

Informe de Calidad del Aire

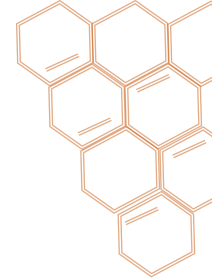


Tomada de Facebook



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA
Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio

Carrera 23 # 37-63 Bucaramanga, Santander, Colombia



Dr. MARTIN CAMILO CARVAJAL CÁMARO

Director General

Dr. NELSON ANDRES MANTILLA OLIVEROS

Subdirector de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio

Ing. Esp. MARIA CARMENZA VICCINI MARTINEZ

Coordinadora Gestión del Conocimiento e Investigación Ambiental

Ing. JOHANNA PATRICIA ARDILA LERMA

Profesional Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire

Bucaramanga, enero de 2020

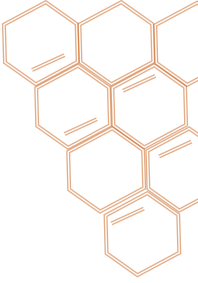
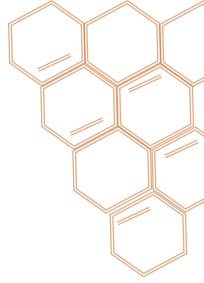


TABLA DE CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN 3
- OBJETIVOS 3
- 1. GENERALIDADES 4
 - 1.1. Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de la CDMB..... 4
 - 1.2. Material Particulado..... 5
 - 1.3. Ozono Troposférico..... 6
 - 1.4. Resolución 2254 de 2017..... 6
- 2. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS..... 8
 - 2.1. Evaluación de la cantidad y calidad de los datos. 8
 - 2.1.1. Porcentaje de captura de datos de los equipos. 8
 - 2.1.2. Porcentaje de datos válidos..... 9
 - 2.2. Resultados Estación Ciudadela 10
 - 2.3. Resultados meteorológicos estación Ciudadela..... 12
 - 2.4. Resultados estación Floridablanca 15
 - 2.5. Resultados Meteorológicos Estación Florida 17
 - 2.6. Análisis del Índice de Calidad del Aire 20
- 3. CONCLUSIONES 21
- 4. REFERENCIAS 22



INTRODUCCIÓN

Pensar en calidad del aire es relacionar con la salud hombre, pues es uno de los recursos naturales renovables necesarios para la vida de los seres vivos, por eso la importancia de tener un aire limpio de sustancias tóxicas, sin embargo hoy en día y más en las grandes ciudades se habla de la contaminación del mismo como consecuencia de actividades antrópicas, como los son el transporte en vehículos, la obras civiles, las fuentes industriales o las quemas.

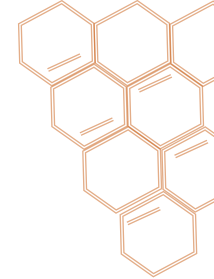
Los esfuerzos para los próximos años tanto para las autoridades ambientales como otras instituciones como el Ministerio de Minas y Energía en materia de calidad del aire, según lo estableció el documento CONPES 3943 del 31 de julio de 2018, deberán estar enfocadas al mejoramiento de la calidad del aire, es decir a la disminución de las concentraciones de los contaminantes en el aire, es por eso que la información generada por los sistemas de vigilancia como la reportada en este informe es un insumo para desarrollar planes, programas y proyectos para la prevención, reducción y control de la contaminación del aire y posteriormente realizar evaluación a los mismos.

La norma de calidad del aire es la Resolución 2254 de 2017, que indica los niveles máximos permisibles para cada contaminante criterio, en este informe se pretende determinar de acuerdo a los registros de la CDMB el cumplimiento o no de esta norma así como definir el índice de la calidad del aire para cada contaminante monitoreado.

OBJETIVOS

Informar acerca de los resultados de los monitoreos a los contaminantes criterios PM10 y Ozono, en el área de influencia de las estaciones de calidad del aire de la CDMB a partir de:

1. Determinar el cumplimiento de la norma de calidad del aire, de acuerdo a los registros de la CDMB de los contaminantes criterios monitoreados.
2. Establecer el índice de calidad del aire - ICA de los contaminantes criterios medidos durante el año 2019.
3. Relacionar el comportamiento de los contaminantes monitoreados con las condiciones meteorológicas.



1. GENERALIDADES

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, con el propósito de determinar la calidad del aire.

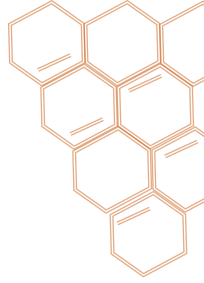
La información generada por los SVCA es insumos para la formulación de planes de prevención, reducción y control de la contaminación del aire, en pro de cumplir metas de disminución de las concentraciones para el año 2030, como fueron fijadas en la Resolución 2254 de 2017.

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: Material Particulado inferior a 10 micrómetros (PM10) y el gas Ozono Troposférico (O₃). La CDMB en el año 2019 presentó una propuesta al Ministerio de Ambiente para la modernización y ampliación de la red de vigilancia de la calidad del aire con más estaciones y equipos en toda el área metropolitana, con lo cual se espera contar en los próximos años.

La tabla 1 relaciona la ubicación exacta de cada estación y el contaminante criterio que se mide en estas.

Tabla 1. Estaciones del SVCA

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 Telebucaramanga 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.

1.2. Material Particulado

Es una mezcla compleja de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire, que varían en tamaño, forma y composición. Según su tamaño, se clasifican en Partículas Suspendidas Totales, Partículas Menores a 10 micras (PM10) o Partículas Menores a 2.5 micras (PM2.5).

Diversos estudios epidemiológicos realizados a nivel mundial, han demostrado que el material particulado no es un factor causal directo de enfermedad o mortalidad respiratoria aguda sino un factor asociado, que en combinación con otros factores produce un aumento de las enfermedades respiratorias, y cuyo riesgo para el individuo varía en función de las condiciones fisiológicas, de la edad y de los antecedentes de enfermedad cardiorrespiratoria.

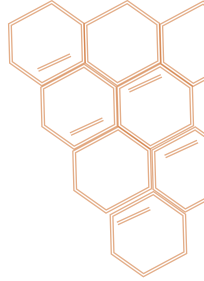
Los efectos sobre la salud generados por el material particulado se pueden caracterizar así:

Fracción Inhalable: Irritación en los ojos y de las vías respiratorias, conjuntivitis irritativa y abrasiones en la córnea.

