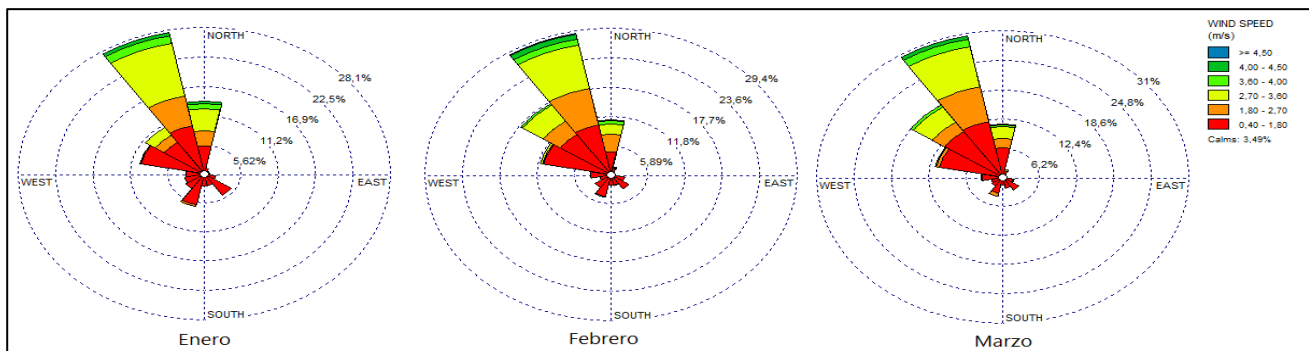


Ilustración 18. Velocidad y Dirección del Viento Estación Ciudadela

La ilustración 19 presenta las rosas de vientos de la estación Florida de enero a marzo, durante este periodo los vientos se desplazaron predominantemente con velocidades entre 0.4 m/s y 1.8 m/s con un 47 % de frecuencia desde todas las direcciones, seguidos por un 30% de vientos con velocidades entre 1.8 m/s y 4.5m/s desplazándose desde el O y N, las calmas tuvieron un 23% de frecuencias.

El mes de marzo registró vientos superiores a 4.5 m/s con una frecuencia de 2.7%.

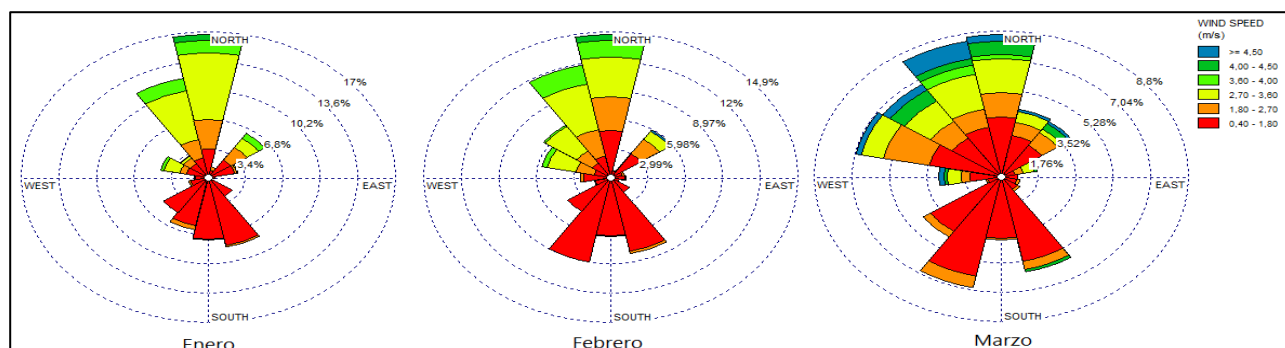


Ilustración 19. Velocidad y Dirección del Viento Estación Florida

2.2. Resultados del Monitoreo del AMB

Hasta el pasado 17 de abril de 2020, el Área Metropolitana de Bucaramanga publicó en su página web www.amb.gov.co la base de datos de los registros horarios desde iniciada la operación del SVCA en octubre de 2018 al 1 de abril de 2020.

Con el fin de ampliar la información de la calidad del aire, la CDMB realizó el procesamiento y análisis de datos que a continuación se presenta para el periodo correspondiente al primer trimestre del año 2020.

2.2.1. Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire del AMB

El SVCA operado por el Área Metropolitana de Bucaramanga lo componen cinco estaciones automáticas ubicadas en 3 municipios, Bucaramanga, Floridablanca y Girón, con equipos especializados para el monitoreo automático de material particulado PM10 y PM2.5, los gases O3 y NO2 y la meteorología, la ubicación de las estaciones y distribución de los equipos es la siguiente:

Tabla 7. Estaciones del SVCA del AMB

Nombre de la	Ubicación ⁸	Municipio	Mide
--------------	------------------------	-----------	------

⁸ Fuente: <https://www.amb.gov.co/calidad-del-aire/>

Estación			
San Francisco	Colegio Normal Superior sede C Cra. 27 # 29-69	Bucaramanga	PM2.5, PM10, y Meteorología
La Ciudadela	Colegio Nuestra Señora del Pilar Ciudadela Calle de los Estudiantes 9-323	Bucaramanga	PM2.5, PM10, O3, NO2 y Meteorología
Lagos del Cacique	Instituto Caldas Transversal Oriental Lagos del Cacique	Bucaramanga	PM2.5, PM10, y Meteorología
Lagos I	Parque Acualago Calle 29 # 10-13	Floridablanca	PM2.5, PM10, O3, NO2 y Meteorología
Santa Cruz	Secretaría del Adulto Mayor Diagonal 15 Cra. 17	Girón	PM2.5, PM10, y Meteorología

2.2.2. Mediciones de PM 2.5 y PM10

De igual manera que los registros de las estaciones de la CDMB el comportamiento del material particulado inferior a 2.5 y 10 micrómetros en las cinco estaciones, fue aumentar la concentración en el transcurso de tiempo de los tres meses, alcanzado en el caso de PM2.5 niveles de concentración dañinos para la salud, y excediendo los niveles máximos permisibles casi que a diario en el mes de marzo. La tabla 8 resume el número de veces que las concentraciones diarias han excedido al nivel máximo permisible o nivel de inmisión en cada estación, en enero no existieron excedencias:

Tabla 8. Número de Excedencias al Nivel Máximo Permisible

Estación	PM10		PM2.5	
	Febrero	Marzo	Febrero	Marzo
San Francisco	1	23	8	30
La Ciudadela	1	6	1	24
Lagos del Cacique	4	28	14	30
Lagos I	0	24	2	28
Santa Cruz	11	29	10	27

En las siguientes ilustraciones (21 a 25) se muestran las concentraciones a condiciones de referencia para un tiempo de exposición de 24 horas de material particulado (línea continua en color negro) en comparación con el nivel máximo de la norma (línea punteada en color morado). Estas gráficas tienen de fondo los colores correspondientes a las categorías del índice de calidad del aire de acuerdo a los puntos de corte de cada contaminante, previamente referidos en la tabla 4

del presente informe, que a su vez nos indican el estado de la calidad del aire, las categorías son:

Color	Estado de la calidad del Aire
Verde	Buena
Amarillo	Aceptable
Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles
Rojo	Dañina para la salud
Púrpura	Muy Dañina para la salud
Marrón	Peligroso

Estación San Francisco

Para el PM10 los niveles estuvieron dentro del rango de valores para un estado de calidad del aire *acceptable*; Sin embargo, las excedencias al nivel máximo permisible diario que equivale a $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se presentó 1 vez en febrero mientras que en marzo se presentaron 23 veces.

