

Informe Anual de Calidad del Aire de Bogotá Año 2020

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de
Bogotá - RMCAB



Unidos por un nuevo aire



SECRETARÍA DE
AMBIENTE

BOGOTÁ



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

BOGOTÁ

Estación Usme

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2020

**Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá
(RMCAB)**

Bogotá D.C. 2021



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Claudia Nayibe López Hernández
Alcaldesa Mayor de Bogotá D.C.

Carolina Urrutia Vásquez
Secretaria Distrital de Ambiente

Julio Cesar Pulido Puerto
Subsecretario General y de Control Disciplinario

Camilo Alexander Rincón Escobar
Director de Control Ambiental

Hugo Enrique Saenz Pulido
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

José Hernán Garavito Calderón
Profesional Especializado de la Red de Monitoreo
de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB

Luis Álvaro Hernández González
Coordinador Técnico de la Red de Monitoreo de
Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB

Leonardo Quiñones Cantor
Coordinador Técnico Sistema de Alertas
Tempranas de Bogotá – Componente Aire (SATAB)

Inés María Galindo Henríquez
Subdirectora de Vigilancia en Salud Pública
Secretaria Distrital de Salud

Maria Camila Buitrago Jiménez
Profesional Especializado Componente Aire
(SATAB)

Eaking Ballesteros Urrutia
Edna Lizeth Montealegre Garzón
Jennyfer Montoya Quiroga
Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez
Equipo de Validación y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Jesús Alberto Herrera Dallos
Luis Hernando Monsalve Guiza
Richard Alejandro Sánchez Serrano
Equipo de Operación de la RMCAB

Ana Cecilia Gálvez Lozada
Profesional Especializado - Línea aire, ruido y
Radiación electromagnética
Subdirección de vigilancia en Salud Pública
Secretaria Distrital de Salud

Jhon Jairo Abella Flórez
Profesional Especializado - Línea aire, ruido y
Radiación electromagnética
Subdirección de vigilancia en Salud Pública
Secretaria Distrital de Salud

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –
© Junio de 2021, Bogotá - Colombia
Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad
de Aire de Bogotá D.C.
Año 2020.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	13
2.	RESUMEN EJECUTIVO.....	14
3.	OBJETIVOS	15
3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
4.	CARACTERÍSTICAS DE LA RMCAB	16
4.1.	NORMATIVIDAD	20
5.	INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO	21
5.1.	PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS.....	21
5.2.	PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS	23
6.	CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS).....	25
6.1.	MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (PM ₁₀)	25
6.1.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DEL PM ₁₀ POR ESTACIÓN.....	26
6.1.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM ₁₀ POR ESTACIÓN	29
6.1.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL PM ₁₀ POR ESTACIÓN	31
6.2.	MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS (PM _{2.5})	31
6.2.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DEL PM _{2.5} POR ESTACIÓN	31
6.2.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM _{2.5} POR ESTACIÓN	34
6.2.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL PM _{2.5} POR ESTACIÓN.....	36
6.3.	OZONO (O ₃)	36
6.3.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DEL O ₃ POR ESTACIÓN.....	37
6.3.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O ₃ POR ESTACIÓN	38
6.3.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL O ₃ POR ESTACIÓN	41
6.4.	DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO ₂)	42
6.4.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DEL NO ₂ POR ESTACIÓN	42
6.4.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO ₂ POR ESTACIÓN.....	43
6.4.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL NO ₂ POR ESTACIÓN	45
6.5.	DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂).....	45
6.5.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DEL SO ₂ POR ESTACIÓN	46

6.5.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO ₂ POR ESTACIÓN	47
6.5.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL SO ₂ POR ESTACIÓN.....	49
6.6.	MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	49
6.6.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DEL CO POR ESTACIÓN	49
6.6.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CO POR ESTACIÓN	51
6.6.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL CO POR ESTACIÓN.....	53
7.	COMPORTAMIENTO DEL BLACK CARBON	54
7.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DE BLACK CARBON (BC) POR ESTACIÓN.....	54
7.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE BLACK CARBON PROVENIENTE DE LA QUEMA DE BIOMASA.....	59
8.	INDICES DE CALIDAD DEL AIRE	61
8.1.	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE - ICA	61
8.2.	ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE - IBOCA	66
9.	METEOROLOGÍA.....	72
9.1.	PRECIPITACIÓN.....	72
9.1.1.	PROMEDIOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN	72
9.1.2.	PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN.....	73
9.1.3.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN	75
9.1.4.	COMPORTAMIENTO HISTORICO DE LA PRECIPITACIÓN	75
9.2.	TEMPERATURA	79
9.2.1.	COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA TEMPERATURA.....	79
9.2.2.	COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA TEMPERATURA	81
9.2.3.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA	84
9.2.4.	PROMEDIOS HISTORICOS DE TEMPERATURA	85
9.3.	VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.....	86
9.3.1.	PROMEDIOS ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO	86
9.3.2.	PROMEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO	88
9.3.3.	PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO	92
9.3.4.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VIENTO	95
9.3.5.	PROMEDIOS HISTORICOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO	97
9.4.	RADIACION SOLAR.....	98
9.4.1.	PROMEDIOS ANUALES DE RADIACIÓN SOLAR	98
9.4.2.	PROMEDIOS DIARIOS DE RADIACIÓN SOLAR	99

9.4.3.	PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR	100
9.4.4.	PROMEDIOS HISTÓRICOS DE RADIACIÓN SOLAR.....	101
9.5.	PRESIÓN ATMOSFÉRICA	102
9.5.1.	PROMEDIOS ANUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	103
9.5.2.	PROMEDIOS MENSUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	104
9.5.3.	PROMEDIOS DIARIOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	104
9.5.4.	PROMEDIOS ANUALES HISTORICOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA	106
9.6.	HUMEDAD	108
9.6.1.	PROMEDIOS ANUALES DE HUMEDAD.....	108
9.6.2.	PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD	109
9.6.3.	PROMEDIOS DIARIOS DE HUMEDAD.....	110
9.6.4.	PROMEDIOS HISTORICOS ANUALES DE HUMEDAD	111
10.	EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	113
10.1.	ALERTAS AMBIENTALES POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	113
10.2.	TRANSPORTE DE ARENAS DEL SAHARA EN JUNIO DE 2020	119
10.3.	INFLUENCIA DE LAS RESTRICCIONES EN LA PANDEMIA DEL COVID 19	121
10.4.	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR CONDICIONES LOCALES	122
11.	CALIDAD DEL AIRE Y SALUD.....	124
11.1.	VIGILANCIA EN SALUD AMBIENTAL.....	126
11.2.	VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA	128
11.2.1.	MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA	129
11.2.2.	MORBILIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA.....	132
11.3.	VIGILANCIA AMBIENTAL.....	139
11.4.	VIGILANCIA SANITARIA.....	151
11.5.	MOVILIZACIÓN SOCIAL.....	153
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157
13.	ANEXOS	159

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB – Año 2020	18
Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB – Año 2020	22
Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación – Año 2020	22
Figura 5-3 Porcentaje de datos válidos por tipo de instrumento – Año 2020	24
Figura 5-4 Porcentaje de datos válidos por estación – Año 2020	24
Figura 6-1 Concentraciones promedio anual de PM ₁₀ – Año 2020	26
Figura 6-2 Distribución espacial de los promedios anuales de PM ₁₀ del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging	28
Figura 6-3 Concentraciones mensuales de PM ₁₀ por estación – Año 2020	30
Figura 6-4 Comportamiento diario de las concentraciones de PM ₁₀ – Año 2020	30
Figura 6-5 Comportamiento horario de las concentraciones de PM ₁₀ – Año 2020	30
Figura 6-6 Concentraciones anuales de PM ₁₀ años 2016 a 2020	31
Figura 6-7 Concentraciones promedio anual de PM _{2.5} – Año 2020	32
Figura 6-8 Distribución espacial de los promedios anuales de PM _{2.5} del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging	33
Figura 6-9 Concentraciones mensuales de PM _{2.5} por estación – Año 2020	35
Figura 6-10 Comportamiento diario de las concentraciones de PM _{2.5} – Año 2020	35
Figura 6-11 Comportamiento horario de las concentraciones de PM _{2.5} – Año 2020	36
Figura 6-12 Concentraciones anuales de PM _{2.5} años 2016 a 2020	36
Figura 6-13 Concentraciones promedio anual de O ₃ – Año 2020	37
Figura 6-14 Distribución espacial de los promedios anuales de O ₃ del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging	39
Figura 6-15. Concentraciones mensuales de O ₃ por estación – Año 2020	40
Figura 6-16. Comportamiento diario de las concentraciones de O ₃ – Año 2020	40
Figura 6-17 Comportamiento horario de las concentraciones de O ₃ – Año 2020	41
Figura 6-18 Concentraciones anuales de O ₃ años 2016 a 2020	41
Figura 6-19 Concentraciones promedio anual de NO ₂ – Año 2020	42
Figura 6-20 Concentraciones mensuales de NO ₂ por estación – Año 2020	44
Figura 6-21 Comportamiento horario de las concentraciones de NO ₂ – Año 2020	44
Figura 6-22 Comportamiento horario de las concentraciones de NO ₂ – Año 2020	45
Figura 6-23 Concentraciones promedio anual de NO ₂ - años 2016 a 2020	45
Figura 6-24 Concentraciones promedio anual de SO ₂ – Año 2020	46
Figura 6-25 Concentraciones mensuales de SO ₂ por estación – Año 2020	47
Figura 6-26 Comportamiento diario de las concentraciones de SO ₂ – Año 2020	48
Figura 6-27 Comportamiento horario de las concentraciones de SO ₂ – Año 2020	48
Figura 6-28 Concentraciones anuales de SO ₂ años 2016 a 2020	49
Figura 6-29 Concentraciones promedio anual de CO – Año 2020	50
Figura 6-30 Concentraciones mensuales de CO por estación – Año 2020	52
Figura 6-31 Comportamiento diario de las concentraciones de CO – Año 2020	52
Figura 6-32 Comportamiento horario de las concentraciones de CO – Año 2020	53
Figura 6-33 Concentraciones anuales de CO años 2016 a 2020	53

Figura 7-1 Gráfico de representatividad temporal de las mediciones de concentraciones de BC – Año 2020.....	55
Figura 7-2 Variabilidad temporal de la concentración de BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). a) Resolución temporal mensual. B) resolución semanal y c) resolución horaria – Año 2020	58
Figura 7-3 Concentraciones promedio anuales de Black Carbon años 2018 a 2020	58
Figura 7-4 Distribución espacial de incendios activos identificados por el sensor MODIS – Año 2020	59
Figura 7-5 Número de eventos o puntos calientes identificados por el sensor MODIS - Año 2020.	60
Figura 8-1. ICA por estación para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ – Año 2020.....	62
Figura 8-2 ICA por mes del año y por estación para PM_{10} – Año 2020	64
Figura 8-3 ICA por mes del año y por estación para $\text{PM}_{2.5}$ – Año 2020	65
Figura 8-4 ICA por estación para O_3 , NO_2 , SO_2 y CO – Año 2020	66
Figura 8-5 IBOCA por estación de monitoreo para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ – Año 2020.....	68
Figura 8-6 IBOCA por mes del año para PM_{10} – Año 2020.....	69
Figura 8-7. IBOCA por mes del año para $\text{PM}_{2.5}$ – Año 2020	70
Figura 8-8 IBOCA por estación para O_3 , NO_2 , SO_2 y CO – Año 2020.....	71
Figura 9-1 Comportamiento diario de la precipitación – Año 2020.....	73
Figura 9-2 Valores medios máximos y mínimos absolutos de precipitación – Año 2020.....	74
Figura 9-3 Total acumulado por estación – Año 2020	75
Figura 9-4 Mapa de distribución espacial de la precipitación en la ciudad de Bogotá – Año 2020..	76
Figura 9-5 Variación anual de la precipitación en Bogotá – Año 2020	77
Figura 9-6 Precipitación promedio histórica mensual Vs total anual 2020	79
Figura 9-7 a) Perfil horario anual de temperatura. b) perfil diario de temperatura por estación....	81
Figura 9-8 Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2020 Vs 2020 .	82
Figura 9-9 Temperaturas extremas absolutas – Año 2020	83
Figura 9-10 Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB – Año 2020	84
Figura 9-11 Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2020	86
Figura 9-12 Comportamiento mensual de la velocidad del viento (2000 – 2020) Vs. 2019 y 2020.	87
Figura 9-13. Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2019 vs. 2020.....	88
Figura 9-14. Comportamiento de la velocidad media mensual en 2020 vs. promedio mensual multianual 2000 - 2020	89
Figura 9-15 Velocidades medias, máximas y mínimas del viento – Año 2020.....	90
Figura 9-16 Rosas de viento consolidadas por estación – Año 2020	92
Figura 9-17 Comportamiento del viento promedio en diferentes fracciones de un día del año: a) Madrugada, b) Mañana c) Tarde y d) Noche – Año 2020	95
Figura 9-18 Mapa de dirección y velocidad promedio del viento – Año 2020	96
Figura 9-19 Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en Bogotá de 2000 a 2020	98
Figura 9-20. Comportamiento mensual de la radiación solar en 2020 vs. 2019	99
Figura 9-21 Cantidad de radiación solar recibida en promedio día – Año 2020.....	100
Figura 9-22 Comportamiento mensual de la radiación en 2020 a) promedio mensual; b) totales mensuales acumulados.....	101
Figura 9-23 Comportamiento anual de la radiación- Año 2020.....	102
Figura 9-24. Comportamiento mensual de la presión en 2019 y 2020 frente al promedio mensual multianual 2009-2020	103