Fracción Torácica: Reducción de la capacidad pulmonar y agotamiento respiratorio. Desarrollo de problemas respiratorios y cardiovasculares.

Fracción Respirable: Puede desarrollar cardiopatías y neuropatías, así como enfermedades crónicas de obstrucción pulmonar. Agravan el asma y se asocian al desarrollo de diabetes.

Esta descripción fue tomada del Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2016, publicado por Minambiente e IDEAM.



1.3. Ozono Troposférico

El Ozono es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratosfera) y capas bajas de la atmósfera, pero mientras el estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, ya que actúa como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo llamado ozono troposférico es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos y causa toxicidad en plantas.

El ozono troposférico no es emitido directamente a la atmósfera, sí no que es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos los cuales actúan como facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos facilitadores sí son emitidos directamente a la atmósfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la radiación solar.

Los principales efectos en la salud que produce el O₃ son irritación del sistema respiratorio, reducción de la función pulmonar, agrava el asma, inflama y daña las células que recubren los pulmones, agrava las enfermedades pulmonares crónicas y causa daño pulmonar permanente.

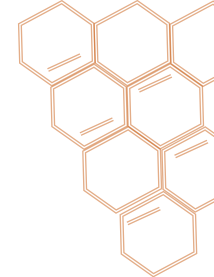
1.4. Resolución 2254 de 2017

En la Resolución 2254 de 2017 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ajustó los niveles máximos permisibles para el territorio Colombiano, al corto y largo plazo de la concentración en el aire de los contaminantes criterio y tóxicos que causan un riesgo en la salud humana y del medio ambiente.

En el periodo entre el 1 de julio de 2018 y el 31 de diciembre de 2029 el nivel máximo permitido para los contaminantes criterios PM₁₀ y Ozono será como lo especifica la tabla 2.

Tabla 2. Nivel Máximo Permissible de Contaminantes

Contaminante	Unidad	Nivel Máximo Permissible	Tiempo de Exposición
PM ₁₀	µg/m ³	50	Anual
		75	24 Horas
O ₃	µg/m ³	100	8 Horas



Para reportar el estado de la calidad del aire, esta misma resolución definió el Índice de Calidad del Aire – ICA, en una escala numérica de 0 a 500 (adimensional) dividida en 6 colores desde Buena a Peligrosa, a los cuales asocia 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 como lo son: ozono (O₃), material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO).

La tabla 3 describe de forma general el Índice de Calidad del Aire – ICA, entre más bajo sea el ICA menos riesgosa es la contaminación atmosférica.

Tabla 3. Descripción del ICA y Puntos de Corte

Rango y Color	Estado de la calidad del Aire	Efectos
0 – 50 Verde	Buena	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud.
51 – 100 Amarillo	Aceptable	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.
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.
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.
201 – 300 Púrpura	Muy Dañina para la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.



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.
-----------------------------	-----------	---

La tabla 4 indica los puntos de corte para las concentraciones de 24 horas y 8 horas para los contaminantes PM10 y Ozono respectivamente.

Tabla 4. Puntos de Corte para PM10 y O3

ICA	O3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] 8 horas	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] 24 horas
0 – 50 Verde	0 – 106	0 – 54
51 – 100 Amarillo	107 – 138	55 – 154
101 – 150 Naranja	139 – 167	155 – 254
151 – 200 Rojo	168 – 207	255 – 354
201 – 300 Púrpura	208 – 393	355 – 424
301 – 500 Marrón	394	425 – 604

2. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

2.1. Evaluación de la cantidad y calidad de los datos.

2.1.1. Porcentaje de captura de datos de los equipos.

El porcentaje de captura de datos de los equipos se determina para evaluar la operación de cada equipo que conforman las estaciones del SVCA y se calcula a partir de la cantidad máxima de datos que se pueden obtener en un periodo determinado (N) y la cantidad de datos recolectados durante este mismo periodo (d), utilizando la siguiente ecuación $\% \text{ de Captura} = (d/N) * 100$.

La tabla 5 muestra el porcentaje de datos capturados por los equipos, que son automáticos por tanto registra datos hora a hora los siete días de la semana, para el año 2019 corresponden a 365 días, por tanto, teóricamente se debieron haber registrado 8760 datos horarios, sin embargo se presenta que los equipos no registra el 100% del tiempo debido a actividades de mantenimientos o fallas técnicas imprevistas tanto en el equipo de monitoreo como en los equipos de soporte.

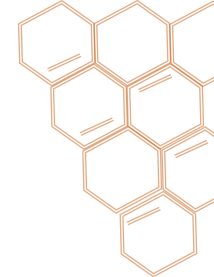


Tabla 5. Porcentaje de Datos Capturados por Equipos

Estación	Ciudadela	Cabecera	Florida
Equipo	Monitor PM10 BAM 1020	Monitor PM10 BAM 1020	Analizador de Ozono O3 42M
d*	7,936	3,571	7,796
N**	8,760	8,760	8,760
% de Captura	91%	41%	89%

* Cantidad de datos recolectados

** Cantidad máxima de datos que se pueden obtener

En el caso del equipo monitor PM10 de la estación Cabecera tuvo un desempeño del 41%, por tanto los registros obtenidos por este equipo no se pueden tener en cuenta en este informe. No tener la suficiente recolección de datos es esta estación se debió a cortes de energía eléctrica por daños en cableado y el hurto de partes del equipo de refrigeración.

2.1.2. Porcentaje de datos válidos.

Según el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del IDEAM, es necesario que el porcentaje de datos válidos empleados para realizar los cálculos de promedios de concentraciones de los contaminantes criterios, para realizar las comparaciones con la norma de calidad de aire y la estimación del número de excedencias, sea igual o superior al 75%.

Dicho indicador 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 $\%Val_datos = (V/N) * 100$.

La tabla 6, muestra que los datos que no son aceptables para tener en cuenta en este reporte son los del contaminante PM10 de la estación de Cabecera por no superar el criterio del 75%, el resto cumple y se pueden usar en este reporte de calidad de aire.