Por su parte el comportamiento del PM2.5 presentó un aumento permanente desde finales de febrero extendiéndose hasta marzo, alcanzado niveles para una calidad del aire *dañina para la salud* para la población en general. Las excedencias al nivel máximo permisible diario equivalente a $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de marzo fueron casi que a diario, 30 veces y en febrero fueron 8 veces.

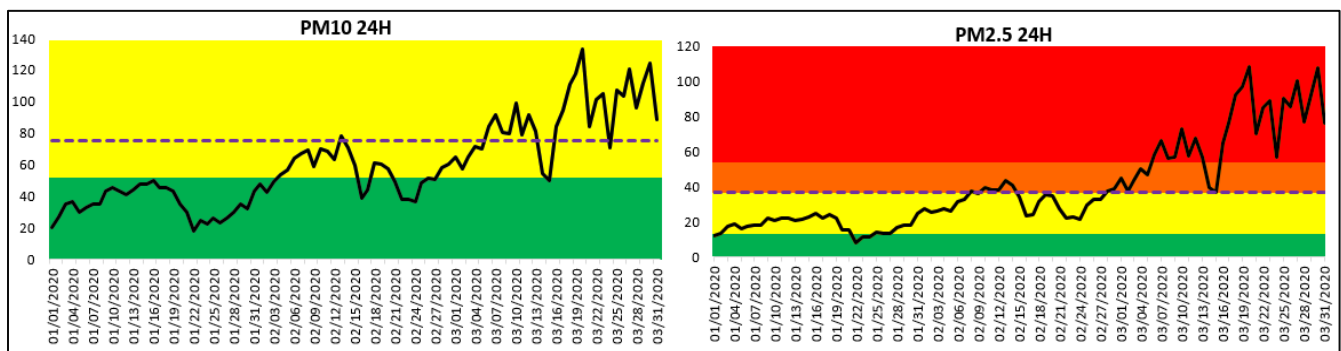


Ilustración 20. Concentración PM10 y PM2.5 Estación San Francisco

Estación La Ciudadela

Para el PM10 los niveles fueron registrados dentro del rango de valores para un estado de calidad del aire *aceptable* ; Sin embargo, las excedencias al nivel máximo permisible diario que equivale a $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se presentó 1 vez en febrero y en marzo se presentaron 6 veces.

Por su parte el comportamiento del PM2.5 presentó un aumento permanente desde finales de febrero extendiéndose hasta marzo, alcanzado niveles para una calidad del aire *dañina para la salud* para la población en general. El número de excedencias al nivel máximo permisible diario equivalente a $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fue 1 vez en febrero, mientras que marzo fueron 24 las excedencias.

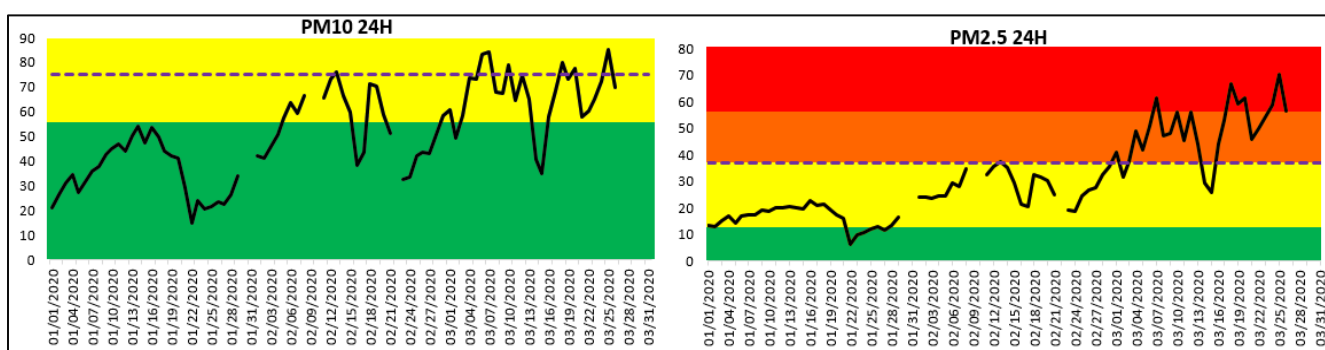


Ilustración 21. Concentración PM10 y PM2.5 Estación La Ciudadela

Estación Lagos del Cacique

El PM10 llegó hasta concentraciones para una calidad del aire *dañina para la salud* para grupos sensibles en los últimos días de marzo, además de esto presentaron 28 excedencias a la norma, mientras que en febrero presentó 4 excedencias al nivel máximo permisible diario que equivale a $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El PM2.5 de esta estación fue el más alto registrado llegando a $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 19/mar/20, indicando el estado de la calidad del aire *dañino para la salud* de la población en general. El número de excedencias al nivel máximo permisible diario equivalente a $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fue 1 vez en febrero y en marzo fueron 24 veces.

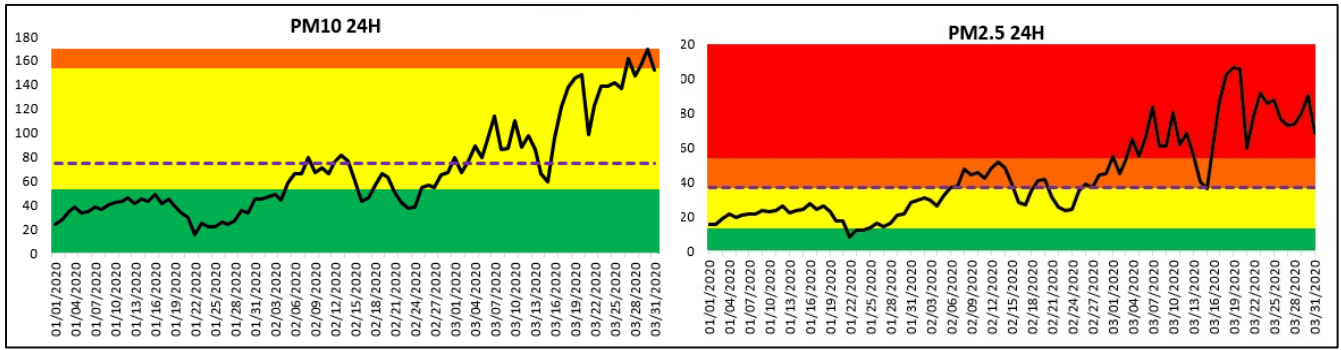


Ilustración 22. Concentración PM10 y PM2.5 Estación Lagos del Cacique

Estación Lagos I

De igual manera a los registros de las anteriores estaciones, los contaminantes en el municipio de Floridablanca tuvieron muy altas concentraciones, en cuanto al PM10 se registró niveles *aceptables*, mientras que el PM2.5 llegó al nivel *dañino para la salud* en el mes de marzo en el que el número de excedencias a la norma fue 28 veces para PM2.5 y de 24 veces para PM10.