Figura 9-25. Comportamiento medio mensual de la presión atmosférica – Año 2020.....	104
Figura 9-26. Comportamiento del ciclo semi-diurno de la presión atmosférica – Año 2020	106
Figura 9-27 Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2020.....	107
Figura 9-28 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2020 vs. Promedio mensual multianual 2010-2020	109
Figura 9-29 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2020: a) promedio ciudad; b) promedio por estación	110
Figura 9-30. Comportamiento de la humedad relativa horaria anual – Año 2020.....	111
Figura 9-31. Comportamiento histórico de la humedad relativa promedio multianual.....	112
Figura 10-1 Delimitación polígono restricción vehicular en periodo de alerta amarilla – febrero 2020	114
Figura 10-2. Vientos sinópticos a 850 hPa y puntos calientes asociados a incendios por 48 horas, para febrero 06 de 2020	114
Figura 10-3. Retro trayectorias elaboradas en HySplit para los días 06 y 17 de febrero de 2020... ..	115
Figura 10-4. Mapas IBOCA para PM _{2.5} febrero 06 y 17 de 2020	115
Figura 10-5. Vientos sinópticos a 850 hPa y poder radiativo de puntos calientes. Marzo 05 de 2020	117
Figura 10-6. Retro trayectorias y puntos calientes, marzo 05 y abril 02 de 2020	117
Figura 10-7. Mapas IBOCA marzo 05 y abril 02 de 2020.....	118
Figura 10-8. Concentraciones medias móvil 24h PM _{2.5} . Febrero - Abril 2020	118
Figura 10-9. Imágenes satelitales transporte de polvo del Sahara. Fuente: NASA.....	120
Figura 10-10. Concentraciones horarias PM ₁₀ Junio 20 - 30 de 2020	121
Figura 10-11. Concentraciones media móvil PM _{2.5} Marzo 15 - Diciembre 31 2020	122
Figura 10-12. Concentraciones media móvil 24 h de PM _{2.5} octubre de 2020.....	123
Figura 11-1. Red Integrada de Servicios de Salud	126
Figura 11-2. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, Periodo 2016 a 2020.....	130
Figura 11-3. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria y Neumonía en menores de 5 años en Bogotá Vs Tipo de Riesgo Matriz ACRE, 2020	131
Figura 11-4. Morbilidad por IRA (evento 995-SIVIGILA) en la población general y menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2016 a 2020.....	133
<i>Figura 11-5. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2020</i>	<i>134</i>
<i>Figura 11-6. Distribución por Estrato Socioeconómico según grupos de población encuestada. Bogotá 2020.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 11-7. Distribución por el Sistema General de Seguridad Social en Salud según grupos de población encuestada. Bogotá 2020.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 11-8. Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años</i>	<i>137</i>
<i>Figura 11-9. Número de excedencias anuales, de PM₁₀ con respecto a la guía OMS en las estaciones de la RMCAB 2020.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 11-10. Concentración promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS y Res. 2254/17 de material particulado PM₁₀ en Bogotá enero – diciembre 2020</i>	<i>141</i>
<i>Figura 11-11. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM₁₀ Bogotá 2015-2020.</i>	<i>142</i>

Figura 11-12. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2020	143
Figura 11-13. Comportamiento anual (enero – diciembre) de excedencias del contaminante PM2.5 con respecto a la guía OMS en las estaciones de la RMCAB 2020	143
Figura 11-14. Concentración promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS y Res. 2254/17 de material particulado PM2.5 en Bogotá, enero a diciembre 2020.	144
Figura 11-15. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM2.5 Bogotá 2015-2020.....	145
Figura 11-16. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM _{2.5} respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2020	146
Figura 11-17. Punto de monitoreo Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre 2020	148
Figura 11-18. Comportamiento promedio diario material particulado PM ₁₀ y PM _{2.5} . Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre - octubre 2020	149
Figura 11-19. Comportamiento promedio horario material particulado PM ₁₀ y PM _{2.5} . Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre - octubre 2020	149
Figura 11-20. Atención a quejas por contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco en las localidades del distrito, enero –diciembre 2020.	152
Figura 11-21. Distribución de quejas por contaminación del Aire, Olores y humo de tabaco, por Subred enero-diciembre 2020.	152
Figura 11-22. Acciones de Movilización y comunicación social del riesgo en el distrito enero – diciembre 2020.....	153
Figura 11-23. “Aire limpio para los pulmones de Bogotá”.....	154
Figura 11-24. Registro Fotográfico de las acciones de movilización y comunicación social del riesgo en el distrito febrero 6 de 2020	155
Figura 11-25. Infografías prevención de olores ofensivos y COVID 19.....	155
Figura 13-1. Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes.	159

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA.....	17
Tabla 4-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas – Año 2020	19
Tabla 4-3 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en el aire. Resolución 2254 de 2017 del MADS.....	20
Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por estación y parámetro – Año 2020	22
Tabla 5-2 Porcentaje de datos válidos por estación y parámetro – Año 2020	24
Tabla 6-1 Estadísticas de las concentraciones anuales de PM ₁₀ – Año 2020.....	27
Tabla 6-2. Estadísticas de las concentraciones anuales de PM _{2.5} – Año 2020	32
Tabla 6-3 Estadísticas de las concentraciones anuales de O ₃ – Año 2020	38
Tabla 6-4 Estadísticas de las concentraciones anuales de NO ₂ – Año 2020	43
Tabla 6-5 Estadísticas de las concentraciones anuales de SO ₂ – Año 2020	46
Tabla 6-6 Estadísticas de las concentraciones anuales de CO – Año 2020	50
Tabla 7-1 Resumen estadístico de las concentraciones de diarias de BC tomadas a la $\lambda = 880$ nm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Año 2020	56
Tabla 8-1. Puntos de corte del ICA. Resolución 2254 del 2017 del MADS.....	61
Tabla 8-2. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015.....	67
Tabla 9-1. Distribución de las lluvias durante el año 2020	73
Tabla 9-2 Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad – Año 2020.....	74
Tabla 9-3 Promedio de los acumulados de precipitación por estación – Año 2020.....	77
Tabla 9-4 Precipitación promedio histórica mensual – Año 2020	78
Tabla 9-5 Comportamiento de la temperatura horaria – Año 2020.....	80
Tabla 9-6 Promedio mensual de temperatura multianual 2000 – 2020.....	81
Tabla 9-7 Temperaturas extremas – Año 2020.....	83
Tabla 9-8 Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2020 ...	85
Tabla 9-9 Promedio multianual por estación de los años 2000 - 2020.....	87
Tabla 9-10 Comportamiento de los promedios mensuales multianuales de los vientos en el periodo 2000 - 2020.....	88
Tabla 9-11 Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día	93
Tabla 9-12 Comportamiento histórico de la velocidad del viento de acuerdo con los registros de la RMCAB entre 2000-2020.....	97
Tabla 9-13 Cantidad de energía recibida durante el día por cada una de las estaciones – Año 2020	99
Tabla 9-14 Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m ²) – Año 2020	101
Tabla 9-15 Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m ² periodo 2009 - 2020.....	101
Tabla 9-16 Comportamiento de la presión media mensual de 2010 - 2020.....	103
Tabla 9-17. Comportamiento promedio mensual de la presión por estación de la RMCAB en 2020	104
Tabla 9-18. Variación de la presión horaria por cada estación de la RMCAB – Año 2020.....	105
Tabla 9-19 Comportamiento multianual de la presión atmosférica en la ciudad de Bogotá 2009 - 2020.....	107
Tabla 9-20 Comportamiento de la humedad mensual multianual 2010 - 2020.....	108

Tabla 9-21. Comportamiento mensual de la humedad por estación – Año 2020	109
Tabla 9-22. Variación de la humedad horaria y por estaciones de la RMCAB - 2020	110
Tabla 9-23. Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente.....	112
Tabla 10-1. Documentos alertas contaminación atmosférica febrero, marzo y abril 2020	113
Tabla 10-2. Medidas transitorias y preventivas en materia de tránsito en las vías públicas de Bogotá para la alerta amarilla de marzo 2020	116
Tabla 11-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura. .	125
Tabla 11-2. Prevalencia de síntomas respiratorios en menores de 5 años y 5 a 14 años.....	136
Tabla 11-3. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias y tos sin gripa en el último año en menores de 5 años	138
Tabla 11-4. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias, tos sin gripa y despertar por tos en los niños de 5 a 14 años.	138
Tabla 11-5. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias y despertar por tos en adultos mayores de 60 años.	139
Tabla 11-6. Porcentaje de excedencias en concentraciones promedio de 24 horas (enero – diciembre) de PM10, respecto a la guía OMS y Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3) por estación – Año 2020	141
Tabla 11-7. Porcentaje de excedencias diarias (enero – diciembre) del contaminante PM _{2.5} con respecto a la guía OMS y los Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3) por estación de la RMCAB 2020.....	145
Tabla 11-8. Monitoreos intramurales por localidad, enero a diciembre 2020, Bogotá.....	147
Tabla 11-9. Sulfuro de hidrógeno: relaciones establecidas de dosis-efecto.....	150
Tabla 13-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m ³ y µg/m ³) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg. .	160
Tabla 13-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA.....	161
Tabla 13-3. Procedimientos Internos para la operación y calibración de equipos de la RMCAB ...	162

1. INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, la cual registra información de concentraciones de contaminantes y variables meteorológicas de forma continua en diferentes lugares de la ciudad. El proceso inicia con la medición de los parámetros en cada estación y el almacenamiento de estos en un datalogger, luego cada hora se actualizan los datos y son transmitidos hacia el servidor central, donde se almacena la información en una base de datos. Esta información es validada desde su captura en los equipos, hasta la revisión en la sede central, con el fin de obtener datos para la elaboración de los informes periódicos de calidad del aire. En dichos reportes se evalúa el cumplimiento de los niveles máximos permisibles definidos por la Resolución 2254 del 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Durante el año 2020 la RMCAB alcanzó las dieciocho (18) estaciones de monitoreo de las cuales diecisiete (17) son fijas y una (1) es móvil. Todas las estaciones de la RMCAB se ubican en sitios estratégicos de la ciudad y se encuentran dotadas con equipos automáticos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM₁₀, PM_{2.5}), y gases contaminantes (SO₂, NO₂, CO, O₃), así como de las variables meteorológicas de Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica.

Asimismo, se realiza el monitoreo permanente de la temperatura y la humedad al interior de las cabinas, con el fin de garantizar las condiciones ambientales necesarias para el correcto funcionamiento de los sensores y analizadores en cada estación. La temperatura interna se controla en un rango de entre 20 y 30°C, mediante un sistema de aire acondicionado y si se sobrepasan estos límites, los datos de contaminantes para esas horas se invalidan. Esta variable se registra y verifica en cartas control.

En el presente informe, se incluye el análisis del comportamiento de los contaminantes registrados por la RMCAB durante el año 2020, las tendencias y la distribución espacial, y la determinación de las excedencias de los contaminantes respecto a la norma; el análisis de los datos de Black Carbon, el análisis del comportamiento de los parámetros meteorológicos y el reporte realizado por la Secretaría Distrital de Salud, sobre los datos de morbilidad y mortalidad asociados a contaminación del aire.

2. RESUMEN EJECUTIVO

Comportamiento de la concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$)

Las concentraciones promedio anual de PM_{10} y $PM_{2.5}$ durante el 2020 mantuvieron la distribución espacial de los años anteriores, las concentraciones más altas se registraron al suroccidente de la ciudad y las más bajas en la zona suroriental. Carvajal-Sevillana registró los promedios anuales más altos de PM_{10} y $PM_{2.5}$, con $63.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $29.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, las cuales sobrepasaron el nivel máximo permisible para un tiempo de exposición anual. Se registraron en total 173 excedencias de PM_{10} y 264 excedencias de $PM_{2.5}$. Con respecto a años anteriores, las concentraciones de material particulado del año 2020 fueron más bajas, a excepción del dato de PM_{10} registrado en Carvajal-Sevillana, con un aumento de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respecto al 2019. En general, la reducción de las concentraciones estuvo influenciada por las restricciones a la actividad de las fuentes de emisión entre abril y junio, ya que además en este último mes históricamente se registran las concentraciones más bajas del año, y asimismo la reactivación gradual incidió en el incremento de las concentraciones en el último trimestre del año.

Comportamiento de la concentración de ozono (O_3)

Las concentraciones más altas de O_3 se observaron en el occidente y el nororiente de la ciudad, y las más bajas en la zona de influencia de las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda. El promedio anual más alto se evidenció en Kennedy, con $36.410 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el menor se registró en Puente Aranda. En total se registraron 355 excedencias a la norma 8 horas, principalmente en Centro de Alto Rendimiento. En relación con los promedios de años anteriores, los promedios anuales de 2020 son los más altos desde 2016 a excepción de la estación Usaquén. Debido a los cambios en el comportamiento de las fuentes de emisión en comparación con años anteriores, de las variaciones en los precursores del ozono y de la reducción de fuentes de emisión de material particulado en el segundo semestre del año, el comportamiento del ozono ha cambiado en la ciudad, pero se observa una tendencia notable al aumento con el paso del tiempo.

Comportamiento de la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2)

Las concentraciones más altas de NO_2 se registraron en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, con 46.8 y $33.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Dichos niveles estuvieron por debajo del nivel máximo permisible para un tiempo de exposición anual, y tampoco se registraron excedencias de los datos horarios. Durante el año 2020 se observó que las concentraciones más altas se registraron en el último trimestre, con un aumento creciente desde el mes de junio, tras la reactivación de varios sectores económicos en la ciudad, aunque de acuerdo con el comportamiento horario se observa una mayor influencia de las emisiones provenientes de fuentes móviles. A excepción de la estación Carvajal-Sevillana, las concentraciones registradas en el 2020 fueron menores a las de años anteriores.

Comportamiento de la concentración de dióxido de azufre (SO₂)

La estación Carvajal-Sevillana registró el promedio anual más alto en el 2020 con 10.6 µg/m³, mientras que en la estación Usaquén se registró el valor más bajo con 1.7 µg/m³, y se observaron 19 excedencias al límite máximo permisible de 1 hora. Las concentraciones mensuales fueron más altas en los meses de octubre y noviembre en las estaciones del sur de la ciudad, mientras que en la zona occidental las concentraciones más altas se evidenciaron en enero y febrero, con lo cual se observa una posible influencia del incremento de la actividad de las fuentes de emisión en el segundo semestre del año tras las restricciones en el marco de la cuarentena del segundo semestre del año. En general las concentraciones de SO₂ son bajas en la ciudad, pero en la estación Carvajal-Sevillana se han registrado concentraciones de mayor magnitud a diferencia de las demás estaciones que monitorean el contaminante.