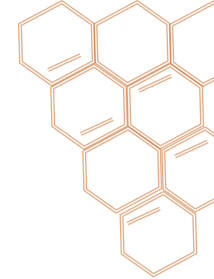


Tabla 6. Porcentaje de Datos Válidos por Estación

Estación	Ciudadela	Cabecera	Florida
Equipo	Monitor PM10 BAM 1020	Monitor PM10 BAM 1020	Analizador de Ozono O3 42M
V*	334	154	323
N**	365	365	365
% de Captura	92%	42%	88%

* Cantidad de datos válidos

** Cantidad de datos que debieron ser reportados

2.2. Resultados Estación Ciudadela

Para comparar los valores de concentración obtenidos en el monitoreo de material particulado PM10 con la norma nacional para un tiempo de exposición de 24 horas, se debe calcular el promedio aritmético a partir de los respectivos valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de representatividad temporal del 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día.

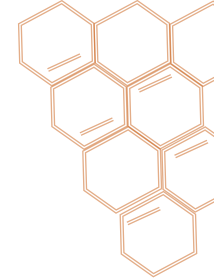
En la figura 1 se realiza la comparación de la concentración promedio diaria con la norma y de fondo la escala de colores del Índice de Calidad del Aire, en el que se puede observar que gran parte del año 2019 las concentraciones se mantienen por debajo de la norma, sin ningún riesgo para la salud, aunque en los meses de febrero, marzo, octubre y noviembre desmejoró a aceptable el estado de la calidad del aire.

Los incrementos en el meses de octubre y noviembre se debe consideran el desarrollo de obras en el sector como lo son la construcción de un nuevo edificio en la universidad UTS y la remodelación de andenes en la calle de los Estudiantes, toda vez que la remoción, descarga, en entre otras actividades con tierra generan gran cantidad de material particulado.

La concentración de PM10 se presentó en los siguientes rangos:

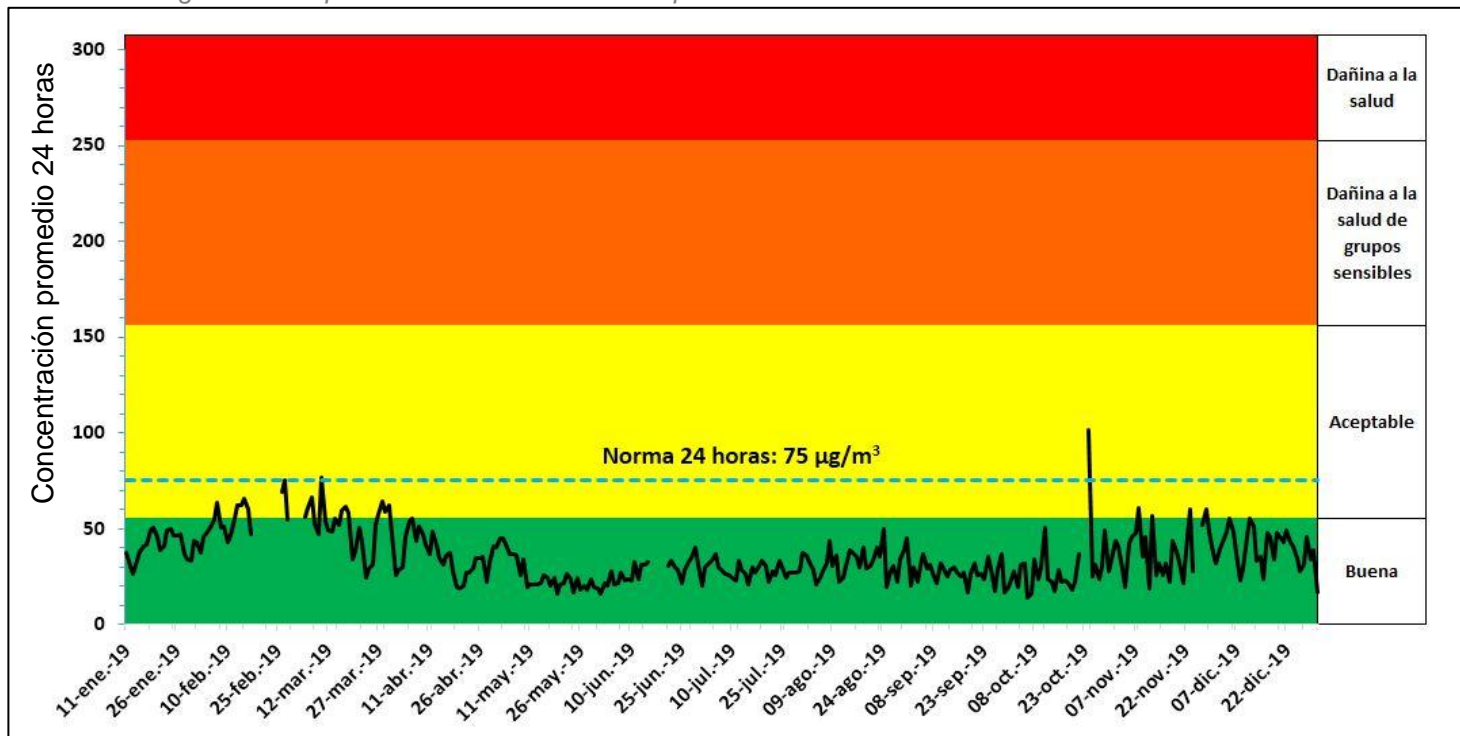
- Primer trimestre entre 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Segundo trimestre entre 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Tercer trimestre entre 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Cuarto trimestre entre 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 101 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Donde en el primer trimestre se presentaron dos (2) excedencias a la norma los días 27 de febrero de 2019 y 10 de marzo de 2019 por valor de concentración de 75.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 76.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente y durante el segundo semestre se



presentó una (1) excedencia a la norma el día 24 de octubre de 2019 por un valor de concentración de 101 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 1. Comparación de la concentración promedio diaria de PM10 de Ciudadela con la norma



El Índice de Calidad del Aire - ICA diario de PM10 se calcula a partir del promedio diario, de acuerdo a la ecuación indicada en el Artículo 21. Cálculo del ICA, de la norma de calidad del aire Resolución 2254 de 2017 teniendo en cuenta los puntos de corte relacionados en la tabla No. 6 de esta misma norma.