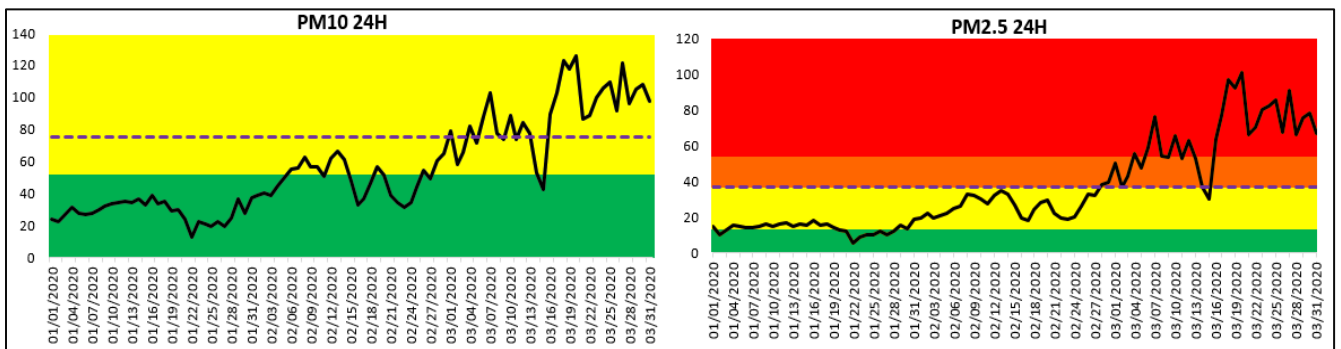


Ilustración 23. Concentración PM10 y PM2.5 Estación Lagos I

Estación Santa Cruz

El comportamiento de los contaminantes en el municipio de Girón para nada se contra resta, por el contrario sigue la tendencia de la estación Lagos del Cacique pero para PM10, registrando la concentración más alta de todas las estaciones igual a $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el mismo 19/mar/20 y superando el límite máximo permisible en un 120%. Por lo mismo presentó 29 de excedencias a la norma en marzo y 11 en febrero.

Al igual que las otras cuatro estaciones, el PM2.5 que empezó en nivel *aceptable* en el mes de enero, llegó al nivel *dañino para la salud* en el mes de marzo, registrando 10 excedencias a la norma en febrero y 27 en marzo.

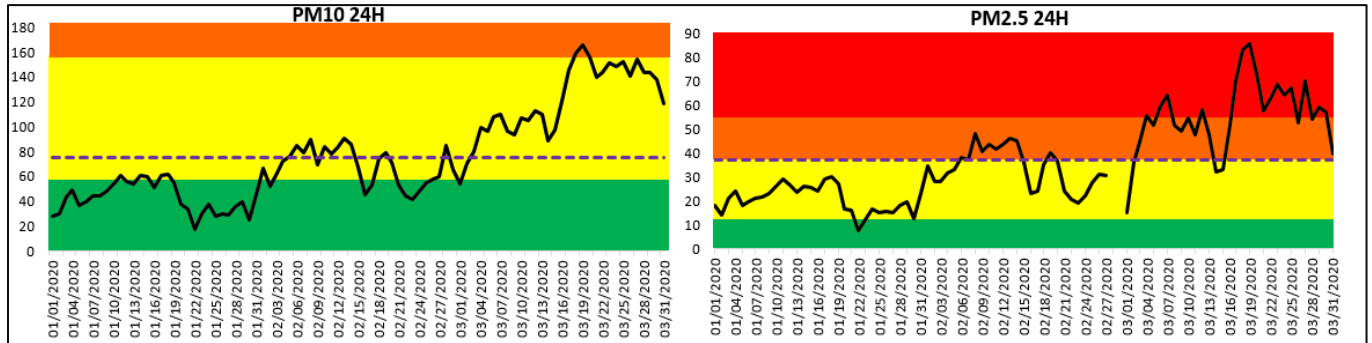


Ilustración 24. Concentración PM10 y PM2.5 Estación Santa Cruz

2.2.3. Mediciones de O₃ y NO₂

Estos dos contaminantes se monitorean en solo dos de las cinco estaciones del AMB, en las estaciones La Ciudadela y Lagos I, para analizar los monitoreos se grafica la concentración de los gases a condición de referencia (línea continua color negra) en comparación con el nivel máximo permisible para un tiempo de exposición de 8 horas igual a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el gas O₃ y de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el NO₂ en un tiempo de exposición de 1 hora (línea punteada color morado), y al fondo los colores correspondientes a las categorías del índice de calidad del aire de acuerdo a los puntos de corte de cada contaminante, referidos previamente en la tabla 4 del presente informe, que a su vez nos indican el estado de la calidad del aire.

Las ilustraciones 25 y 26 muestran que los contaminantes permanecen durante el primer trimestre de 2020 en niveles que no suponen riesgo para la salud de la población. Se aprecia la disminución significativa del dióxido de nitrógeno cuya principal fuente de emisión en las ciudades son los escapes de los vehículos y la quema de combustibles fósiles a partir el 20 de marzo de 2020, día que inició el aislamiento obligatorio en el departamento de Santander a causa de la emergencia sanitaria por COVID 19.

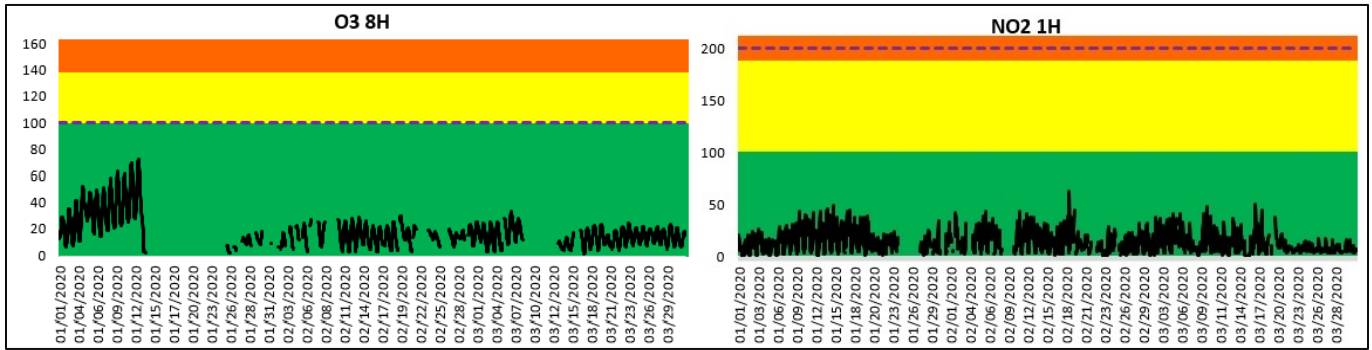


Ilustración 25. Concentración O3 y NO2 Estación La Ciudadela

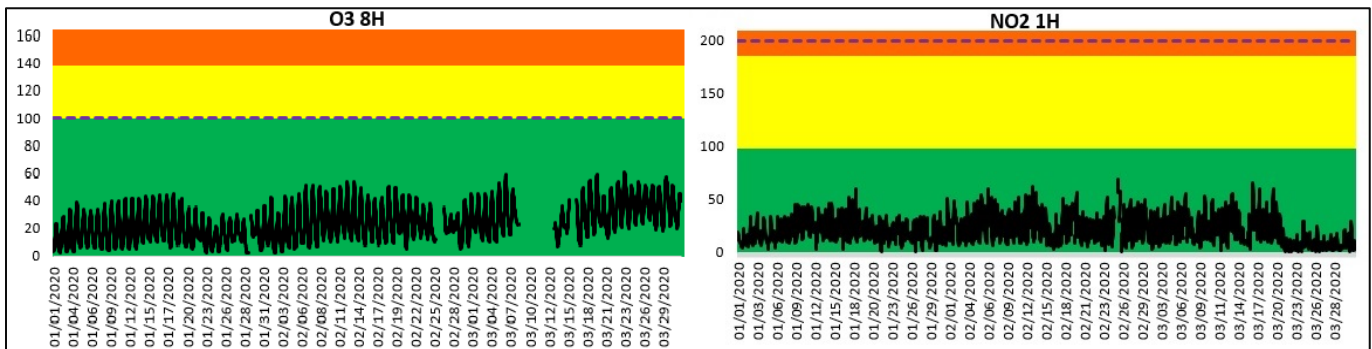


Ilustración 26. Concentración O3 y NO2 Estación Lagos I

2.2.4. Mediciones Meteorológicas

Las mediciones de las variables meteorológicas temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento y dirección del viento, se analizan para relacionar el comportamiento de los contaminantes con el de la atmósfera.