Comportamiento de la concentración de monóxido de carbono (CO)

Para el año 2020, los promedios anuales de las estaciones Carvajal-Sevillana y Móvil 7ma fueron los más altos de la ciudad, con 1187.9 y 1180.3 µg/m³ respectivamente. Se registraron solamente 2 excedencias a la norma 8 horas en la estación Puente Aranda. Durante el año los promedios más altos se registraron en el cuarto trimestre, principalmente en las estaciones del sur, suroccidente y la estación Móvil 7ma. Con respecto a los promedios históricos, hay una tendencia a la reducción de las concentraciones en el tiempo, y los promedios anuales del 2020 han sido los más bajos en los últimos cinco años.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) tiene como principal objetivo, obtener información confiable sobre la concentración de los contaminantes de origen antropogénico y natural y su comportamiento en la atmósfera de Bogotá validando y reportando en tiempo real datos que servirán como insumo a diferentes actores ambientales.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer los niveles de contaminación atmosférica en las diferentes zonas de la ciudad.
- Dar cumplimiento a lo estipulado en el Acuerdo 367 de 2009 del Concejo de Bogotá, donde la RMCAB pone a disposición del público los datos generados en las estaciones de monitoreo de calidad del aire.
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire dados por la **Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)**.
- Proveer información para evaluar la efectividad de las medidas implementadas.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA RMCAB

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaría Distrital de Ambiente y está conformada por dieciocho (18) estaciones de monitoreo de las cuales diecisiete (17) son fijas, y una (1) es móvil.

En la Tabla 4-2 se especifican las características generales de las estaciones de la RMCAB, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas y la Figura 4-1 corresponde a la distribución espacial de las estaciones en la ciudad.

Durante el año 2020 se realizó la instalación de cuatro (4) estaciones adicionales para el monitoreo de la calidad del aire en la ciudad (Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme), las cuales iniciaron el monitoreo oficialmente en el mes de octubre de 2020, por lo cual los datos recolectados de estas en el 2020, no se tuvieron en cuenta para el análisis de este informe, ya que no cuentan con el 75% de representatividad temporal.

La elaboración de informes de calidad del aire se realiza teniendo en cuenta uno de los componentes de la misionalidad de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), como autoridad ambiental del Distrito Capital. Además, se realizan de acuerdo con lo establecido en el numeral de informes de resultados en la norma NTC ISO/IEC 17025:2017, y teniendo en cuenta los procedimientos internos asociados a las funciones del Laboratorio Ambiental de la Secretaría Distrital de Ambiente, los cuales se incluyen dentro del proceso de apoyo de la SDA denominado “Metrología, Monitoreo y Modelación”.

La obtención de los datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas se realiza a través de los registros en tiempo real de los equipos de monitoreo y sensores meteorológicos, cuyo funcionamiento y operatividad son verificados mediante mantenimientos preventivos y correctivos por parte del equipo de campo de la RMCAB, programados periódicamente mediante un software destinado para este fin. Adicionalmente se realizan las calibraciones y verificaciones periódicas de los equipos de monitoreo, con el fin de garantizar que la medición de contaminantes se realice de acuerdo con los estándares establecidos en los métodos de medición.

Los métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB se encuentran descritos en la lista de métodos de referencia y equivalentes designados, publicada en diciembre de 2020 (EPA, 2020). Los métodos de referencia se encuentran establecidos en el Título 40 del CFR (Code of Federal Regulations), los cuales están aprobados por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos. Para cada contaminante se encuentra definido un método de referencia específico, de acuerdo con el método equivalente por el cual funciona cada monitor, lo cual se encuentra establecido en los apéndices de la Parte 50 del Título 40 del CFR (LII, 2020)¹.

¹ 40 CFR Appendix Table A-1 to Subpart A of Part 53, Summary of Applicable Requirements for Reference and Equivalent Methods for Air Monitoring of Criteria Pollutants. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-Table_A-1_to_subpart_A_of_part_53

Tabla 4-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método equivalente automatizado EPA	Apéndice Parte 50 del CFR
PM ₁₀	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122	J
		EQPM-0404-151	
PM _{2.5}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0308-170	L
		EQPM-1013-211	
O ₃	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQQA-0992-087	D
		EQQA-0193-091	
NO ₂	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074	F
		RFNA-1194-099	
		RFNA-0118-249	
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088	C
		RFCA-0981-054	
		RFCA-1093-093	
		RFCA-0915-228	
SO ₂	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100	A-1
		EQSA-0486-060	

En la Figura 4-1 se muestra el mapa con la ubicación de las 18 estaciones de monitoreo de la RMCAB presentes durante el año 2020.

En la Tabla 4-2 se muestra la tabla que contiene las características de cada estación, los monitores de calidad del aire y meteorológicos que posee y su denominación.

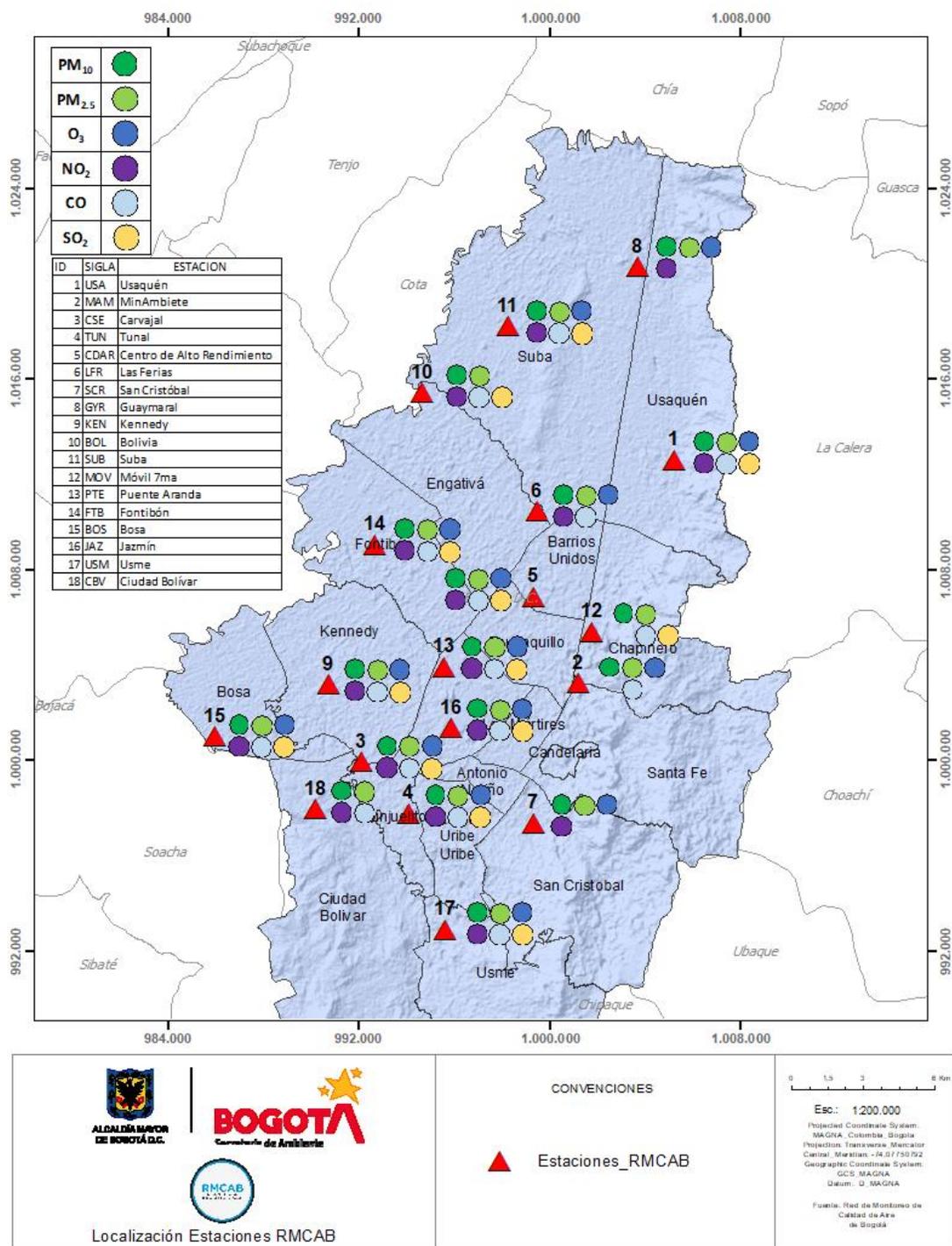


Figura 4-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB – Año 2020

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB
INFORME ANUAL 2020

Tabla 4-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas – Año 2020

Características	Ubicación								Contaminantes						Variables Meteorológicas							
	Sigla	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Altura (m)	Localidad	Tipo de zona	Tipo de estación	Dirección	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	CO	SO ₂	V. Viento	D. Viento	Temperatura	Precipitación	R. Solar	H. Relativa	Presión Atm.
Guaymaral	GYR	4°47'1.52"N	74°2'39.06"W	2580	0	Suba	Sub urbana	De fondo	Autopista Norte # 205-59	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
Usaquén	USQ	4°42'37.26"N	74°1'49.50"W	2570	10	Usaquén	Urbana	De fondo	Carrera 7B Bis # 132-11	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X
Suba	SUB	4°45'40.49"N	74°5'36.46"W	2571	6	Suba	Sub urbana	De fondo	Carrera 111 # 159A-61	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X
Bolivia	BOL	4°44'9.12"N	74°7'33.18"W	2574	0	Engativá	Sub urbana	De fondo	Avenida Calle 80 # 121-98	X	X		X	X	X							
Las Ferias	LFR	4°41'26.52"N	74°4'56.94"W	2552	0	Engativá	Urbana	De tráfico	Avenida Calle 80 # 69Q-50	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X
Centro de Alto Rendimiento	CDAR	4°39'30.48"N	74°5'2.28"W	2577	0	Barrios Unidos	Urbana	De fondo	Calle 63 # 59A-06	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Estación Móvil 7ma	MOV	4°38'32.75"N	74°5'2.28"W	2583	0	Chapinero	Urbana	De tráfico	Carrera 7 con calle 60	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X
MinAmbiente	MAM	4°37'31.75"N	74°4'1.13"W	2621	15	Santa Fe	Urbana	De tráfico	Calle 37 # 8-40	X	X	X		X		X	X	X	X			
Fontibón	FTB	4°40'41.67"N	74°8'37.75"W	2551	11	Fontibón	Urbana	De tráfico	Carrera 104 # 20 C - 31	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
Puente Aranda	PTE	4°37'54.36"N	74°7'2.94"W	2590	10	Puente Aranda	Urbana	Industrial	Calle 10 # 65-28	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Kennedy	KEN	4°37'30.18"N	74°9'40.80"W	2580	3	Kennedy	Urbana	De fondo	Carrera 80 # 40-55 sur	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Carvajal - Sevillana	CSE	4°35'44.22"N	74°8'54.90"W	2563	3	Kennedy	Urbana	Tráfico / Industrial	Autopista Sur # 63-40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Tunal	TUN	4°34'34.41"N	74°7'51.44"W	2589	0	Tunjuelito	Urbana	De fondo	Carrera 24 # 49-86 sur	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
San Cristóbal	SCR	4°34'21.19"N	74°5'1.73"W	2688	0	San Cristóbal	Urbana	De fondo	Carrera 2 Este # 12-78 sur	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	
El Jazmín	JAZ	4°36'30.6"N	74°06'53.8"W	2559	0	Puente Aranda	Urbana	Residencial	Calle 1 G # 41 A 39	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Usme	USM	4°31'55.4"N	74°07'01.7"W	2593	0	Usme	Urbana	Residencial	Carrera 11 # 65 D 50 Sur	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Bosa	BOS	4°36'20.2"N	74°12'14.6"W	2546	0	Bosa	Urbana	De fondo	Diagonal 73 F Sur # 78 - 44	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Ciudad Bolívar	CBV	4°34'40.1"N	74°09'58.6"W	2661	0	Ciudad Bolívar	Urbana	Residencial	Calle 70 Sur # 56 - 11	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X

4.1. **NORMATIVIDAD**

La normatividad de calidad del aire adoptada para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá se establece según la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la cual inició su vigencia desde el 1 de enero de 2018, y deroga la Resolución 601 de 2006 y la Resolución 610 de 2010 del entonces Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial. La Tabla 4-3 presenta los niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio definidos en la norma vigente.

Tabla 4-3 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en el aire. Resolución 2254 de 2017 del MADS.

Contaminante	Nivel máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición	Cálculo
PM ₁₀	50	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM _{2.5}	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO ₂	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	100	1 hora	Concentración promedio horaria
NO ₂	60	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O ₃	100	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
CO	5000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	35000	1 hora	Concentración promedio horaria

Parágrafo 1: A partir del 1 de julio de 2018, los niveles máximos permisibles de PM₁₀ y PM_{2.5} para un tiempo de exposición 24 horas serán de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Parágrafo 2. Para verificar el cumplimiento de los niveles máximos permisibles establecidos en la Tabla 1 la concentración de los contaminantes del aire deberá evaluarse por cada punto de monitoreo. El promedio de concentraciones de diferentes puntos de monitoreo no será válido para evaluar el cumplimiento de dichos niveles.

5. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO

Los indicadores de operación y desempeño permiten evaluar la calidad del servicio que prestan los sensores meteorológicos y los equipos de medición de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño para el año 2020. En la primera sección se determinó el porcentaje de datos capturados, y en la segunda sección se presenta el porcentaje de datos válidos, cada una diferenciada por instrumento (sensor, analizador, monitor) y por estación de monitoreo.

5.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS

La Figura 5-1 presenta el porcentaje de captura de datos agrupado por parámetro medido de la RMCAB para el año 2020, la captura de datos de la mayoría de los parámetros fue mayor o igual al 75%. Los parámetros que reportaron un menor porcentaje de captura de datos fueron el NO₂ y el CO, esto se atribuye a que se instalaron nuevos equipos en algunas de las estaciones entre los meses de octubre y noviembre. En las estaciones MinAmbiente y Suba se instalaron nuevos equipos que miden CO y fueron puestos en línea el 13 de octubre de 2020, y en las estaciones de Suba, San Cristóbal, Usaquén y Móvil 7ma se instalaron equipos nuevos que miden NO₂, los cuales fueron puestos en línea el 13 de octubre a excepción del parámetro de NO₂ de la Móvil 7ma que se puso en línea el 5 de noviembre. Asimismo, la estación de Ciudad Bolívar se pone en línea el 16 de octubre de 2020, tiempo que influyó en el cálculo del porcentaje de representatividad de los parámetros.