Entre más alto sea el Índice de Calidad del Aire el estado de la calidad del Aire está más deteriorado. La tabla 7 relaciona el ICA diario de la estación de ciudadela durante el año 2019

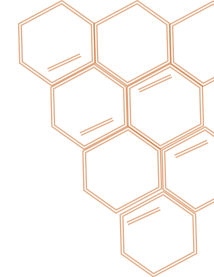


Tabla 7. Índice de Calidad del Aire Ciudadela

ICA 24H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
enero	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	35	28	25	31	35	38	39	45	47	42	36	40	45	46	43	43	43	34	31	31	41
febrero	40	35	42	45	46	51	55	47	48	43	43	51	55	55	56	54	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	61	ND				
marzo	ND	ND	ND	ND	ND	54	57	49	44	62	50	45	45	51	48	53	54	52	31	36	47	40	23	27	29	48	52	55	53	55	44
abril	24	26	27	42	51	51	41	47	43	39	34	45	38	32	29	33	35	26	18	17	18	25	25	27	32	32	33	21	30	38	
mayo	37	41	42	37	34	34	33	24	31	18	19	20	19	20	24	22	19	23	15	19	20	25	22	16	23	17	19	17	22	18	17
junio	15	20	19	25	20	20	25	21	22	21	30	22	29	29	30	ND	ND	ND	ND	ND	28	31	27	26	20	26	30	32	37	29	
julio	19	27	30	31	34	28	26	25	24	23	21	31	26	25	19	28	25	28	31	28	21	26	24	31	28	23	25	25	25	26	34
agosto	33	30	26	20	22	26	30	40	28	33	21	22	28	36	35	32	27	37	27	28	31	37	33	46	18	26	28	21	31	36	41
septiembre	19	27	21	28	34	27	29	23	20	30	27	23	26	27	25	23	25	16	25	30	24	25	22	32	27	16	27	34	16	18	
octubre	22	25	18	29	29	13	15	32	22	27	47	22	21	16	26	20	21	20	17	21	34	ND	ND	74	23	29	22	28	46	26	32
noviembre	40	38	27	18	39	42	44	54	33	42	17	52	24	30	24	29	21	40	35	30	20	35	53	26	ND	ND	48	53	45	35	
diciembre	29	36	40	45	51	45	35	21	27	42	51	47	31	32	22	44	42	32	44	42	40	45	40	38	32	26	29	42	31	36	16

*ND: Datos no registrados

2.3. Resultados meteorológicos estación Ciudadela

Algunos fenómenos meteorológicos influyen en el crecimiento o disminución de los niveles de material particulado en la atmósfera, por ejemplo la lluvia y el viento. La precipitación es el proceso más eficiente para la reducción de los contaminantes de la atmósfera, dan lugar a bajos niveles de partículas durante la lluvia como en los periodos tras ella.

En la figura 2 se puede interpretar el resultado de la lluvia en la remoción del contaminante PM10, y el hecho que se presenten mayores concentraciones en los días que no se presentan precipitaciones.

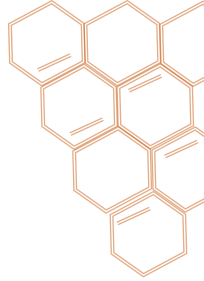
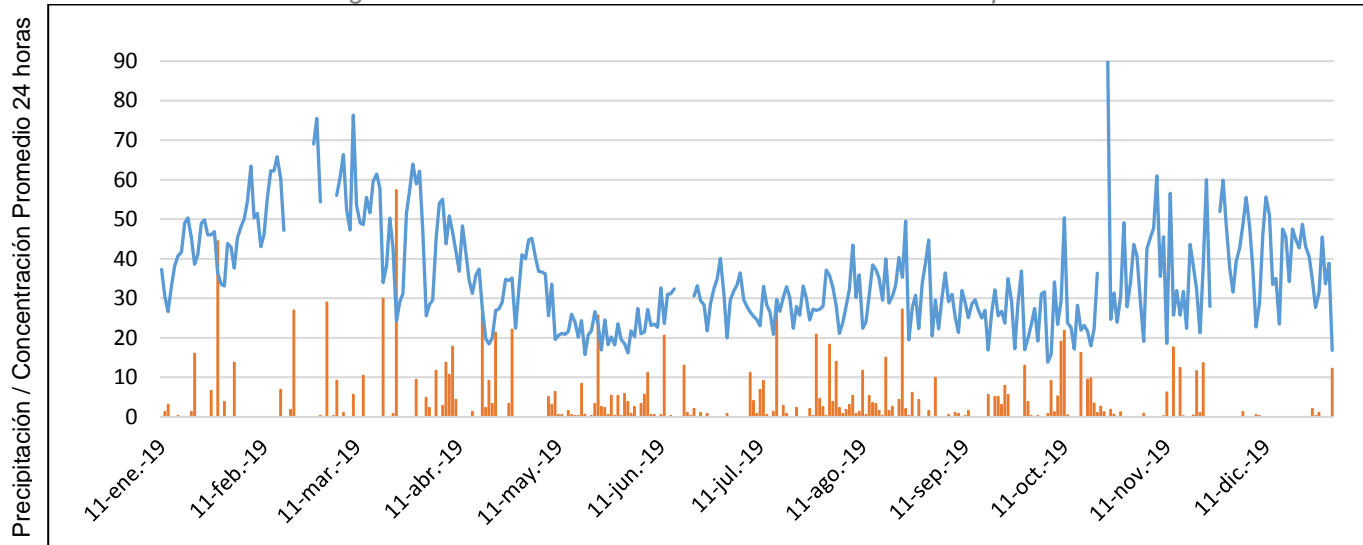


Figura 2. Relación de remoción del contaminante PM10 por lluvia



El viento también desempeña un papel significativo en el transporte y dilución de los contaminantes. Cuando la velocidad del viento aumenta, mayor es el volumen de aire que se desplaza por unidad de tiempo, por las zonas donde está localizada una fuente de emisión de contaminantes. En consecuencia la concentración disminuye si la emisión es constante en la zona fuente. La velocidad del viento afecta el tiempo de recorrido de los contaminantes entre la fuente y los receptores.

La dispersión de contaminantes en la atmósfera, está influenciada significativamente por la variabilidad de la dirección del viento. Si la dirección del viento es constante, la misma área estará continuamente expuesta a niveles relativamente altos de contaminación. Por otra parte, cuando la dirección del viento es cambiante, los contaminantes serán dispersados sobre un área mayor y las concentraciones resultarán relativamente menores.

En la figura 3 se presenta la velocidad y dirección del viento registrada en la estación Ciudadela, para el año 2019 los vientos se desplazaron predominantemente con velocidades entre 0.4 m/s y 1.8 m/s con un 40.5% de representatividad y con dirección del viento predominante desde el Norte con un 16.2% de representatividad, seguidos por calmas con un 27% de representatividad.