Las ilustraciones refieren cuatro gráficas para temperatura promedio diaria, relación de remoción por precipitación utilizando la humedad relativa y la lluvia acumulada diaria, radiación solar máxima diaria y la rosa de vientos para velocidad y dirección del viento. En el fondo de las gráficas se perfiló el contaminante PM2.5 (verde claro) para facilitar la comprensión del comportamiento. Para las estaciones La Ciudadela y Lagos I se compara el ozono (naranja) con la radiación solar.

De los registros meteorológicos que a continuación se presentan se verá que en Bucaramanga, Floridablanca y Girón el mes de febrero se presentó tiempo seco, aumentó la temperatura promedio y la radiación solar máxima promedio y disminuyó de la humedad del aire, condiciones que mejoran en el mes de marzo por tener mayor precipitación. Por su parte, el viento se desplazó con velocidad

entre 0.4 m/s y 1.8 m/s con una frecuencia aproximada del 60% que proceden de todas las direcciones, un aproximado del 33% de frecuencia para velocidades entre 1.8 m/s y 4.5 m/s soplando desde el cuadrante noroeste y el restante son calmas, es decir 7%. Escenario ya presentado en los resultados de las estaciones de la CDMB.

Del análisis meteorológico se puede decir que en el mes de marzo se dieron condiciones meteorológicas para haber tenido en el área metropolitana de Bucaramanga una calidad del aire entre buena y aceptable como lo fue en los meses de enero y febrero, y teniendo en cuenta las condiciones restrictivas de movilidad para la ciudadanía demostraría que en este mes no fueron las típicas fuentes de contaminación las determinantes de la muy alta concentración de material particulado, especialmente el inferior a 2.5 micrómetros.

Estación San Francisco

Para la estación San Francisco no se registraron datos de temperatura suficientes que permitan realizar promedios diarios (mínimo 16 registros horarios), el comportamiento que se observa es el crecimiento permanente del contaminante en los largos periodos de no lluvias, que por ende llevan a disminuir la humedad del aire, como también tener días con mayor radiación solar. Se percibe que febrero fue de poca precipitación y que se dieron más lluvias en marzo tanto en días como en cantidad; pese a ello la alta concentración del PM2.5 fue inamovible.

También la estación registró lluvia acumulada el 15/mar/20 de 97.4mm, si bien es cierto el valor es bastante alto se considera válido ya que, revisando los 24 datos horarios se presentó una máxima precipitación por hora de 12.2 mm y una mínima precipitación por hora de 0.7 mm, es decir llovió todo el día. Esta condición de precipitación permitió disminuir un 35% la concentración del contaminante con respecto a los días anteriores, sin embargo fue opacado por el gran aumento al día siguiente en un 75%.

La dirección del viento más frecuente no registró variación, permaneciendo proveniente del noroeste, por su parte aumentó levemente la velocidad promedio en marzo.

Tabla 9. Variables meteorológicas estación San Francisco

Estación San Francisco						
Mes	Temp Prom [°c]	Lluvia Acum [mm]	Hum Prom [%]	Rad Máx Prom [W/m²]	Dir. del Viento Frecuente [°]	Vel. del Viento Prom [m/s]
enero	--	51	65.1	797.4	NO	1.35

febrero	--	3.2	62.6	831.5	NO	1.46
marzo	--	264.5	64.3	813.5	NO	1.59

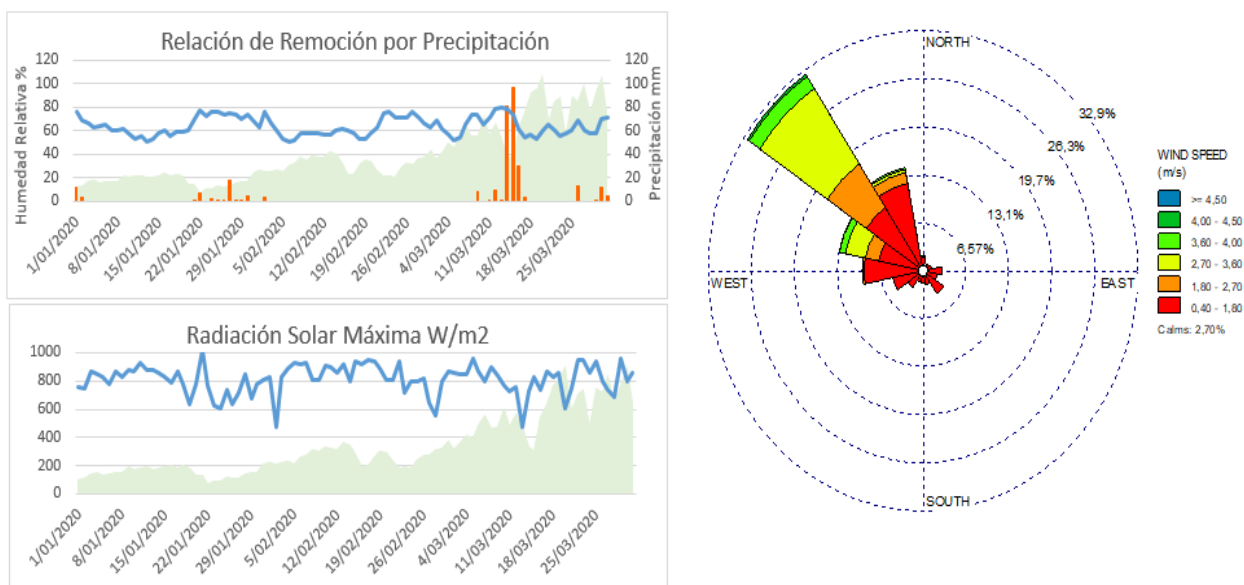


Ilustración 27. Meteorología Estación San Francisco

Estación La Ciudadela

En esta estación se distinguió el aumento de la temperatura para cuando la precipitación disminuyó en febrero y la disminución de la misma al aumentar la precipitación en marzo y de forma inversa la humedad relativa, disminuyendo en febrero y aumentando en marzo, como lo muestran la tabla 10 y la ilustración 28.

El comportamiento del Ozono es la disminución de la concentración en días de lluvia así como la disminución de la radiación solar máxima y de aumento en días más soleados. La dirección del viento más frecuente es el noroeste y velocidad promedio varía levemente en cada mes.