En la Figura 5-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por los instrumentos de medición agrupados por estación de monitoreo, se observa que el promedio de captura de la mayoría de las estaciones es superior al 83%, exceptuando las estaciones de Bolivia, Ciudad Bolívar y Jazmín. Es de aclarar que la estación Bolivia quedó fuera de operación a finales del mes de septiembre del año 2019 por obras locativas de restauración, y se instalaron equipos analizadores para medir parámetros de calidad del aire, logrando poner la estación en línea el 16 de octubre de 2020 y por esta razón el porcentaje de datos capturados fue del 37%. Jazmín por su parte es una estación nueva que se pone en línea el 1 de octubre de 2020, sin embargo, empezó a monitorear datos para pruebas operativas de sus equipos desde el 1 de marzo de 2020. Otra estación nueva fue Ciudad Bolívar, la cual cuenta con datos desde el 1 de septiembre de 2020 e inicia su monitoreo el 16 de octubre del 2020. Teniendo en cuenta que las estaciones nuevas inician el monitoreo en el transcurso del 2020, estas no cuentan con el 100% de los datos del año.

La estación Usaquén obtuvo un porcentaje de captura de datos del 85%, ya que el parámetro de NO₂ fue puesto en línea en el mes de octubre y además el equipo de PM₁₀ presentó varias fallas a lo largo del año. La estación MinAmbiente obtuvo un porcentaje de captura de datos del 88% debido a que el parámetro de CO fue puesto en línea en octubre, además se presentaron algunas fallas en el equipo de PM₁₀. La estación Suba obtuvo un porcentaje de captura de datos del 83% debido a que en esta estación se pusieron en línea los parámetros de CO y NO₂ en el mes de octubre, lo que generó una reducción en el porcentaje de captura de datos. Finalmente, y como se mencionó anteriormente, las estaciones de Bolivia, Jazmín y Ciudad Bolívar

iniciaron el monitoreo en el transcurso del año 2020, lo cual influyó en el porcentaje de representatividad de sus datos.



Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB – Año 2020

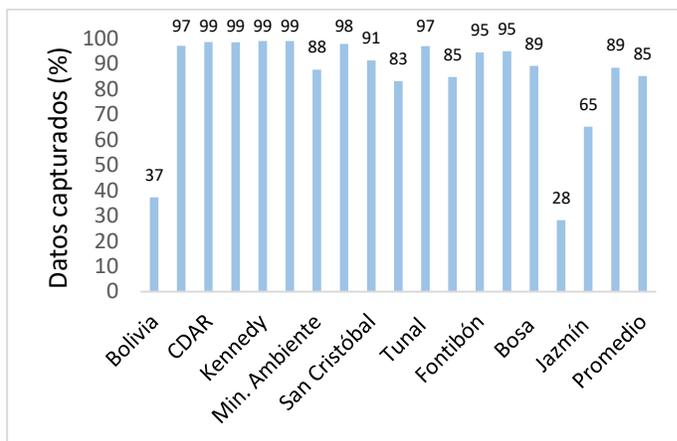


Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación – Año 2020

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S: radiación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

En la Tabla 5-1 se presenta el resumen de datos capturados por instrumento y estación, los espacios en blanco en la tabla indican que no se disponía del equipo de medición requerido durante el periodo evaluado. El promedio de los datos capturados para los monitores activos durante el 2020 fue del 86%.

Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por estación y parámetro – Año 2020

Estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B.	R.S.	Prec.	Prom.
Bolivia	39	37		34	38	39										37
Carvajal Sevillana	99	99	84	99	95	100	100	100	100						95	97
CDAR	98	99	99	97	99	93	100	100	100			100		99	100	99
Guaymaral	98	99	97	93			100	100	100	100	100	100	100	100	98	99
Kennedy	100	100	98	95	100	100	100	100	100			100		97	100	99
Las Ferias	97	98	99	99	99		100	100	100			100	100		99	99
MinAmbiente	95	99	99		22		100	100							100	88
Puente Aranda	97	99	99	94	89	99	100	100	100						100	98
San Cristóbal	98	98	99	22			100	100	100			100		99	100	91
Suba	100	98	99	20	21	98	100	100	100						97	83
Tunal	99	100	93	99	91	99	93	93	99			99	99	99	99	97
Usaquén	88	99	99	74	99	99	100	100	100						100	96
Fontibón	95	95	99	100	59	99	100	100	100			100				95
Móvil 7ma	99	99		66	84		99	99	100			100	100	100	100	95
Bosa	90	93	83	93	91	94	88	86	89			89	89	89		89
Ciudad Bolívar	30	30	30	30	30	30	29	31	31			31	31	7		28
Jazmín	73	63	43	44	73	72	65	51	74			74	76	76		65
Usme	85	86	82	82	88	89	91	72	98			98	98	93		89
Promedio	88	89	88	73	74	85	92	90	93	100	100	91	86	86	99	86

5.2. PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS

El proceso de validación busca validar o invalidar manualmente los datos que han pasado por la validación automática de los equipos y software, pero que aun así pueden presentar errores o inconsistencias en las bases de datos por fallas en los equipos, eventualidades en la ciudad, ruido de los instrumentos, entre otros.

El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2020 fue del 86% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

La Figura 5-3 presenta el consolidado de datos válidos por tipo de instrumento. Al comparar la Figura 5-3 con la Figura 5-1 se puede observar que la diferencia entre los porcentajes de datos válidos y datos disponibles fue muy alta, específicamente para las estaciones que iniciaron su monitoreo en 2020 (Bolivia, Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme). En cuanto a la disponibilidad de los datos de las estaciones de Bosa y Usme fue del 89%, sin embargo, los válidos fueron del 22% y 25% respectivamente, esto debido a que la estación Bosa inicia el monitoreo el 1 de febrero y la estación Usme el 1 de enero, pero se invalidan los datos hasta el 1 de octubre del 2020, día en que se pusieron en línea estas dos estaciones y se cuentan como válidos desde esa fecha, ya que antes las estaciones se encontraban en observación operativa. La situación de las estaciones Bolivia, Jazmín y Ciudad Bolívar se encuentra especificada en el apartado anterior.

Teniendo en cuenta lo anterior, el porcentaje de datos válidos para la mayoría de los parámetros fue menor al 85%, debido a que el cálculo de promedio para el porcentaje de representatividad se ve incidido por la instalación de las nuevas estaciones y los nuevos equipos. Aun así, las variables meteorológicas de temperatura a 8 y 20 metros y la precipitación, tuvieron un porcentaje de datos válidos del 99%, 99% y 98% respectivamente, pues en las nuevas estaciones no se instalaron este tipo de sensores.

Además de la baja representatividad, por lo explicado anteriormente, se presentaron algunos eventos que incidieron en la disminución de los porcentajes; respecto al CO, la estación Fontibón presentó algunas fallas a lo largo del año, asimismo, los equipos de NO₂ de Usaquén y de la Móvil 7ma presentaron también fallos y los analizadores de SO₂ de las estaciones nuevas, tardaron un tiempo en estabilizarse, por lo que los datos debieron ser invalidados. Cabe resaltar que debido a la pandemia por COVID-19 se restringió el ingreso a algunas estaciones a realizar los mantenimientos preventivos y correctivos. El parámetro de PM₁₀ tuvo una menor representatividad que el PM_{2.5} debido a las fallas presentadas en las estaciones Usaquén y MinAmbiente para dichos analizadores.

La Figura 5-4 presenta el porcentaje de datos válidos por estación de monitoreo, al compararla con la Figura 5-2 se observa que el porcentaje de datos invalidados fue igual o menor al 6% de los datos capturados para las estaciones antiguas. Es importante mencionar que el porcentaje de datos válidos para las estaciones nuevas es menor comparada con los datos capturados, porque fue necesario evaluar inicialmente el comportamiento de cada uno de los parámetros, antes de ponerlos en línea.

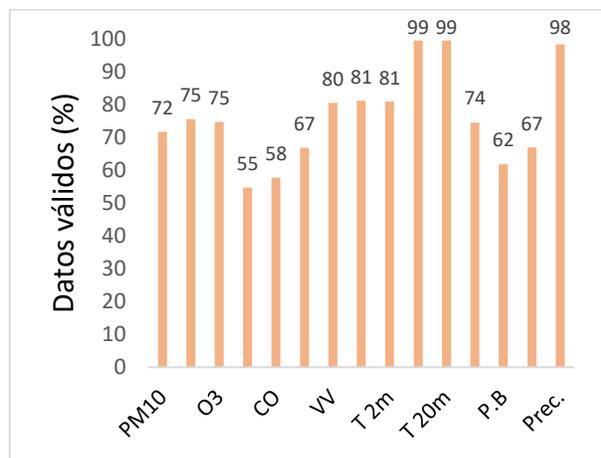


Figura 5-3 Porcentaje de datos válidos por tipo de instrumento – Año 2020

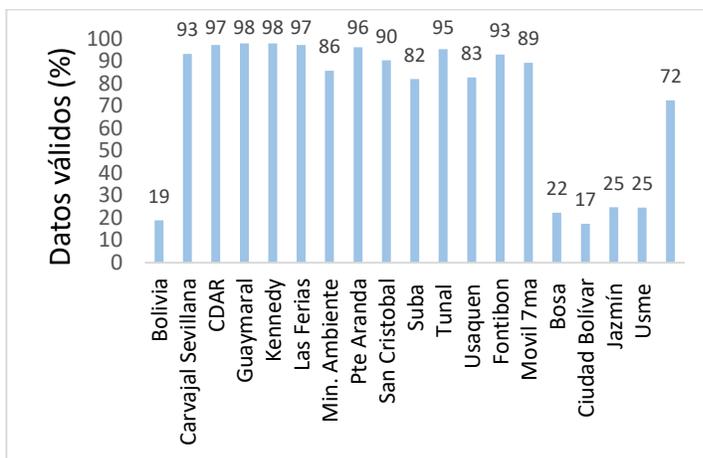


Figura 5-4 Porcentaje de datos válidos por estación – Año 2020

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec.: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S radiación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

El consolidado del porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición y datos válidos agrupados por estación de medición del año 2020 se exponen en la Tabla 5-2. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se disponía del instrumento de medición en la respectiva estación durante el periodo de medición. El consolidado de los datos capturados válidos para los monitores activos durante el 2020 fue del 72%.

Tabla 5-2 Porcentaje de datos válidos por estación y parámetro – Año 2020

estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B.	R.S.	Prec.	Prom.
Bolivia	19	20		18	19	19										19
Carvajal Sevillana	95	94	81	79	93	99	96	100	100						95	93
CDAR	93	97	95	94	96	93	100	100	100			100		99	100	97
Guaymaral	95	98	97	93			97	99	99	99	99	99	99	99	98	98
Kennedy	98	99	95	99	95	99	100	100	100			100		97	92	98
Las Ferias	92	93	98	97	99		93	99	100			100	100		99	97
MinAmbiente	88	98	90		24		99	100							100	86
Puente Aranda	93	98	98	95	78	99	100	100	100						100	96
San Cristóbal	94	93	98	22			99	99	99			99		99	99	90
Suba	96	96	96	20	20	97	98	100	100						97	82
Tunal	99	99	86	88	91	99	91	91	99			99	99	99	99	95
Usaquén	44	97	80	22	97	87	100	100	100						100	83
Fontibón	94	94	99	99	45	98	100	100	100			100				93
Móvil 7ma	98	98		15	76		99	96	100			100	100	100	100	89
Bosa	20	20	20	20	20	19	24	23	25			25	25	25	0	22
Ciudad Bolívar	21	21	13	21	21	9	20	21	21			21	21	0	0	17
Jazmín	25	23	24	25	25	24	25	25	25			25	25	25	0	25
Usme	25	21	24	25	24	25	25	25	25			25	25	25	0	25
Promedio	72	75	75	55	58	67	80	81	81	99	99	74	62	67	98	72

6. CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS)

En este capítulo se muestra el análisis realizado a partir de los datos de concentraciones de contaminantes registrados por los equipos de la RMCAB durante el año 2020. Este análisis incluye datos representados en tablas y gráficas, comparación de los promedios horarios, diarios, anuales y móviles de 8 horas, según corresponda y la evaluación con los niveles máximos permisibles de acuerdo con los tiempos de exposición establecidos en la normatividad nacional (Resolución 2254 de 2017 del MADS). El cálculo de cada promedio se realiza para los parámetros cuya representatividad temporal sea igual o superior al 75% para el periodo de análisis.

La distribución espacial de las mediciones de concentraciones de los contaminantes se representa mediante mapas de interpolación espacial producto de la implementación de un método geoestadístico, por lo que se debe tener en cuenta que estas representaciones se encuentran sujetas a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria con base en las mediciones de cada estación.

Para la representación de las gráficas y tablas de las estaciones de monitoreo de la RMCAB, se usan las siguientes siglas:

Estación	Guaymaral	Usaquén	Suba	Bolivia	Las Ferias	Centro de Alto Rendimiento
Sigla	GYR	USQ	SUB	BOL	LFR	CDAR
Estación	MinAmbiente	Móvil 7ma	Fontibón	Puente Aranda	Jazmín	Kennedy
Sigla	MAM	MOV	FTB	PTE	JAZ	KEN
Estación	Carvajal -Sevillana	Bosa	Tunal	Ciudad Bolívar	San Cristóbal	Usme
Sigla	CSE	BOS	TUN	CBV	SCR	USM

Adicionalmente la representación de las concentraciones se realiza por grupos de estaciones, teniendo en cuenta la cercanía entre ellas y el comportamiento de los contaminantes para cada zona.

6.1. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (PM₁₀)

El PM₁₀ corresponde a todas las partículas con diámetro menor o igual a 10 µm, que se componen de sustancias inorgánicas y orgánicas, las cuales provienen de las fuentes de emisión móviles y fijas, en procesos de combustión, y procesos mecánicos, como obras de construcción y resuspensión del polvo en vías.

6.1.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL PM₁₀ POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-1 se observan los promedios anuales de PM₁₀ registrados por las estaciones de la RMCAB durante el 2020, además de incluir las estadísticas respecto a promedios, valores máximos diarios y excedencias a la norma, y en la Figura 6-1 se representan los promedios anuales de PM₁₀ para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. Solamente la estación Carvajal-Sevillana excedió el valor de la norma anual (50 µg/m³), con un promedio de 64.0 µg/m³, siendo además la concentración más alta registrada en la ciudad; por otro lado, las estaciones Centro de Alto Rendimiento y MinAmbiente, en la zona central de la ciudad, registraron las concentraciones más bajas, con 21.6 y 20.6 µg/m³ respectivamente.