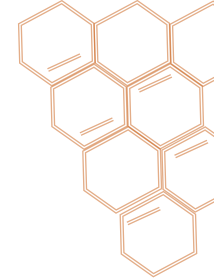
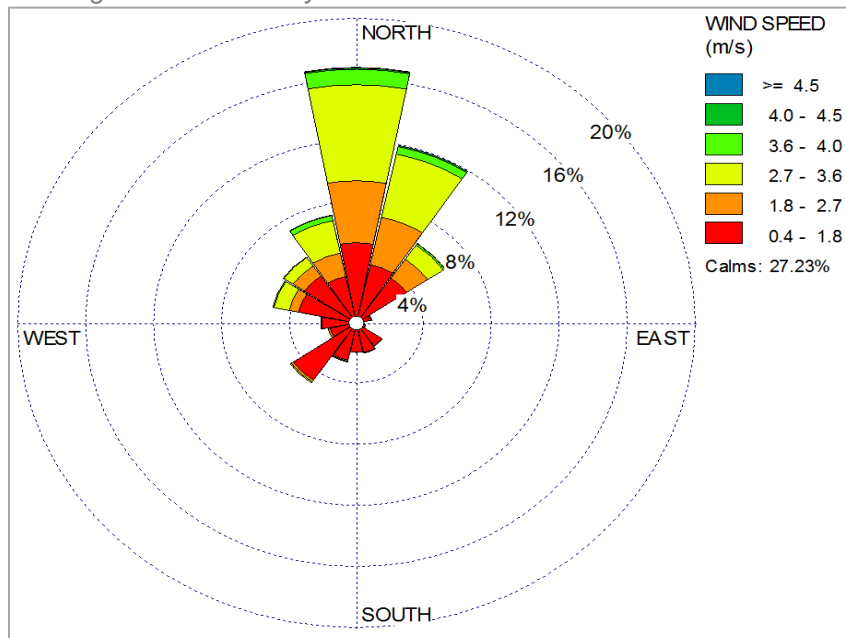


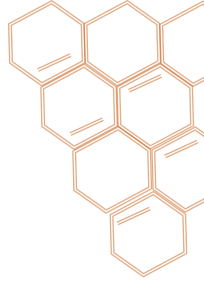
Figura 3. Velocidad y Dirección del Viento Estación Ciudadela



El comportamiento de las variables como lluvia acumulada, temperatura promedio, máxima, mínima y humedad promedio durante el 2019 se relaciona en la tabla 8, que indica para este periodo 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.

Tabla 8. Variables Meteorológicas Estación Ciudadela

REGISTRO MENSUAL						
Mes	Lluvia Acum [mm]	Temp Prom [°c]	Temp Máx [°c]	Temp Min [°c]	Hum Prom [%]	Rad Máx Prom [W/m ²]
enero	102.34	24.9	28.4	21.8	77.9	812
febrero	49.53	25.1	28.6	22.3	76.8	842
marzo	152.87	25.0	28.0	22.3	80.9	836
abril	170.64	24.8	28.1	22.2	83.7	843
mayo	78.37	24.8	28.3	22.2	82.6	813
junio	67.53	24.3	28.2	21.2	79.7	750
julio	99.26	24.2	28.5	20.7	77.6	785
agosto	142.14	24.0	28.6	20.4	79.1	793
septiembre	62.94	24.2	28.6	20.5	76.7	827
octubre	167.79	23.3	27.5	20.3	82.1	795
noviembre	64	23.7	27.3	20.7	80.9	712
diciembre	80.04	24.0	27.7	21.1	79.4	774



2.4. Resultados estación Floridablanca

La concentración máxima permitida del contaminante ozono (O_3) en el aire en el territorio nacional, de acuerdo a la norma para un tiempo de exposición de 8 horas equivalente a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Monitorear este contaminante requiere de equipos analizadores automáticos ya que solo a través de estos es posible obtener resultados de concentración horarios.

Con los datos horarios de la concentración de O_3 , se convierten a condiciones de referencia y se realiza el cálculo de los promedios móviles de 8 horas, por ejemplo el promedio móvil de las 4 p.m. se calcula del promedio de las concentraciones registradas entre las 9 a.m. y las 4 p.m. del mismo día, el de las 5:00 p.m. de los registros desde las 10 a.m. a las 5 p.m.; de igual manera se debe tener en cuenta el criterio de representatividad temporal del 75% de los datos, es decir un mínimo de 6 concentraciones horarias válidas. Y son estos valores de promedio móvil los comparados con la norma nacional para períodos de tiempo iguales a 8 horas.

La concentración de ozono para el año 2019 (barras) con la norma de 8 horas que equivale a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se representa en la figura 4.

Las concentraciones de Ozono de manera trimestral se registraron en los siguientes rangos:

- Primer trimestre entre $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Segundo trimestre entre $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Tercer trimestre entre $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Cuarto trimestre entre $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Durante el 2019 se presentaron (2) excedencias a la norma el día 26 de febrero de 2019 por valor de concentración $100.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $102.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 5 p.m. y 6 p.m. respectivamente.