Tabla 10. Variables meteorológicas estación La Ciudadela

Estación La Ciudadela						
Mes	Temp Prom	Lluvia Acum	Hum Prom [%]	Rad Máx Prom [W/m ²]	Dir. del Viento Frecuente	Vel. del Viento Prom

	[°c]	[mm]			[°]	[m/s]
enero	22.1	39.7	66.4	822.1	NO	1.4
febrero	25.6	26.5	64.7	774.0	NO	1.51
marzo	25.1	71.5	66.1	770.3	NO	1.27

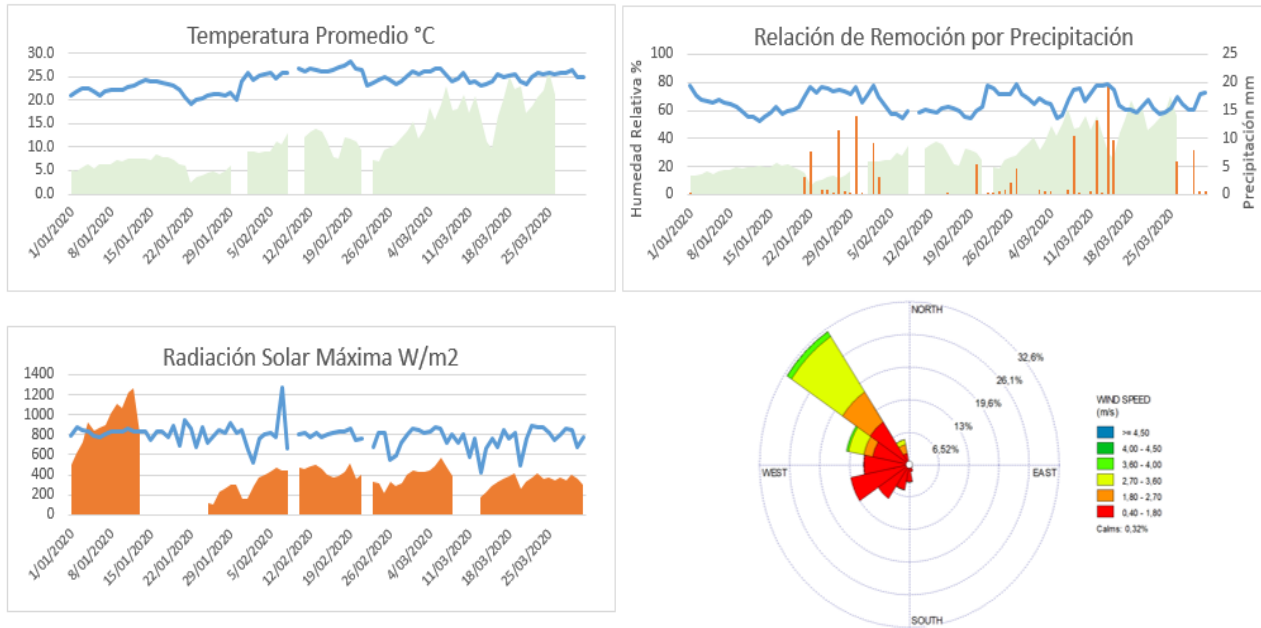


Ilustración 28. Meteorología Estación La Ciudadela

Estación Lagos del Cacique

La estación Lagos del Cacique no registró el mínimo de datos requeridos al día (16 registros horarios) de la temperatura con los que se pueda calcular promedios diarios. En esta estación se registró un leve cambio en la dirección de los vientos en cada mes, además presenta una alta frecuencia de calmas (22%), así como la máxima velocidad de 3.6 m/s mientras otras estaciones alcanzan 4.5 m/s.

Por lo anterior se observa que la condición del viento de esta zona no permite tener un adecuado transporte de la contaminación y es por ello que esta estación registra generalmente la mayor concentración del contaminante que en otras zonas de Bucaramanga.

Tabla 11. Variables meteorológicas estación Lagos del Cacique

Estación Lagos del Cacique						
Mes	Temp Prom	Lluvia Acum	Hum Prom [%]	Rad Máx Prom [W/m ²]	Dir. del Viento	Vel. del Viento Prom

	[°c]	[mm]			Frecuente [°]	[m/s]
enero	--	52.2	65.4	770.9	N	0.98
febrero	--	31.9	63.1	812.5	NNO	0.98
marzo	--	151.6	65.6	746.8	NO	1.06

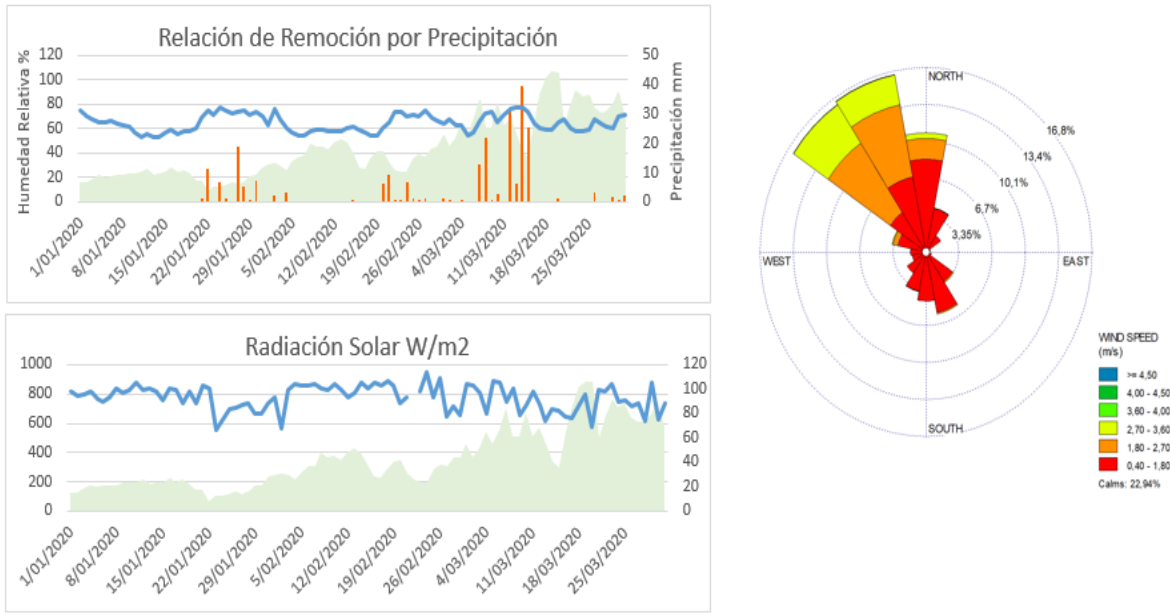


Ilustración 29. Meteorología Estación Lagos del Cacique

Estación Lagos I

Como lo muestran la tabla 12 y la ilustración 30, la temperatura promedio del mes de marzo aumentó en un 1.2°C respecto a abril, por su parte la humedad relativa también tuvo ese leve cambio disminuyendo un 0.5%, esto cambios no serían los esperados toda vez que la precipitación acumulada ha aumentado y la radiación solar ha disminuido. También existió un muy leve cambio en la dirección y velocidad del viento entre los meses de febrero y marzo.

Del Ozono se puede ver la relación de disminución de su concentración en los días de lluvia así como la disminución de la radiación solar máxima y de aumento en los días más soleados.