Con respecto a las excedencias 24h, la estación Carvajal-Sevillana registró el mayor número de datos sobre la norma con 101 registros, seguida de la estación Bolivia con 13 excedencias, y Móvil 7ma con 12 excedencias. Las estaciones Bolivia, Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín, Usme y Usaquén registraron menos del 75% de datos válidos en el 2020; en las cinco primeras estaciones debido a que entraron en funcionamiento en el mes de octubre de 2020, y Usaquén debido a que se invalidaron gran parte de los datos por comportamiento atípico de los mismos.

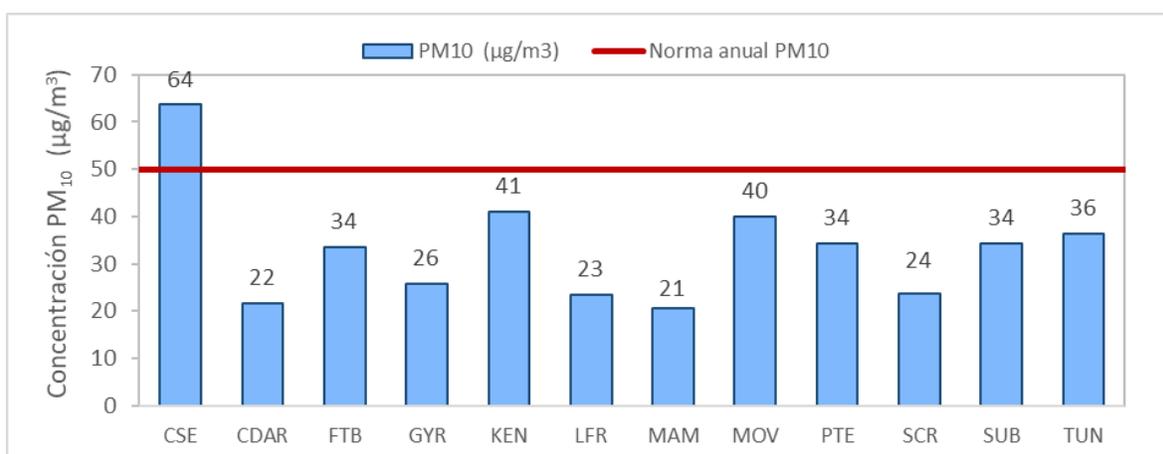


Figura 6-1 Concentraciones promedio anual de PM₁₀ – Año 2020

Tabla 6-1 Estadísticas de las concentraciones anuales de PM₁₀ – Año 2020

Estación	Prom. anual PM ₁₀ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced. 24h	Estación	Prom. anual PM ₁₀ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced. 24h
Norma anual: 50 µg/m³ Norma diaria: 75 µg/m³					Norma anual: 50 µg/m³ Norma diaria: 75 µg/m³				
BOL*	55.3	19%	94.7	13	LFR	23.5	92%	86.9	2
BOS*	37.3	19%	66.7	0	MAM	20.6	90%	95.8	1
CSE	63.6	96%	172.4	101	MOV	40.0	98%	124.5	12
CDAR	21.6	96%	84.1	1	PTE	34.2	95%	112.5	5
CBV*	43.8	21%	91.6	3	SCR	23.6	95%	108.4	3
FTB	33.6	95%	108.7	4	SUB	34.2	97%	95.7	10
GYR	25.7	94%	93.1	1	TUN	36.5	99%	114.2	8
JAZ*	32.3	25%	68.4	0	USQ*	23.9	43%	61.5	0
KEN	41.1	99%	104.7	9	USM*	30.4	25%	55.1	0

* Las concentraciones estimadas en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

En la Figura 6-2 se representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de PM₁₀ por estación para el año 2020, el cual está elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. De acuerdo con esta representación, las concentraciones más altas se presentaron en la zona suroccidental de la ciudad, en la intersección de las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con un rango de concentraciones entre 50 y 64 µg/m³, seguidas de la zona occidental y norte con variación de concentraciones entre 31 y 36 µg/m³. Las concentraciones más bajas se registraron hacia el centro y suroriente de la ciudad, con concentraciones menores a 30 µg/m³. La distribución espacial de las concentraciones se mantuvo similar a los años anteriores, teniendo en cuenta que en el 2020 hubo cambios en el funcionamiento de las fuentes de emisión en la ciudad.

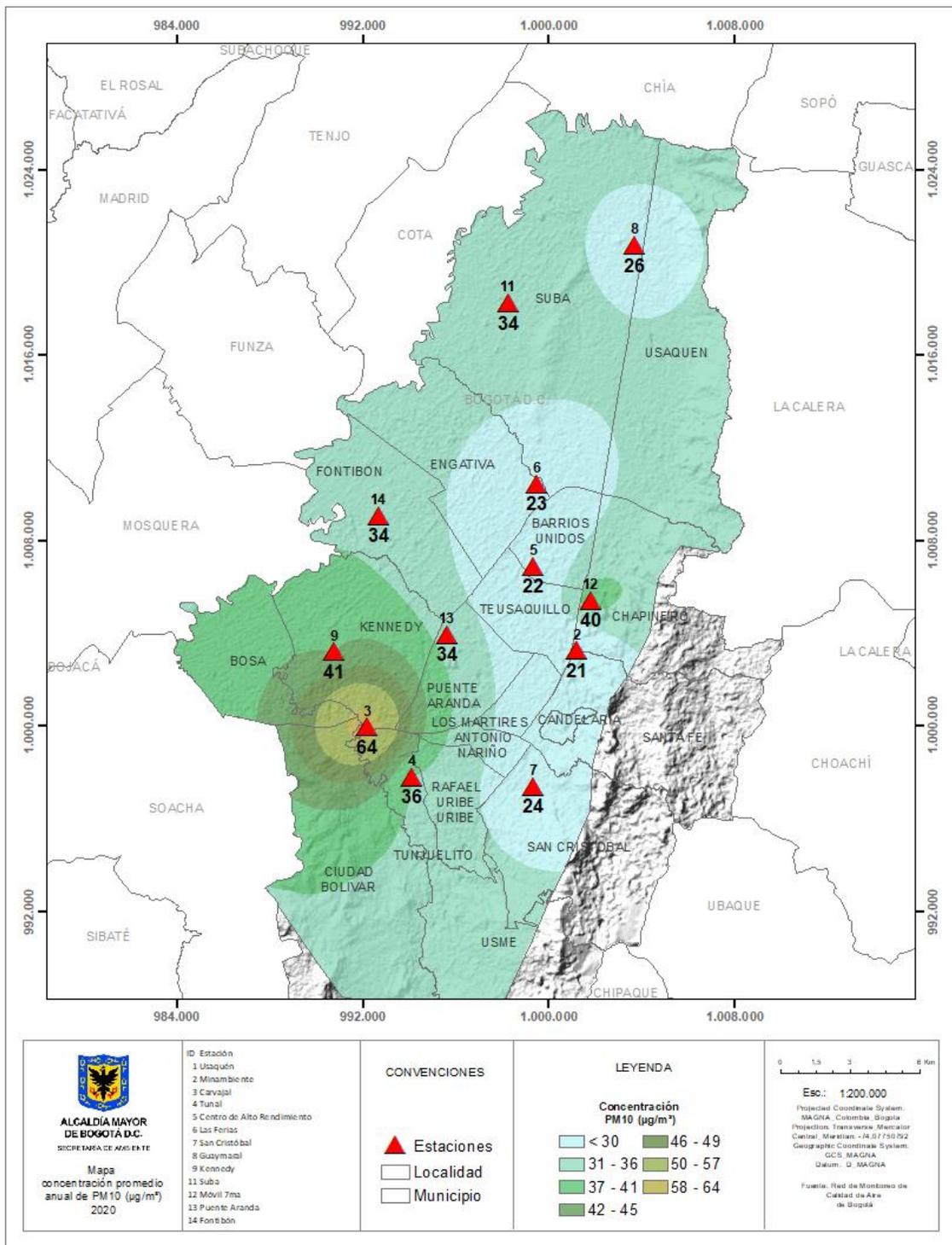


Figura 6-2 Distribución espacial de los promedios anuales de PM₁₀ del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging

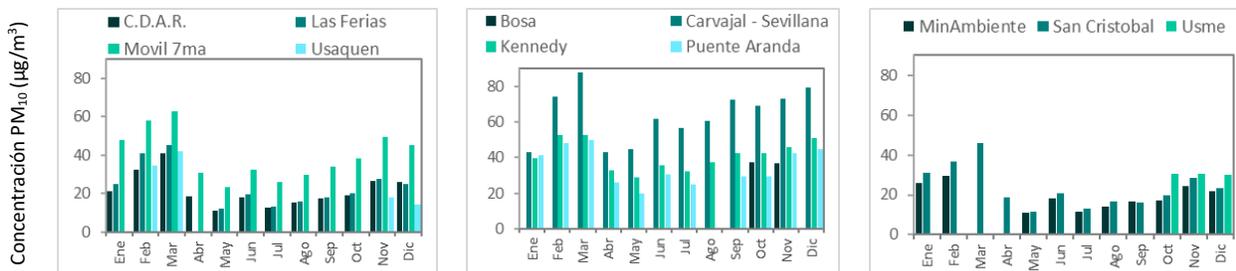
6.1.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM₁₀ POR ESTACIÓN

La Figura 6-3 muestra el comportamiento de las concentraciones mensuales de PM₁₀ por cada estación de monitoreo. Se observa que las concentraciones se incrementaron notablemente en los tres primeros meses del año, alcanzando las concentraciones más altas en marzo, luego hubo un descenso importante en los meses de abril y mayo, debido a las restricciones de movilidad y de actividad en el marco de las acciones contra la propagación del COVID-19. Desde el mes de junio se evidenció un aumento gradual de las concentraciones hasta el mes de diciembre, siendo los dos últimos meses del año los que registraron concentraciones más altas en el segundo semestre del año.

Las estaciones del sur y suroccidente (especialmente Carvajal-Sevillana) registraron las concentraciones más altas en la ciudad a lo largo del año, mientras que los valores más bajos se observaron en las estaciones del centro y sureste. Al noroccidente la estación Bolivia registró las concentraciones más altas de la zona debido a la posible influencia de obras de adecuación ejecutadas en la PTAR Salitre.

En la Figura 6-4 se evidencia el comportamiento del contaminante PM₁₀ durante una semana y un día típico del año para cada estación de monitoreo. Las concentraciones más altas se observaron el martes, con una disminución ligera hacia el jueves, y un descenso más evidente hasta el domingo, día que registró las concentraciones más bajas en la semana. En este año se observó una reducción de la acumulación de las concentraciones a lo largo de la semana, adicionalmente en las estaciones que registraron bajas concentraciones hubo una menor variación de las concentraciones a lo largo de la semana.

En la Figura 6-5 se observa la variación horaria de las concentraciones de PM₁₀ en un día promedio para el año 2020. En la mayoría de las estaciones de monitoreo el comportamiento durante el día fue similar, las concentraciones más bajas se evidencian en la madrugada hasta las 6 de la mañana, hay un incremento notable desde las 7 a.m. y se alcanza el pico más alto entre las 8 y las 9 a.m. Después se reducen gradualmente y se mantienen estables para las estaciones del sur y del norte de la ciudad. En la zona occidental de la ciudad se observó un aumento leve hacia las 9 p.m., y luego descienden nuevamente. Solamente en Bolivia se observó un comportamiento atípico en el cual las concentraciones ascienden gradualmente desde medio día, por lo cual la influencia de las fuentes de emisión predominaba en la tarde, a diferencia de las demás estaciones, en las cuales las condiciones de variación de temperatura y reducción de la velocidad del viento en la mañana inciden para que se acumule mayor contaminación en la hora de mayor actividad vehicular de la mañana.