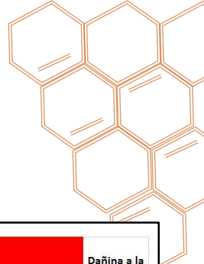
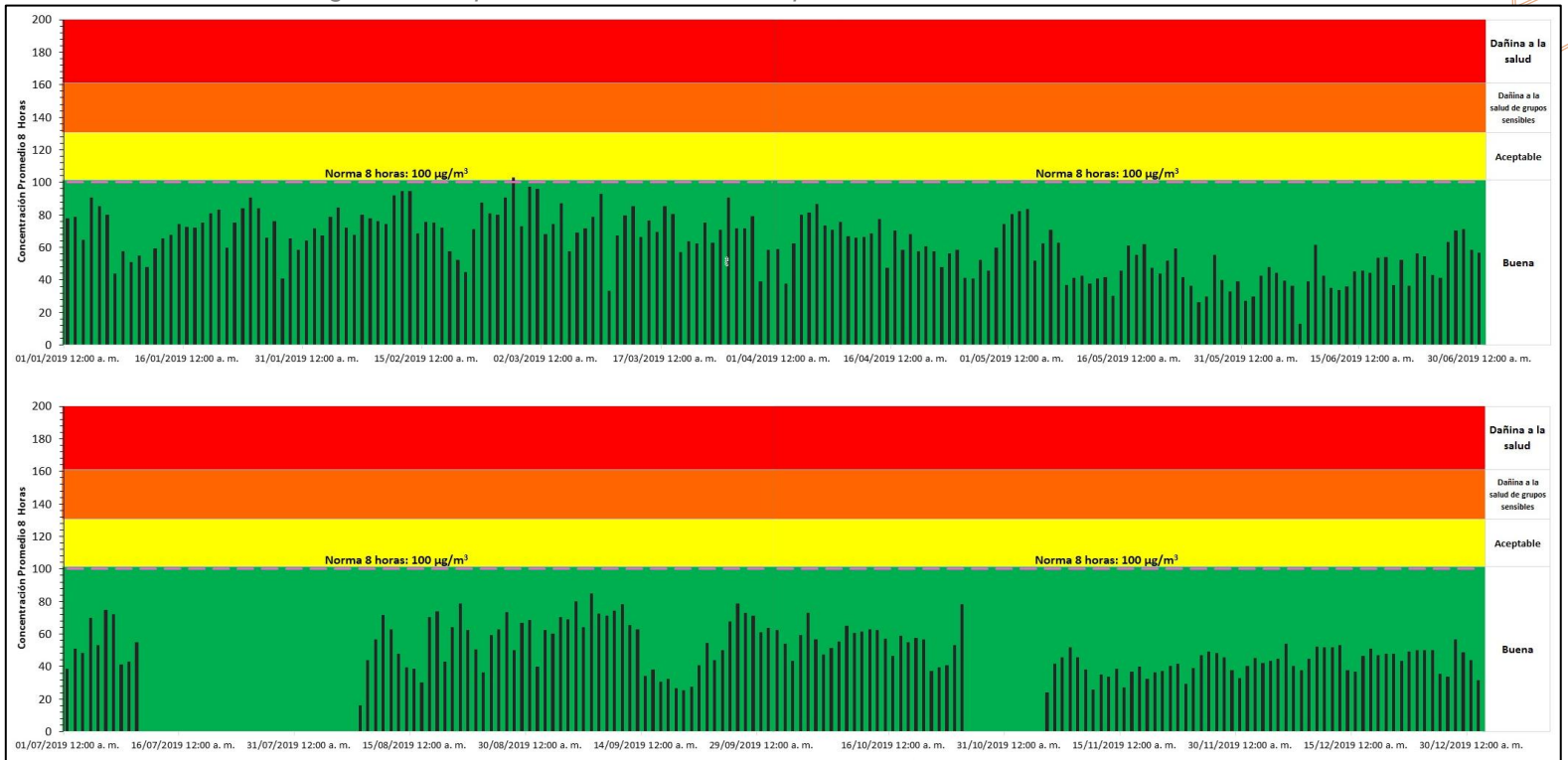


Figura 4. Comparación de concentración promedio 8 horas de Ozono con la norma



El periodo en el que se presentó mayor nivel de concentración fue del 12 de febrero al 01 de marzo de 2019 entre las 4:00 p.m. y las 6:00 p.m., ya que para estas horas se ha calculado la concentración utilizando la media móvil del conjunto de datos registrados entre las 10:00 a.m. y las 6:00 p.m. horas en las cuales se presentan mayor radiación solar.

El índice de calidad del aire se calcula a partir de la media móvil de 8 horas para el contaminante ozono a condiciones de referencia, es decir que para un día se determinan 24 valores del ICA, para efecto de resumir la calidad del aire se escogió el valor máximo diario del ICA y se relacionó en la tabla 9, donde muestra que el estado de la calidad del aire en la zona de influencia de la estación Florida durante el 2019 fue *buena*.

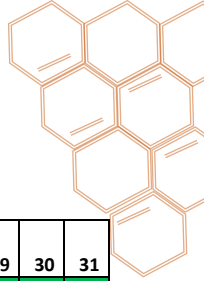


Tabla 9. Índice de Calidad del Aire Florida

ICA 8H	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
enero	37	37	30	43	40	38	21	27	24	26	23	28	31	32	35	34	34	36	38	39	28	36	40	43	40	31	36	19	31	28	30
febrero	34	32	37	40	34	32	38	37	36	35	43	45	45	32	36	36	34	27	25	21	34	41	38	38	43	49	34	46			
marzo	45	32	35	41	27	33	34	37	44	16	32	37	40	31	36	33	40	38	27	30	29	35	30	33	43	34	34	37	18	28	33
abril	28	18	29	38	38	41	35	33	36	32	31	31	32	36	22	33	28	32	27	29	27	23	26	28	19	19	25	22	28	35	
mayo	38	39	39	24	29	33	30	17	19	20	18	19	20	14	22	29	26	29	22	21	25	28	20	17	12	14	26	19	15	18	13
junio	14	20	23	21	19	17	6	18	29	20	16	16	17	21	22	21	25	26	17	25	17	27	26	20	19	30	33	34	28		
julio	18	24	23	33	25	35	34	19	20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
agosto	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8	21	27	34	30	23	19	18	14	33	35	20	30	37	29	24	17	28	30	35	24	32	32	19
septiembre	29	28	33	33	38	30	40	34	34	35	37	31	30	16	18	15	15	13	12	13	19	26	21	24	32	37	34	34	29	30	
octubre	29	26	20	28	34	27	22	24	26	31	29	29	30	30	27	22	28	26	27	27	18	19	19	25	37	ND	ND	ND	ND	ND	ND
noviembre	ND	ND	ND	ND	11	20	22	24	22	18	12	17	16	18	13	17	19	15	17	18	19	20	14	18	22	23	23	22	18	16	
diciembre	19	21	20	21	21	25	19	18	21	25	24	24	25	18	17	22	24	22	23	23	20	23	24	24	24	17	16	27	23	21	15

*ND: Datos no registrados

2.5. Resultados Meteorológicos Estación Florida

Como se mencionó en la sección 2.3, las condiciones climatológicas influyen considerable en la presencia de contaminantes atmosféricos y los efectos que estos pueden tener. El viento, la radiación solar y la temperatura alteran la dispersión de contaminantes y la realización de determinadas reacciones químicas, es decir el viento contribuye a dispersar los contaminantes, disminuyendo así su concentración, a la vez que el aumento de temperatura acelera ciertas reacciones.