Tabla 12. Variables meteorológicas estación Lagos I

Estación Lagos I						
Mes	Temp	Lluvia	Hum	Rad Máx Prom	Dir. del	Vel. del

	Prom [°C]	Acum [mm]	Prom [%]	[W/m ²]	Viento Frecuente [°]	Viento Prom [m/s]
enero	25.9	11.4	61.1	831.3	--	--
febrero	25.4	3.2	62.2	833.7	NO	1.44
marzo	26.9	73.2	61.7	815.4	NNO	1.27

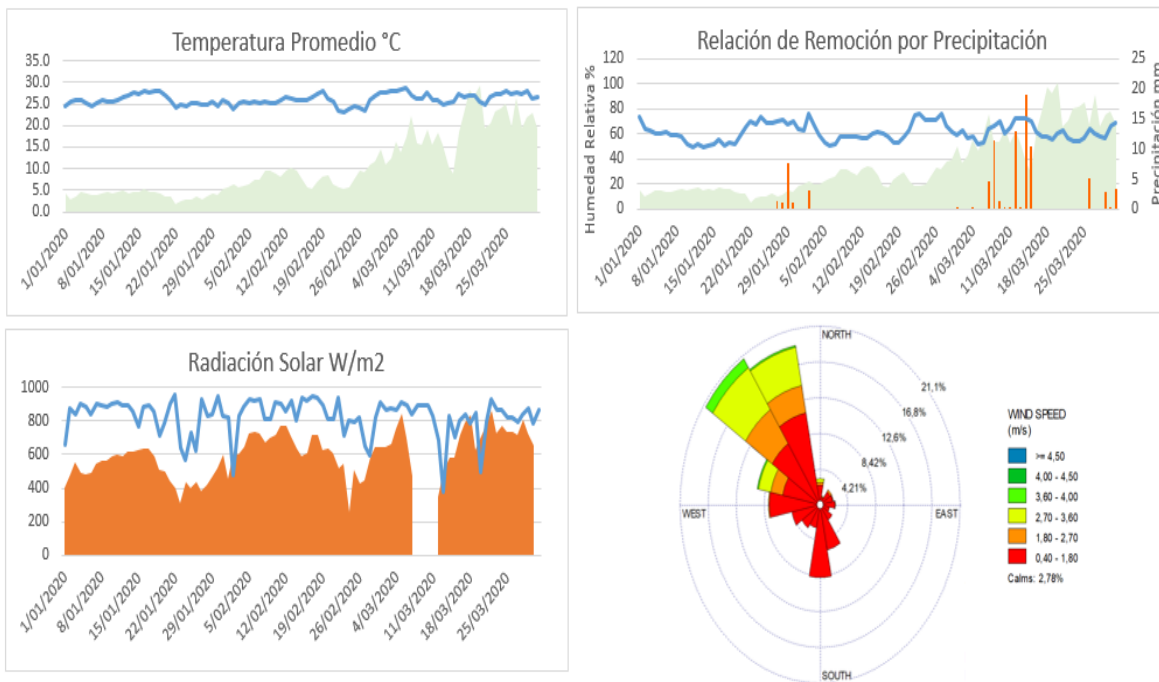


Ilustración 30. Meteorología Estación Lagos I

Estación Santa Cruz

La estación Santa Cruz también evidencia el incremento de la precipitación para el mes de marzo. Para las demás variables de temperatura, humedad promedio, radiación solar, dirección y velocidad del viento presentaron muy poca diferencia entre los meses de febrero y marzo. Teniendo cuenta lo anterior se esperaría que la contaminación de marzo estuviera en igual o inferiores niveles que en febrero.

Tabla 13. Variables meteorológicas estación Santa Cruz

Estación Santa Cruz						
Mes	Temp Prom [°C]	Lluvia Acum [mm]	Hum Prom [%]	Rad Máx Prom [W/m ²]	Dir del Viento [°]	Vel. Del Viento [m/s]
enero	26.4	42.4	63.2	713.5	NO	1.42
febrero	27.3	9.3	61.0	776.2	NO	1.42

marzo	27.2	70.4	61.6	785.5	NNO	1.57
-------	------	------	------	-------	-----	------

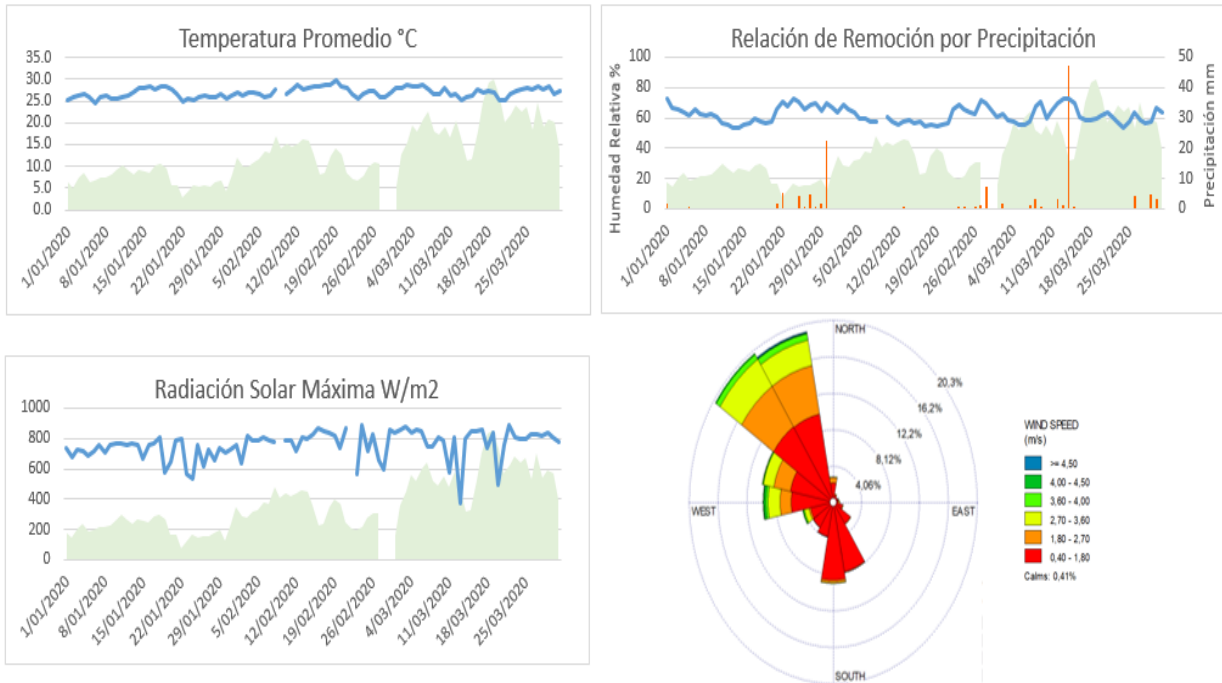


Ilustración 31. Meteorología Estación Santa Cruz

2.3. Índice de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Bucaramanga

Previamente se pudo observar el estado de la calidad del aire en cada una de las gráficas que representan las concentraciones de los contaminantes monitoreados, en esta sección se establecerá el valor del índice de calidad del aire – ICA para un periodo mensual, de los contaminantes criterio que tuvieron excedencias a la norma como los son el PM10 y el PM2.5.

El ICA se calcula a partir de la concentración del contaminante, utilizando la fórmula señalada en el artículo 21 de la Resolución 2254 de 2017, aquí se determina un ICA mensual y para ello se establece la concentración promedio mensual del contaminante utilizando las concentraciones horarias válidas en el mes por cada estación.