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB
INFORME ANUAL

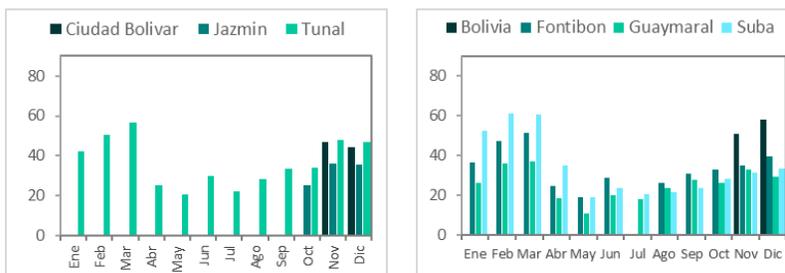


Figura 6-3 Concentraciones mensuales de PM_{10} por estación – Año 2020

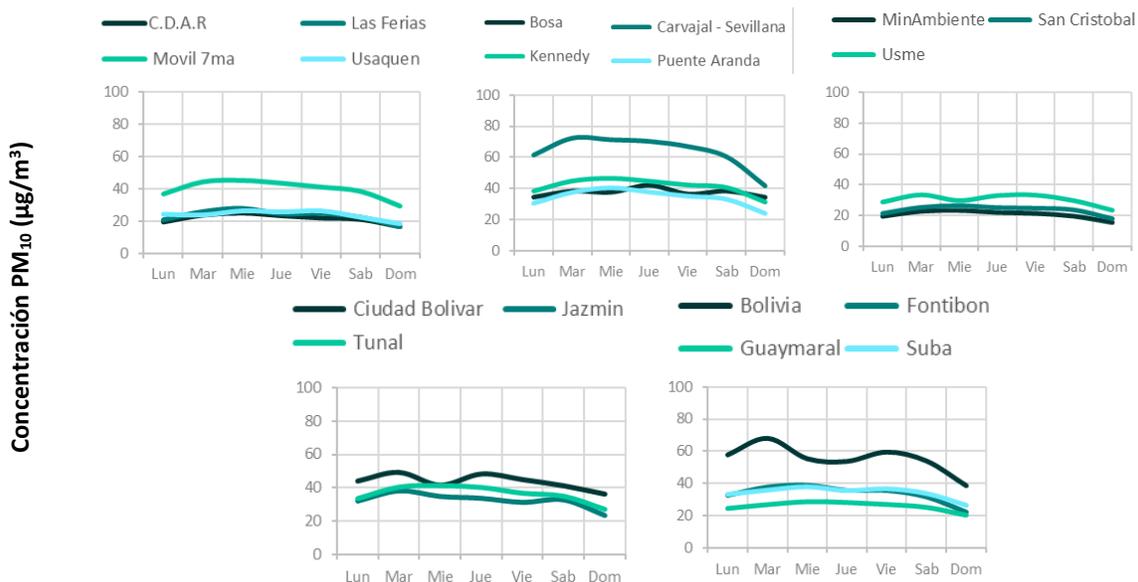


Figura 6-4 Comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} – Año 2020

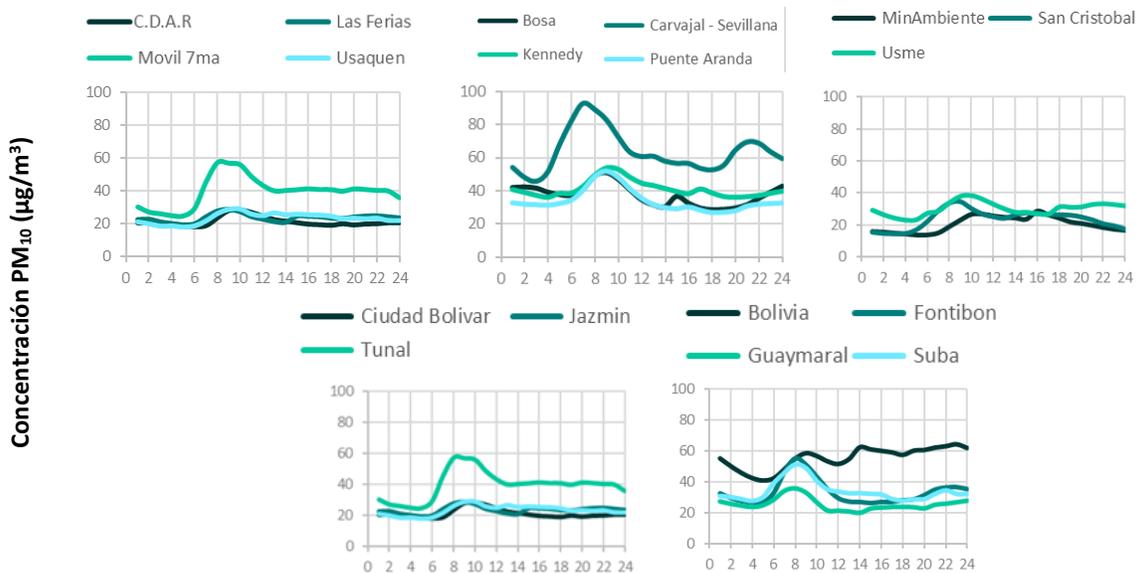


Figura 6-5 Comportamiento horario de las concentraciones de PM_{10} – Año 2020

6.1.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL PM₁₀ POR ESTACIÓN

Los promedios anuales de concentración de PM₁₀ para los años 2016 a 2020 se muestran en la Figura 6-6. Se observa una tendencia a la reducción de las concentraciones con el paso de los años, con lo cual todas las estaciones a excepción de Carvajal-Sevillana cumplen con el nivel máximo permisible desde 2018. En las estaciones Carvajal-Sevillana, Tunal y Guaymaral se observó un aumento de la concentración respecto al 2019, siendo más evidente en la primera estación con un incremento de 8 µg/m³ en el 2020. El registro anual más alto de PM₁₀ de los últimos cinco años se presentó en Carvajal-Sevillana en el año 2016 (76 µg/m³), y el más bajo en la estación MinAmbiente en el año 2020 (21 µg/m³).

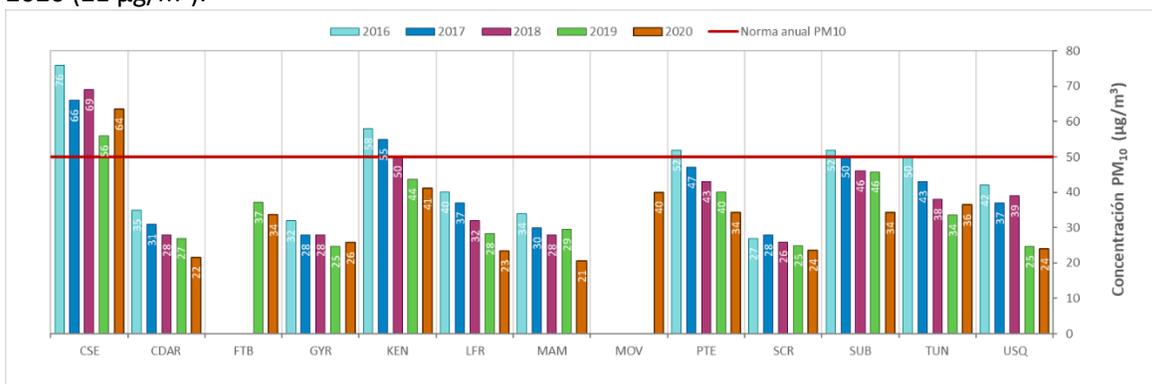


Figura 6-6 Concentraciones anuales de PM₁₀ años 2016 a 2020

6.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS (PM_{2.5})

El PM_{2.5} representa la masa de las partículas cuyo diámetro es igual o inferior a 2.5 µm, compuestas de diferentes sustancias tales como metales pesados u hollín, las cuales provienen de todo tipo de combustiones, incendios forestales, y algunos procesos industriales.

6.2.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL PM_{2.5} POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-2 se relacionan los promedios anuales de PM_{2.5} registrados en el año 2020, los valores máximos, porcentaje de datos válidos y excedencias al nivel máximo permisible en resolución temporal diaria, y en la Figura 6-7 se representan los promedios anuales de PM_{2.5} para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. La concentración más alta se registró en la estación Carvajal-Sevillana con 29.2 µg/m³, hacia el suroccidente de la ciudad, mientras que la concentración anual más baja se evidenció en San Cristóbal, con 12.1 µg/m³ en la zona suroriente.

En relación con las excedencias a la norma diaria (37 µg/m³), la estación Carvajal-Sevillana registró el mayor número de datos diarios sobre el límite máximo, con 80 datos, seguida de la estación Móvil 7ma con 41 datos. Las estaciones Bolivia, Bosa, Jazmín y Usme no registraron excedencias de PM_{2.5}.

Los monitores de PM_{2.5} de las estaciones Bolivia, Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme registraron menos del 75% de datos válidos durante el año 2020, debido a que dichas estaciones fueron

instaladas hasta el mes de octubre de 2020. Por ello los promedios estimados son indicativos, ya que solo representan una parte del comportamiento del contaminante durante el año.

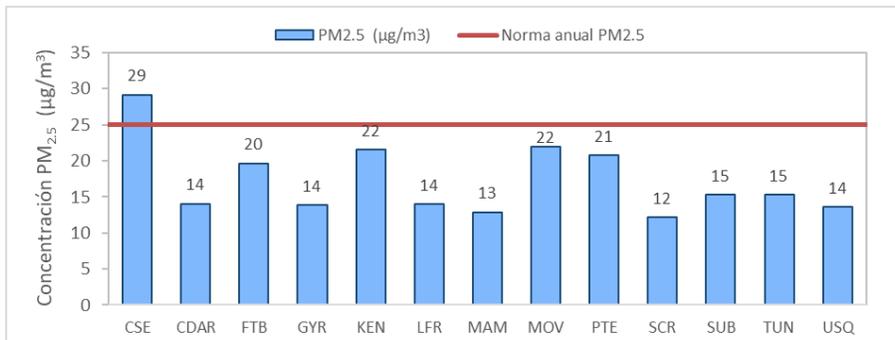


Figura 6-7 Concentraciones promedio anual de PM_{2.5} – Año 2020

Tabla 6-2. Estadísticas de las concentraciones anuales de PM_{2.5} – Año 2020

Estación	Prom. anual PM _{2.5} (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced. 24h
Norma anual: 25 µg/m ³ Norma diaria: 37 µg/m ³				
BOL*	17.6	19%	28.3	0
BOS*	15.6	19%	32.4	0
CSE	29.2	94%	71.8	80
CDAR	14.0	97%	53.5	10
CBV*	22.6	21%	48.3	4
FTB	19.7	94%	60.9	17
GYR	13.9	98%	50.0	8
JAZ*	15.7	23%	36.6	0
KEN	21.6	100%	63.3	26

Estación	Prom. anual PM _{2.5} (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced. 24h
Norma anual: 25 µg/m ³ Norma diaria: 37 µg/m ³				
LFR	14.0	91%	57.0	10
MAM	12.9	99%	46.9	7
MOV	22.0	99%	66.0	41
PTE	20.8	100%	60.8	25
SCR	12.1	90%	46.3	6
SUB	15.3	96%	56.5	10
TUN	15.3	99%	56.5	9
USQ	13.6	98%	53.6	11
USM*	15.1	20%	36.6	0

* Las concentraciones estimadas en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

En la Figura 6-8 se representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de PM_{2.5} para 2020, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. Según esta representación, las concentraciones más altas se presentaron en la zona suroccidental, en donde confluyen las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con concentraciones entre 24 y 29 µg/m³. Las concentraciones más bajas se registraron al oriente de la ciudad, con valores entre 12 y 16 µg/m³. La distribución espacial del PM_{2.5} es similar a la del PM₁₀, en la cual las mayores concentraciones suelen registrarse hacia el occidente de la ciudad y las más bajas en el oriente, esto se debe principalmente a la influencia de la dirección del viento, que tiende a ser de oriente a occidente durante la mayor parte del tiempo, además de las variaciones de temperatura y precipitación que inciden en una mayor dispersión y remoción de contaminantes en la zona oriental de la ciudad.

Secretaría Distrital de Ambiente
 Dirección de Control Ambiental
 Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
 Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

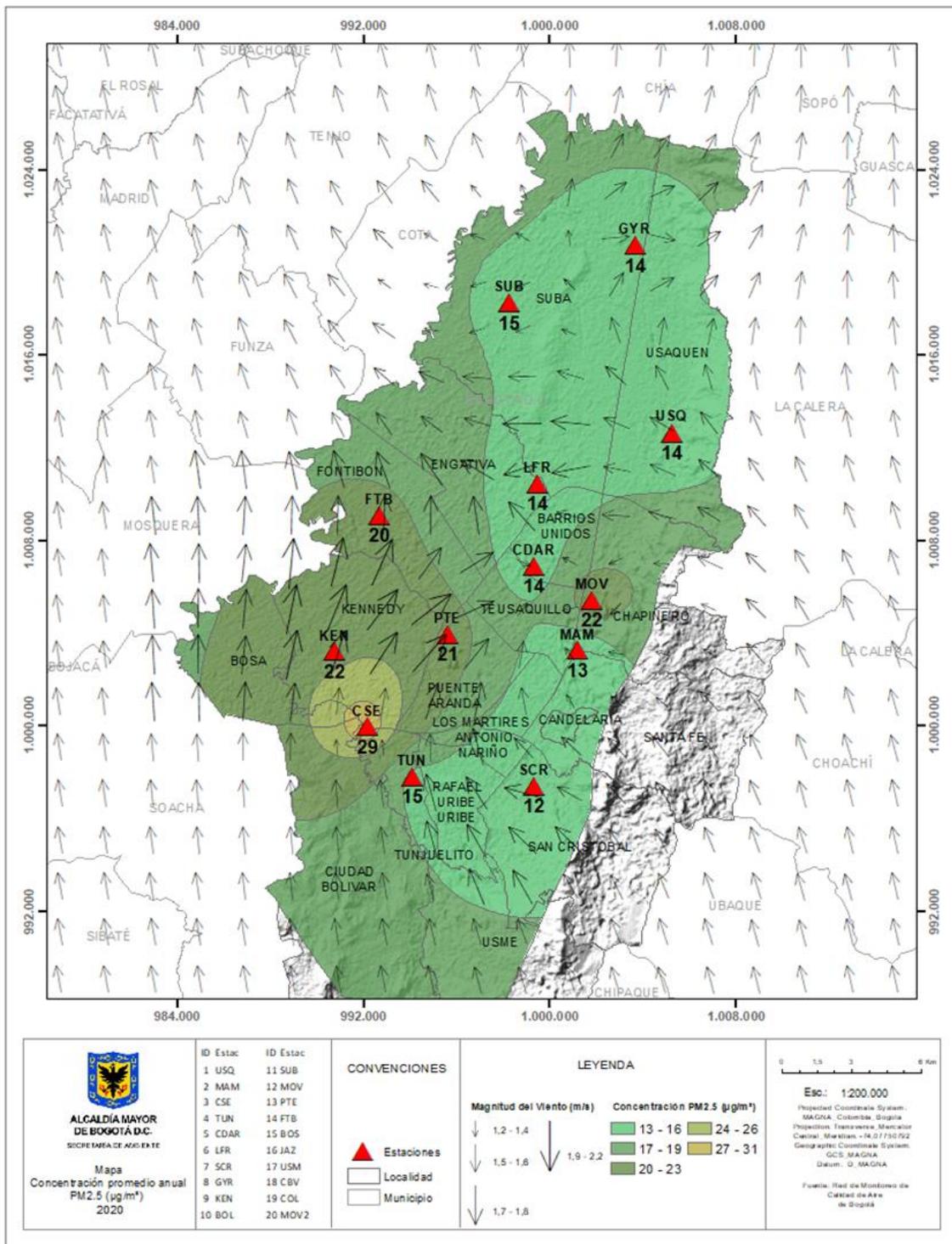


Figura 6-8 Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{2.5} del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging

6.2.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

Durante el año 2020, se evidenciaron cambios en las concentraciones a lo largo del año, de acuerdo con las variaciones en los parámetros meteorológicos y el comportamiento de las fuentes de emisión (Figura 6-9). En los primeros tres meses se registraron las concentraciones más altas, siendo los valores del mes de marzo los más altos del año, después hubo un descenso pronunciado hasta el mes de julio en la mayoría de las estaciones, y a partir de este mes hubo un incremento gradual hasta diciembre. Los promedios mensuales más altos se evidenciaron en la zona suroccidente, y en las estaciones Móvil 7ma y Ciudad Bolívar, y los más bajos en la zona norte, en las estaciones Suba y Guaymaral.