El ozono alcanza sus niveles más altos en los días más calurosos y soleados del año. Cuando las temperaturas son altas, la luz del sol es fuerte y los vientos son débiles, el ozono puede aumentar a niveles más nocivos para la salud.

En la figura 5, se ilustra el comportamiento del ozono (concentración promedio móvil 8 horas máximo diario representado con la línea color azul) frente a las variaciones de la radiación solar (máxima diaria representado con línea color amarillo) y las precipitaciones (lluvia acumulada diaria representada con las barras color negro). De la cual se puede apreciar dos cosas, la primera, la relación de proporcionalidad entre la radiación solar y la concentración del contaminante ozono troposférico, lo que comprueba que a mayor radiación y mayor ozono en la atmósfera, y dos la disminución del nivel del ozono en presencia de la precipitación, es decir el efecto de remoción por lluvia.

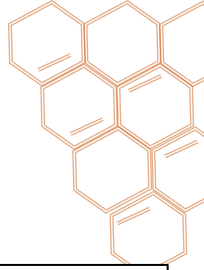
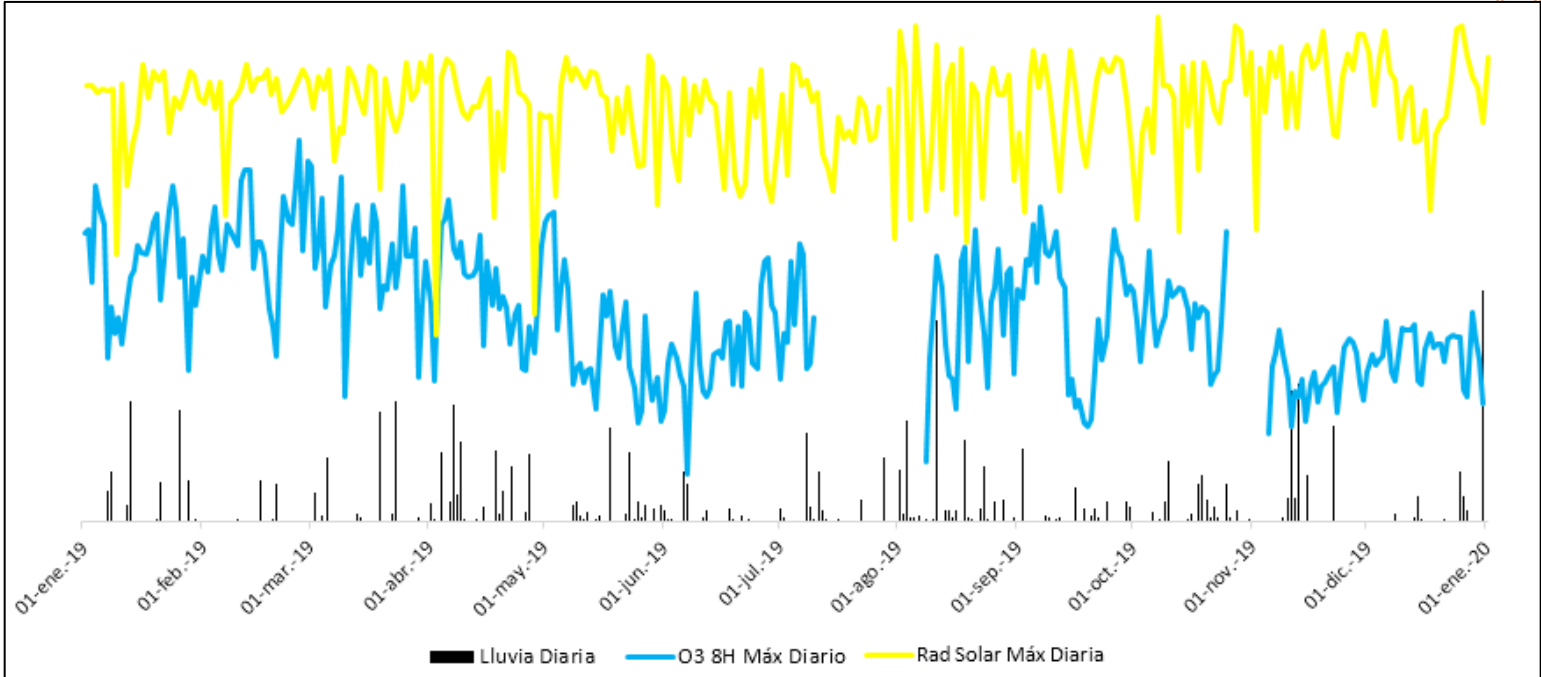


Figura 5. Relación del contaminante de O3 por radiación solar y por lluvia



En la figura 6 se presenta la velocidad y dirección del viento registrada en la estación Florida, para el año 2019 los vientos se desplazaron predominantemente con velocidades entre 0.4 m/s y 1.8 m/s con un 56% de representatividad. Y con una dirección del viento predominante desde el nornoroeste con 13% de representatividad, seguidos por calmas con un 21.5% de representatividad.

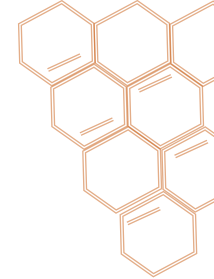
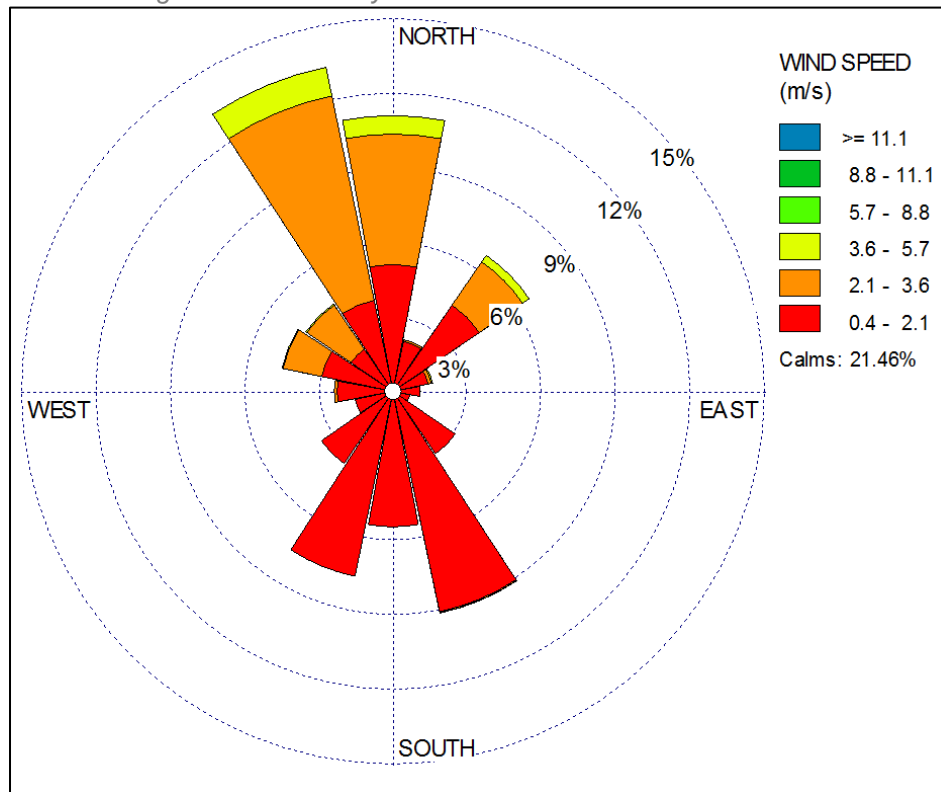