Tabla 14. ICA Mensual para contaminantes criterio PM10 y PM2.5

Mes	Enero		Febrero		Marzo	
PM10						
Estación	Concentración Promedio mensual - $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ICA	Concentración Promedio mensual - $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ICA	Concentración Promedio mensual - $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ICA
Cabecera	ND*		58	53	83	65
Ciudadela	39	36	56	52	74	61
San Francisco	35	32	55	51	89	68
La Ciudadela	35	32	54	50	67	57
Lagos del Cacique	35	32	58	53	113	80
Lagos I	29	27	49	45	90	69
Santa Cruz	43	40	68	58	121	84
PM2.5						
Estación	Concentración Promedio mensual - $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ICA	Concentración Promedio mensual - $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ICA	Concentración Promedio mensual - $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ICA
San Francisco	18	61	32	90	70	166
La Ciudadela	16	57	28	82	49	133
Lagos del Cacique	20	65	37	100	71	167
Lagos I	14	53	27	80	66	162
Santa Cruz	20	65	34	94	55	150

*No cumple con el criterio de 75% de datos válidos

De los ICA obtenidos se puede decir que el área metropolitana de Bucaramanga para los meses de enero y febrero de 2020 tuvo un aire en estado *aceptable* cuyos efectos sería *posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles*, pero en marzo un aire *dañino para la salud* de la población en general, en el que *todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud*. Los *grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud*.

3. Causas de la Contaminación en el Área Metropolitana de Bucaramanga

Como lo mostraron los análisis de las variables meteorológicas registradas por las estaciones de la CDMB y el AMB, en el área metropolitana de Bucaramanga las condiciones atmosféricas del mes de marzo de 2020 fueron similares los meses de enero y febrero de 2020, además presentó muchos más días de precipitaciones. Dicho esto, se esperaba que las concentraciones de los

contaminantes criterio, se hubieran presentado en los mismos o menores niveles que en los meses de enero y febrero; sin embargo, la situación de contaminación del aire que se dio en el mes de marzo se podría catalogar anormal e inesperada.

Desde mediados del mes de marzo se presentaron en Bucaramanga dos medidas que suponen mejorarían la calidad del aire, la primera un pico y placa ambiental declarado por la Alcaldía de Bucaramanga del 14 al 17 de marzo de 2020 por franjas horarias, y la segunda el toque de queda del 20 al 24 de marzo declarado por la Gobernación de Santander a raíz de la contingencia sanitaria por el COVID-19 y que continuó por los restantes días de marzo, en los cuales disminuyeron las fuentes móviles rodando por la ciudad. El efecto de estas medidas se vio reflejada en la disminución del contaminante NO₂ pero no para los contaminantes PM₁₀ y PM_{2.5}, que por el contrario presentaron los niveles más altos. Lo que conlleva a pensar que la generación de tanta contaminación en marzo no fue por las fuentes móviles y fijas de la ciudad, sino por incendios forestales o quemas de biomasa reportados en nuestra región.

Para ello, se consultó el portal⁹ del IDEAM dispuesto para el monitoreo de puntos de calor en Colombia, los cuales son detectados por el satélite de la Nasa VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), la mayoría de los puntos identificados por el satélite son incendios en áreas con algún tipo de vegetación, pero algunos pueden ser llamas por combustión de gases o tormentas eléctricas.

La consulta al portal del IDEAM se realizó para Colombia, luego para la región Caribe y la Andina y por último para el departamento de Santander. Los datos arrojados indican que, para marzo de 2020, en Colombia se presentaron 70,899 puntos calientes, aumentando un 110% respecto al mismo mes del año anterior. De igual forma, los puntos calientes en Santander en el mes de febrero y marzo del 2020 aumentaron el doble que en la misma fecha del año 2019, tal como se presenta en la tabla 15. Igualmente en la ilustración 32 se relacionan las localizaciones de los puntos calientes en Santander.

Tabla 15. Cantidad de puntos calientes Santander y Colombia

Año	Santander				Colombia			
	enero	febrero	marzo	abril	enero	febrero	marzo	abril
2020	197	509	994	167	22,263	48,899	70,899	12,798

⁹ <http://puntosdec calor.ideam.gov.co/>

2019	198	302	422	163	16,820	47,667	33,629	14,976
------	-----	-----	-----	-----	--------	--------	--------	--------

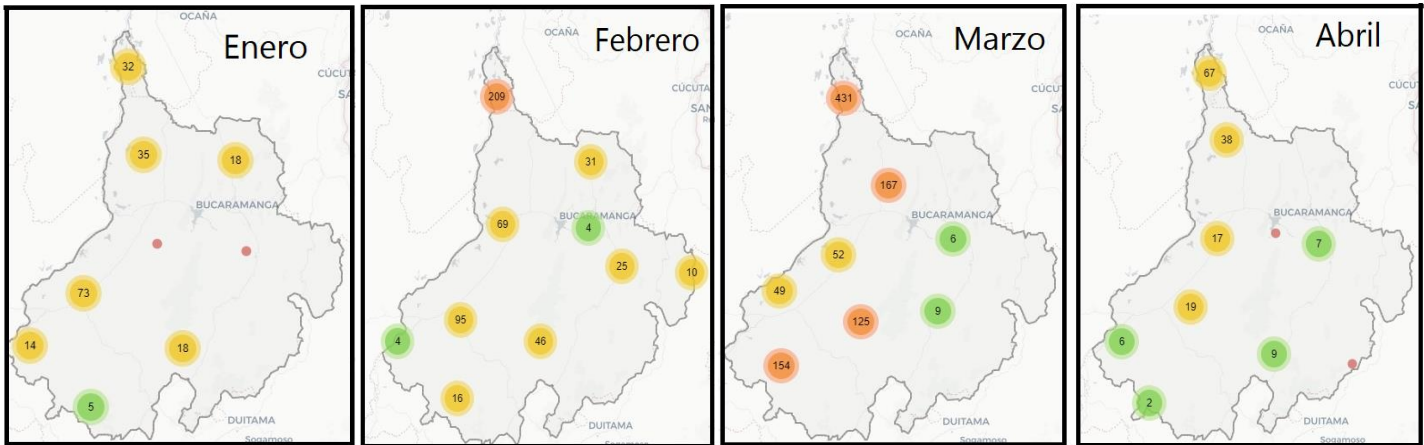


Ilustración 32. Localización de Puntos Calientes en Santander

Analizada la información de focos de calor de Santander en el mes de marzo, con la información de velocidad y dirección del viento reportada por las estaciones de calidad del aire, recordando que los registros del viento se realizan a una altura de menos de 10m.

Una vez cruzada la rosa de vientos de la estación Ciudadela de marzo con el mapa de puntos de calor del departamento de Santander del mismo mes, como se muestra en la ilustración 33, se identifican alrededor de 600 puntos de calor que tendrían influencia en el área metropolitana de Bucaramanga, toda vez que los vientos de mayor velocidad provienen del noroeste, por lo cual se puede decir que parte del material particulado que afectó la calidad del aire de Bucaramanga y su área metropolitana, se generaron en los municipios de Puerto Wilches, Sabana de Torres, Rionegro y El Playón.