Las concentraciones elevadas en el primer trimestre de 2020 estuvieron influenciadas por las condiciones meteorológicas que desfavorecieron la dispersión de contaminantes y por el transporte de contaminantes provenientes de los incendios forestales del oriente del país y de Venezuela, registrando concentraciones altas de material particulado hasta mediados de abril. En los siguientes meses se evidenció en mayor medida el efecto de las restricciones a la movilidad y a varias actividades comerciales e industriales en la ciudad y en los municipios aledaños, además del mejoramiento en las condiciones meteorológicas para la dispersión de contaminantes.

El comportamiento de una semana promedio se observa en las gráficas de la Figura 6-10. Al igual que las concentraciones de PM_{10} , se observa que las concentraciones fueron más altas el martes, permanecieron relativamente estables hasta el jueves y descendieron en los viernes, sábados y domingos. Cabe resaltar que para las estaciones nuevas instaladas en 2020 el comportamiento corresponde solamente al último trimestre del año, por lo cual las variaciones en las concentraciones pueden tener un patrón diferente al de las demás estaciones de la misma zona.

En la Figura 6-11 se representa el comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en un día promedio de 2020. Al inicio del día se registran las concentraciones más bajas, y empiezan a incrementarse hacia las 6 a.m., evidenciando los datos más altos entre las 8 y las 9 a.m. En la estación Carvajal-Sevillana este aumento se observa desde las 6 de la mañana, ya que la afluencia de tráfico inicia antes que en otras zonas de la ciudad. Posteriormente las concentraciones descienden y se mantienen estables durante la tarde, y se incrementan en menor proporción hacia las 8 p.m., cuando hay un aumento en el tráfico por el retorno de las personas a sus viviendas. Las estaciones de monitoreo ubicadas cerca de vías de alto tráfico registran las concentraciones más elevadas en cada zona de la ciudad, tales como la Autopista Sur (Carvajal-Sevillana) y Carrera 7ma (Móvil 7ma).

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

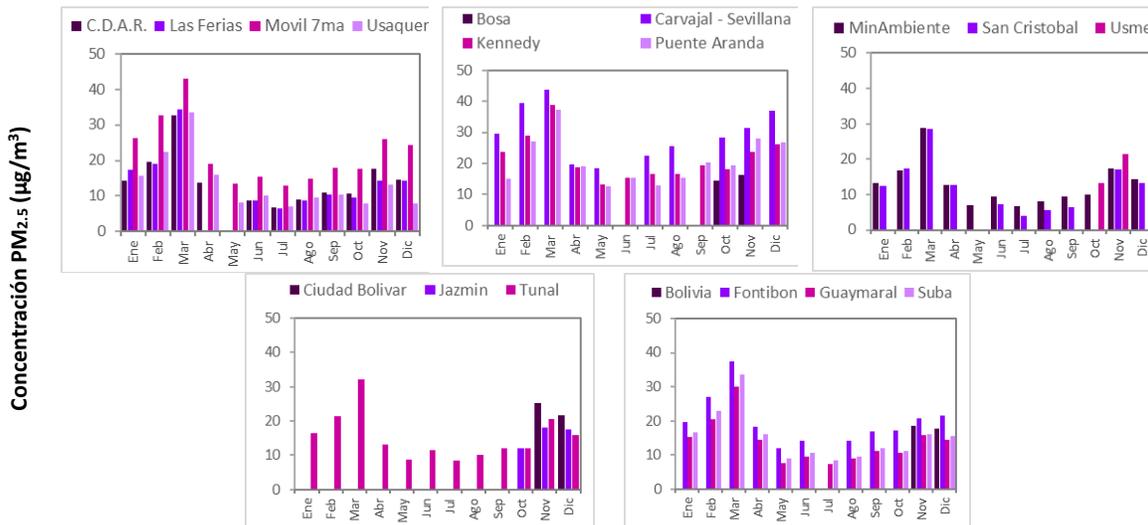


Figura 6-9 Concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ por estación – Año 2020

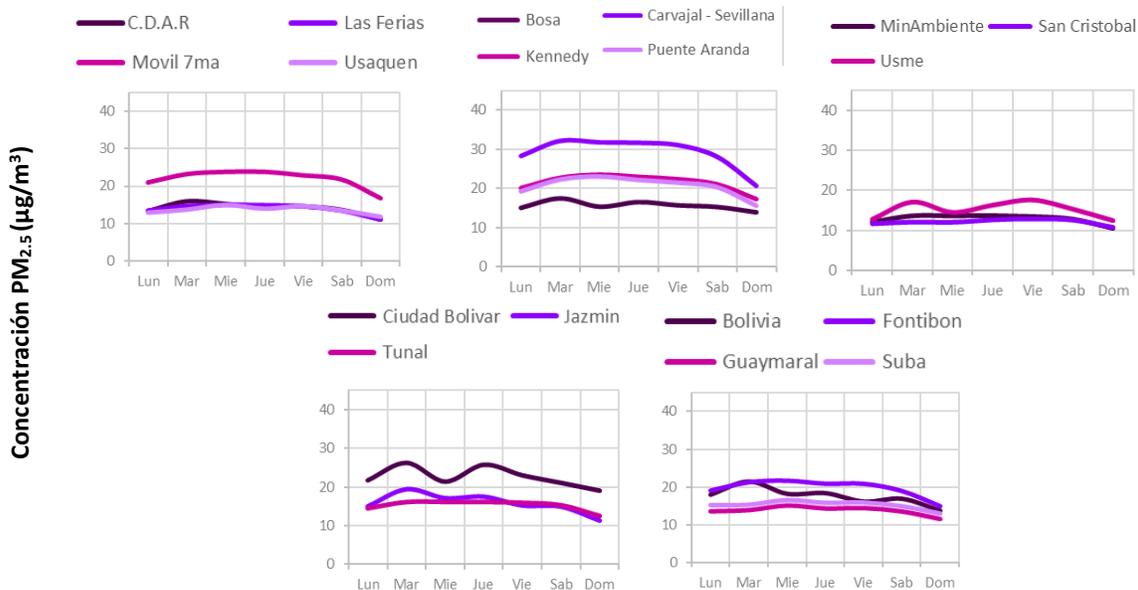
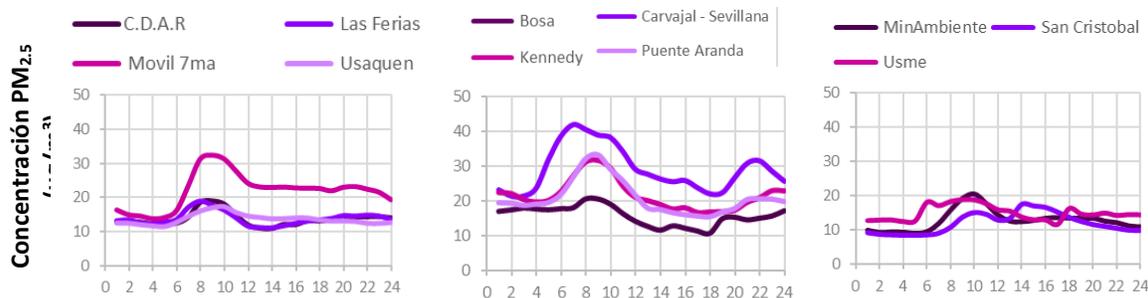


Figura 6-10 Comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ – Año 2020



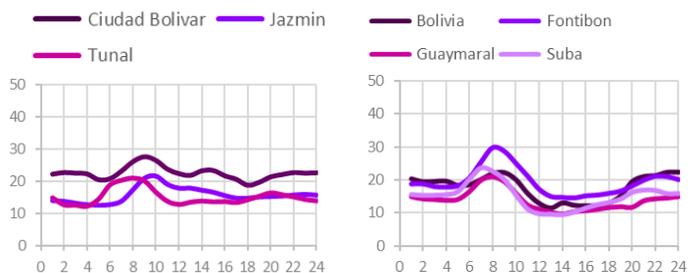


Figura 6-11 Comportamiento horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ – Año 2020

6.2.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

En la Figura 6-12 se representan los promedios anuales de $PM_{2.5}$ para los años 2016 a 2020. Se observa que las concentraciones del año 2020 en general fueron menores o similares a las de los años anteriores, y a excepción de Carvajal-Sevillana, se han mantenido las concentraciones anuales por debajo del nivel máximo permisible ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En la estación Fontibón se observó el aumento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con respecto al 2019, y en Puente Aranda se evidenció un incremento de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en relación con el 2018. Las restricciones en las actividades de la ciudad y en la circulación de vehículos incidieron en la reducción generalizada de las concentraciones de $PM_{2.5}$, sin embargo, el primer trimestre del año la ciudad tuvo condiciones normales de funcionamiento y además hubo influencia en las concentraciones de material particulado provenientes de incendios forestales, por lo cual no se ha evidenciado una tendencia a la reducción de las concentraciones generalizada en la ciudad.

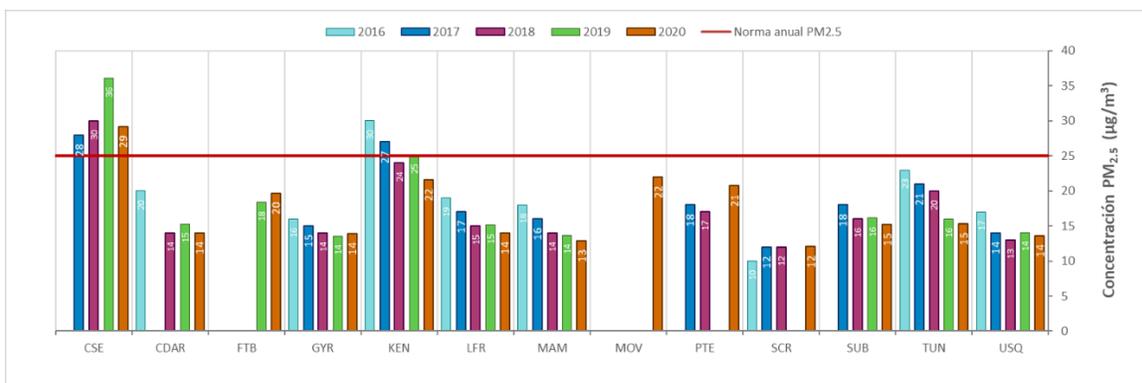


Figura 6-12 Concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ años 2016 a 2020

6.3. OZONO (O_3)

El O_3 es un gas azul pálido que existe en las capas altas bajas de la atmósfera, pero mientras en la estratósfera es de tipo natural, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, en las capas bajas es perjudicial en los seres vivos (ozono troposférico), ya que es un oxidante fuerte e irritante que en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos afecta las mucosas y tejidos pulmonares, y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmósfera, sino que es producido por la reacción química entre el oxígeno natural

del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores de la reacción química en presencia de la luz solar.

6.3.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL O₃ POR ESTACIÓN

La Tabla 6-3 contiene los promedios anuales de concentración de ozono para el año 2020, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas, el porcentaje de datos válidos, valores máximos y número de excedencias a la norma, y en la Figura 6-13 se observan las concentraciones promedio anual de 2020 para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. De acuerdo con lo anterior, se observa que la concentración anual más alta se registró en la estación Kennedy, con 36.410 µg/m³, mientras que la concentración más baja se obtuvo en la estación Puente Aranda, con 17.592 µg/m³.

La estación Centro de Alto Rendimiento registró el mayor número de excedencias, con 133 datos sobre la norma para un tiempo de exposición 8 horas, seguida de Kennedy con 99 excedencias. Las estaciones que iniciaron su funcionamiento en octubre de 2020 (Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme) registraron entre el 20 y el 24% de representatividad temporal de los datos.

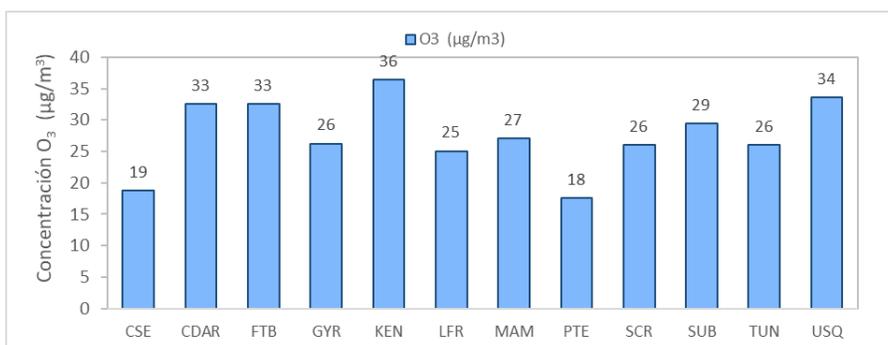


Figura 6-13 Concentraciones promedio anual de O₃ – Año 2020

Tabla 6-3 Estadísticas de las concentraciones anuales de O₃ – Año 2020

Estación	Prom. anual O ₃ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced . 8h	Estación	Prom. anual O ₃ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced . 8h
Norma media móvil 8 horas: 100 µg/m³					Norma media móvil 8 horas: 100 µg/m³				
BOS*	25.961	20%	84.317	0	LFR	25.056	98%	95.083	0
CSE	18.744	81%	86.475	0	MAM	27.079	90%	123.508	12
CDAR	32.586	95%	154.458	133	PTE	17.592	98%	92.582	0
CBV*	24.677	13%	67.934	0	SCR	26.043	98%	85.764	0
FTB	32.591	100%	135.378	38	SUB	29.468	97%	114.553	23
GYR	26.256	97%	136.065	30	TUN	26.048	85%	87.628	0
JAZ*	26.366	24%	86.573	0	USQ	33.574	80%	130.547	20
KEN	36.410	95%	132.729	99	USM*	25.549	24%	83.459	0

* Las concentraciones estimadas en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

La Figura 6-14 representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de O₃ registradas durante el 2020, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. Este contaminante no tiene un comportamiento homogéneo en la ciudad, y es variable según la época del año. En la zona occidental y la zona nororiental de la ciudad se observaron concentraciones entre 29 y 34 µg/m³, en la zona de influencia de las estaciones Puente Aranda y Carvajal-Sevillana se observaron las concentraciones más bajas, menores a 19 µg/m³.