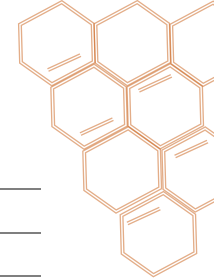
Figura 6. Velocidad y Dirección del Viento Estación Florida



El comportamiento de las variables como lluvia acumulada, temperatura promedio, máxima, mínima y humedad promedio para el año 2019 se relaciona en la tabla 10, en la que se puede apreciar que febrero y septiembre fueron los meses del año donde hubo más baja precipitación, mayor temperatura y menor humedad, es decir las condiciones favorables para tener mayor concentración de contaminantes en la atmósfera.

Tabla 10. Variables Meteorológicas Estación Florida

REGISTRO MENSUAL						
Mes	Lluvia Acum [mm]	Temp Prom [°c]	Temp Máx [°c]	Temp Min [°c]	Hum Prom [%]	Rad Máx Prom [W/m ²]
enero	113.8	26.0	30.8	21.9	72.2	808
febrero	23.6	26.5	31.2	22.8	70.7	843
marzo	97	26.1	30.5	22.5	74.7	787
abril	161.6	25.5	30.4	21.9	78.5	799
mayo	83.2	25.6	30.6	22.2	77.6	740
junio	40.8	25.5	30.2	22.1	78.2	763
julio	77.2	25.2	30.4	21.6	77.1	809
agosto	172.0	24.8	30.4	21.3	80.1	854



septiembre	61.2	25.2	30.4	21.4	72.5	861
octubre	81.3	24.6	29.4	21.6	75.9	846
noviembre	126.3	24.9	29.3	21.8	75.8	734
diciembre	97.8	25.2	29.7	21.9	75.6	761

2.6. Análisis del Índice de Calidad del Aire

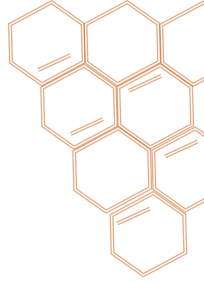
Para iniciar el cálculo del Índice de Calidad del Aire - ICA mensual de PM10 se determina el promedio mensual (promedio aritmético) de concentraciones horarias, se calcula del total de las concentraciones horarias válidas en el mes por estación y para O₃ se determina la concentración máxima de los promedios octohorario para cada mes.

El ICA se define en un rango de 0-500 y se calcula a partir de la ecuación definida en el artículo 21 de la Resolución 2254 de 2017 teniendo en cuenta los puntos de corte relacionados en la tabla No. 6 de esta misma norma.

Entre más alto sea el Índice de Calidad del Aire peor es el estado de la calidad del Aire. La tabla 11 relaciona el ICA de cada mes de las estaciones de ciudadela y florida.

Tabla 11. ICA Mensual para contaminantes Criterios PM10 y Ozono

Estación	CIUADELA			FLORIDA		
	Contaminante	PM10		O ₃		
Mes	Concentración Promedio mensual - µg/m ³	ICA	Estado de la Calidad del Aire	Concentración Máxima mensual - µg/m ³	ICA	Estado de la Calidad del Aire
Enero	41	38	Buena	90	42	Buena
Febrero	54	50	Buena	103	49	Buena
Marzo	51	47	Buena	96	45	Buena
Abril	35	32	Buena	87	41	Buena
Mayo	26	24	Buena	84	39	Buena
Junio	27	25	Buena	71	34	Buena
Julio	28	26	Buena	75	35	Buena
Agosto	32	30	Buena	79	37	Buena
Septiembre	27	25	Buena	85	40	Buena
Octubre	30	28	Buena	78	37	Buena
Noviembre	39	36	Buena	52	25	Buena
Diciembre	39	36	Buena	57	27	Buena



3. CONCLUSIONES

1. Para el año 2019, según los registros de los contaminantes de Ozono (O₃) y Material Particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en las estaciones de Florida y Ciudadela, no suponen peligro para la salud, ya que las concentraciones por lo general no superan la norma (Resolución 2254 de 2017) pues solo se presentaron tres excedencias de PM₁₀ y dos de Ozono.
2. Las concentraciones más altas de los contaminantes Material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) y Ozono (O₃) se presentaron durante los tres primeros meses del año, no obstante las concentraciones disminuyeron a partir del mes de abril manteniendo el Índice de Calidad del Aire menor a 41, indicando un Estado de la Calidad del Aire *Bueno* durante el año 2019 para el área de influencia de las estaciones de la CDMB.
3. Se pudo evidenciar la relación de las concentraciones de los contaminantes con las condiciones meteorológicas de cada sitio lográndose evidenciar las mayores concentraciones en los periodos de menor precipitación como lo es el primer trimestre del año.
4. Aunque el número de excedencias de la norma de calidad de aire no son representativos si son indicadores de alertas para que en el Área Metropolitana Bucaramanga se desarrollen políticas de prevención o campañas pedagógicas que puedan contrarrestar el aumento del Índice de Calidad de Aire en las épocas secas.



4. REFERENCIAS

Resolución No 2257. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá D.C., Colombia, 01 de noviembre de 2017

IDEAM, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2016. Bogotá, D.C., 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. *Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*. Bogotá, Octubre 2010.