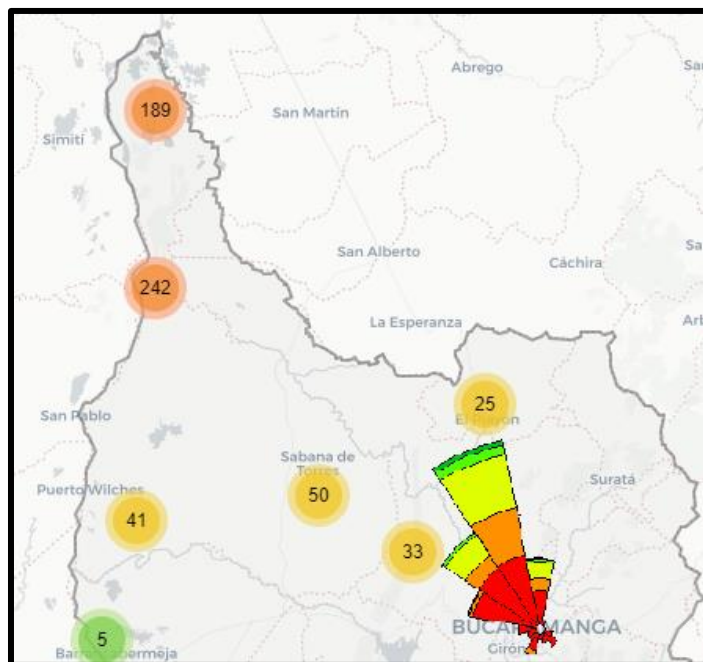


Ilustración 33. Puntos de Calor cercanos a Bucaramanga

En este mismo sentido, el IDEAM, realizó la nota técnica “Análisis de micrometeorología para dispersión de contaminantes en alrededores de Bucaramanga durante el 14 y 27 de marzo de 2020”, obteniendo la siguiente conclusión a partir de analizar datos del viento a 850 hPa (aproximadamente 1500m de altura):

*“La respuesta a este comportamiento promedio del viento tanto en horas estables (00Z, 06Z y 12Z) como en la hora convectiva (18Z), fue divergencia en niveles bajos sobre el centro del país, el cual incluyó gran parte del departamento de Santander. Divergencia en niveles bajos de la atmósfera está asociado con movimientos descendentes del aire, lo que **inhibe movimientos verticales de la atmósfera**, haciéndola más estable y **favoreciendo** presencia de fenómenos como **niebla** y **brumas** reduciendo la visibilidad dependiendo el grado de polvo y/o **contaminantes presentes en la atmósfera**”.*

Es decir, que determinó los patrones de circulación general del viento a diferentes horas en Colombia y el departamento de Santander, encontrando que la masa de aire que asciende desde el suelo llega hasta cierta altura y empieza nuevamente a descender a la tierra, en vez de seguir ascendiendo como normalmente sería, este efecto provoca que no haya una dispersión de los contaminantes de forma

vertical, sino que llega hasta cierta altura de la atmósfera y allí se reposa la contaminación atmosférica.

Adicionalmente, el IDEAM utilizando los datos horarios de tres de sus estaciones climatológicas denominadas Neomundo, Llano Grande y Floridablanca, analizaron la dirección del viento por horas de estas estaciones, con lo cual concluyeron que:

“...el comportamiento local de la dirección del viento sugiere que **existe una recirculación del aire que no permite el transporte de la polución hacia otros lugares de la zona analizada.**”

Es decir que si en horas de la tarde se recibió la contaminación procedente del noroeste en vez de seguir hacia otras zonas fuera del área metropolitana, las partículas retornan en las primeras horas de la noche al viento soplar desde el sureste - suroeste.

Conclusiones

Durante el primer trimestre del 2020 se realizó el monitoreo automático de los contaminantes de la calidad del aire en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón, utilizando los sistemas de vigilancia de la calidad del aire de la CDMB y el AMB, los contaminantes medidos fueron PM2.5, PM10, O₃ y NO₂, acompañado con la medición de las variables temperatura, humedad relativa, precipitación, radiación solar, dirección y velocidad del viento.

De acuerdo con el análisis a la información reportada por el monitoreo realizado, el estado de la calidad del aire fue deteriorándose en el transcurrir de los meses de enero, febrero y marzo, por los contaminantes PM10 y PM2.5, pero fueron las concentraciones del PM2.5 las más críticas generando que el Índice de Calidad del Aire – ICA de marzo fuese *dañino para la salud* de la toda la población, contraponiéndose al ICA de enero y febrero cuyo registro fue aceptable. Tan crítica fue la situación de la contaminación del aire en marzo que el número veces que la concentración de PM2.5, para un tiempo de exposición de 24 horas, excedió el nivel máximo permisible, fue entre 24 y 30 veces, para las cinco estaciones del AMB, es decir casi, en todo el mes de marzo se excedió la norma.

De igual importancia es el análisis de las condiciones meteorológicas, que juega un papel muy esencial en la remoción, dilución y transporte de la contaminación atmosférica. Se pudo observar mayor cantidad de días con lluvias y con mayor intensidad en marzo frente a enero y febrero, como también se pudo observar que comportamiento del viento es el mismo en todos los meses y que vientos inferiores a 1.8 m/s provienen de todas las direcciones mientras los vientos con velocidades entre 1.8 y 4.5 m/s provenientes del noroeste. Es decir, que Bucaramanga y su área metropolitana en el mes de marzo existieron condiciones meteorológicas para que en condiciones normales de emisiones de contaminantes a la atmósfera, se hubiera mantenido un índice de calidad del aire aceptable.

Especialmente en Bucaramanga, desde mediados de marzo se implementó la medida de pico y placa ambiental para que condujera a disminuir la concentración del PM2.5, seguida del aislamiento poblacional a causas de la emergencia sanitaria por COVID-19, pese a ello la concentración siguió aumentando, no obstante disminuyó el dióxido de nitrógeno.

No solo el área metropolitana de Bucaramanga se vio afectada por la alta contaminación del aire por PM2.5, sino también en ciudades como Bogotá y Medellín, a raíz de los incendios forestales reportados.

Igualmente, por medio del monitoreo de puntos de calor en Colombia que realiza el IDEAM, se identifican 70,899 puntos de calor en marzo de 2020, mientras que en febrero de 2020 se identificaron 48,899 puntos, es decir se presentó un aumento del 45% para toda Colombia. En el departamento de Santander para marzo se presentaron alrededor de 600 puntos de calor localizados al noroeste de Bucaramanga, en municipios como Puerto Wilches, Sabana de Torres, Rionegro y El Playón, lográndose identificar la fuente de emisión de material particulado que contaminó el aire de la ciudad.

Otra causa que identificó el IDEAM para la permanencia de la contaminación en la atmósfera del área metropolitana de Bucaramanga en marzo, fue la recirculación del aire que evitó el transporte de la contaminación hacia otros lugares, así como movimiento descendentes del aire a niveles bajos de la atmósfera que impidió movimientos verticales favoreciendo fenómenos como la niebla y la bruma.

Referencias

- Lección 4 Contaminantes del aire, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua. Recuperado de: <https://cidta.usal.es/>
- Respiran regios aire saturado de microcontaminantes – El Norte. (2017, 26 de
- IDEAM, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2016. Bogotá, D.C., 2017.
- Convenio de Asociación No. 195 entre el Área Metropolitana de Bucaramanga y la Universidad Pontificia Bolivariana. (2018, marzo). *Inventario de emisiones atmosféricas, año base 2016*. Bucaramanga, Santander.
- Resolución No 2257. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá D.C., Colombia, 01 de noviembre de 2017
- Departamento Nacional de Planeación. (2018, 31 de julio). *Política para el Mejoramiento de la Calidad Del Aire* (Documento CONPES 3943). Bogotá D.C., Colombia: DNP.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Octubre 2010.) *Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*. Bogotá D.C., Colombia.
- Ruiz M, J. F & Melo F, J. Y. (2020). Modelación Numérica de Tiempo y Clima IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: [//bart.ideam.gov.co/wrfideam/](http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/)