6.3.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O₃ POR ESTACIÓN

El comportamiento del O₃ para cada uno de los meses del año se presenta en la Figura 6-15. Se observa que las concentraciones se incrementaron en la mayoría de las estaciones en el mes de marzo 2020, siendo el promedio de la estación Centro de Alto Rendimiento el más alto del mes. Al norte de la ciudad y en la estación Kennedy también se observó un aumento notable de las concentraciones en relación con los meses previos. En los siguientes meses se observó un descenso en las concentraciones hasta obtener los valores más bajos en el mes de junio, y luego se registró un nuevo incremento hacia el mes de octubre, en el cual los registros más altos se observaron en Kennedy y Usaquén. Hacia final de año en algunas estaciones las concentraciones disminuyeron, mientras que en otras se mantuvieron en valores similares.

El comportamiento del ozono para una semana promedio en el 2020 (Figura 6-16) muestra que las concentraciones se incrementan con el paso de los días, aunque hay un ligero descenso el miércoles, y se incrementa nuevamente hasta alcanzar las concentraciones más altas los domingos. Adicionalmente, en la Figura 6-17 se observa el comportamiento de un día promedio en el 2020. Se observa que el contaminante se encuentra influenciado por la radiación solar, con lo cual las concentraciones más altas se registran entre las 12 y las 2 p.m., mientras que las concentraciones más bajas se evidencian entre las 8 p.m. y las 7 a.m.

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

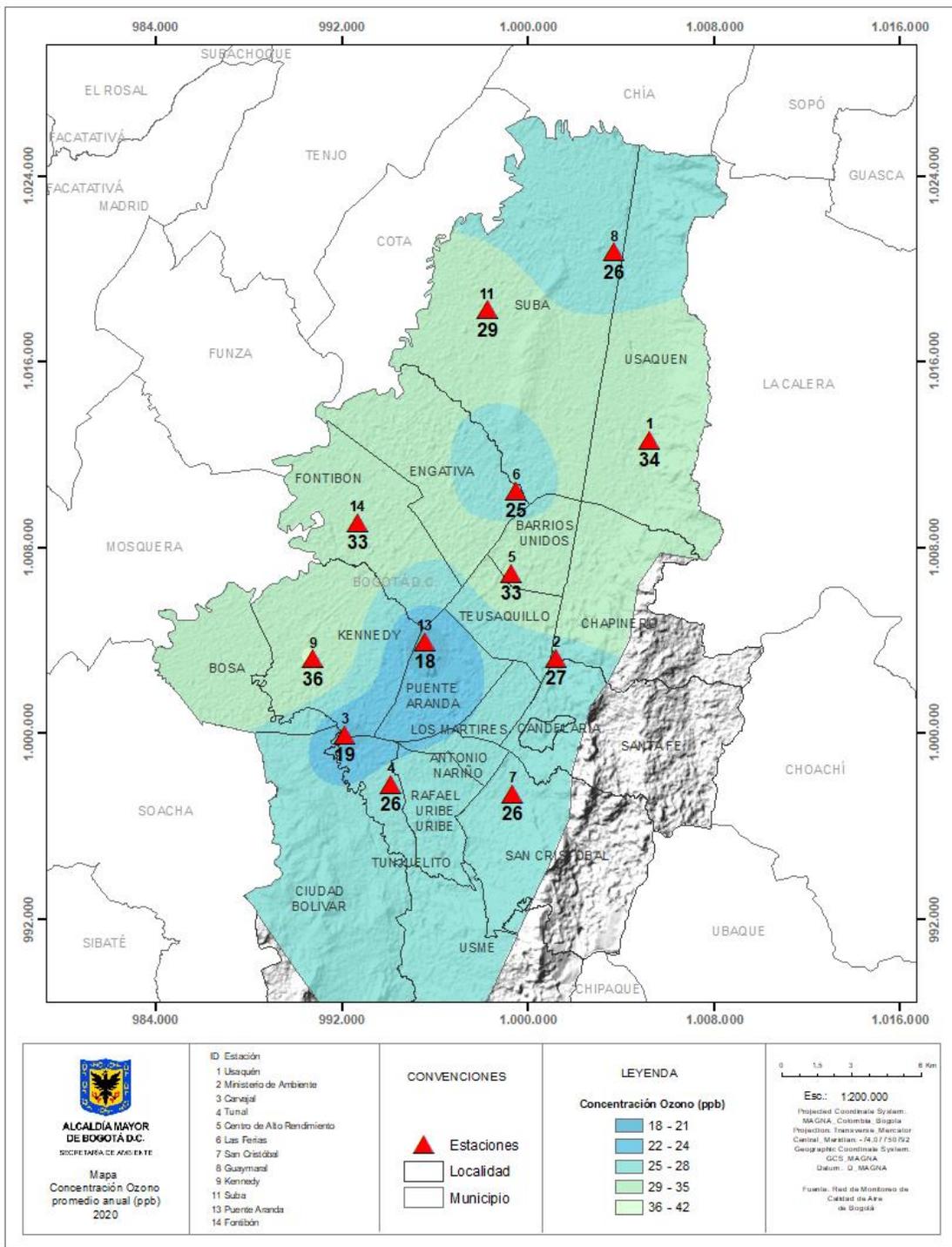


Figura 6-14 Distribución espacial de los promedios anuales de O₃ del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging

En la Figura 6-17 también se observa el comportamiento del O₃ en un día promedio del año 2020. Los niveles de concentración se hallan influenciados por la variación de la radiación solar durante el día, registrando los picos más altos hacia la 1 p.m. En la mañana las concentraciones son bajas, y descienden hacia las 6 a.m., por influencia en el aumento de las concentraciones de NO₂, aumentan hasta el pico después de mediodía, y descienden nuevamente tras la reducción de la radiación solar.

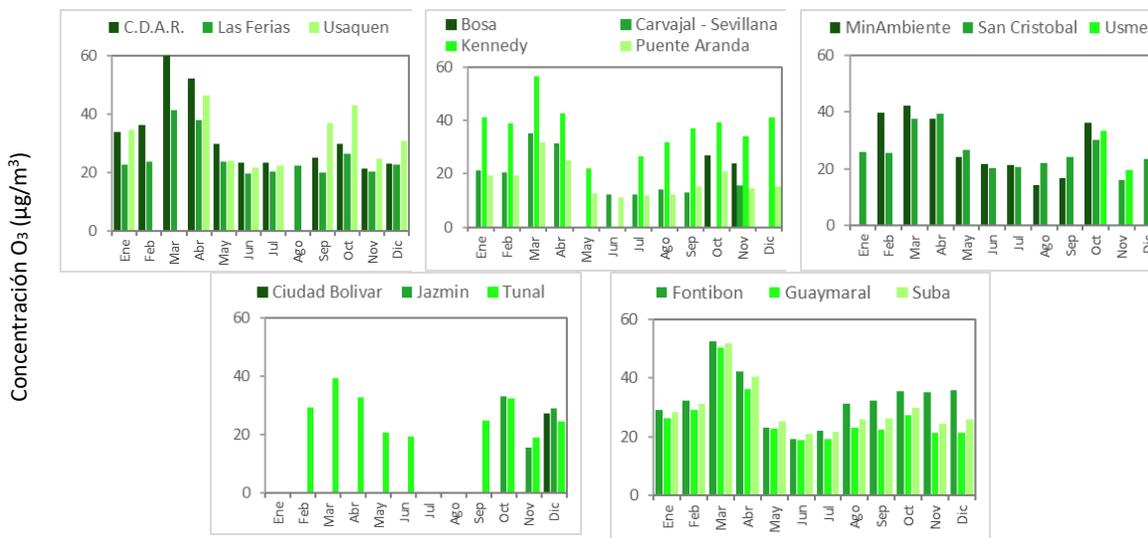


Figura 6-15. Concentraciones mensuales de O₃ por estación – Año 2020

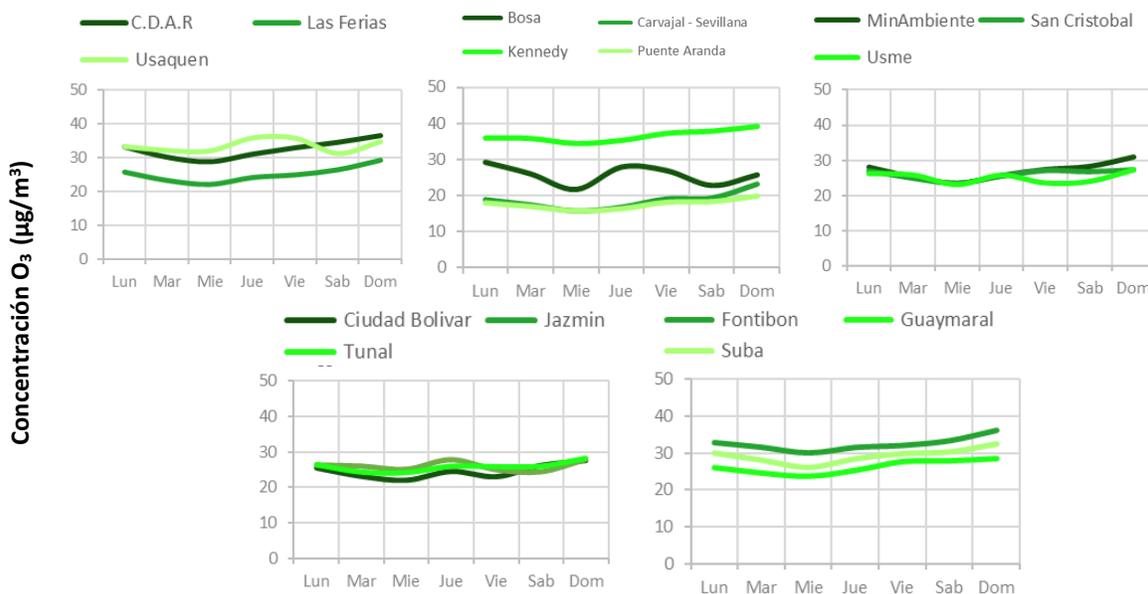


Figura 6-16. Comportamiento diario de las concentraciones de O₃ – Año 2020

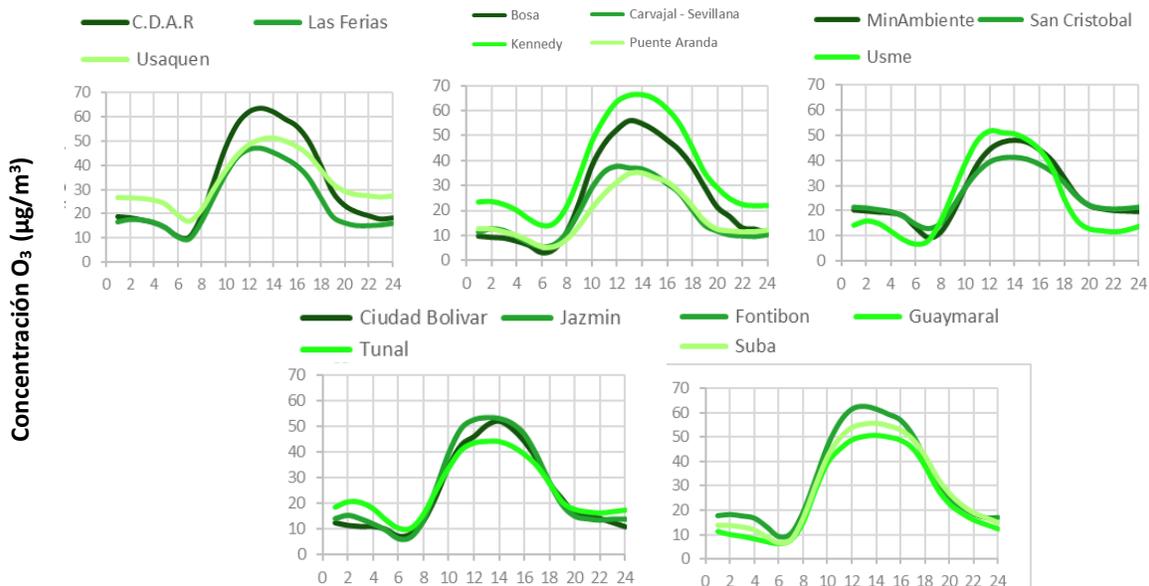


Figura 6-17 Comportamiento horario de las concentraciones de O₃ – Año 2020

6.3.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL O₃ POR ESTACIÓN

En la Figura 6-18 se observan las concentraciones anuales de O₃ para los años 2016 a 2020. Se evidencia que hay una tendencia al incremento de las concentraciones de este contaminante en la mayoría de las estaciones, siendo los aumentos más notables en Fontibón y Kennedy con 9 y 8 µg/m³ respectivamente con relación al 2019. Las concentraciones más altas en este periodo se registraron en Usaquén (38 µg/m³ en 2016) y en Kennedy (36 µg/m³ en 2020). Las concentraciones han variado en el tiempo, influenciadas por los cambios en las variables meteorológicas de cada época del año y por la variación en las concentraciones de los precursores de ozono.

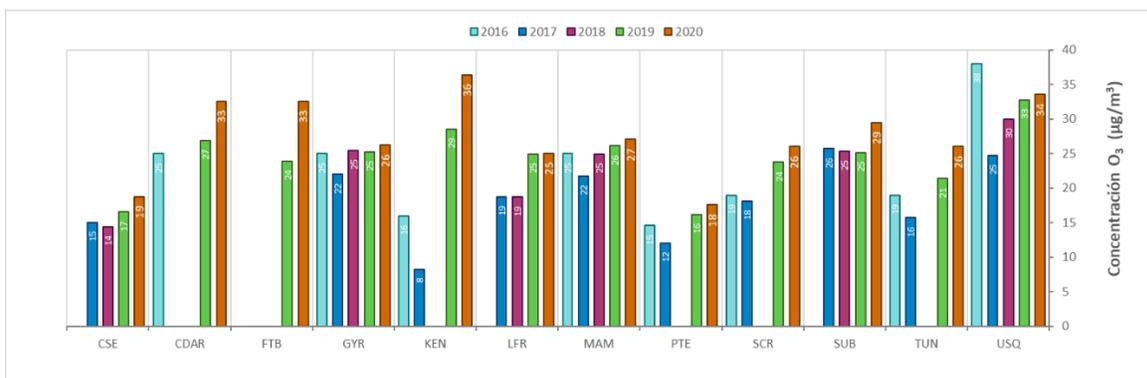


Figura 6-18 Concentraciones anuales de O₃ años 2016 a 2020

6.4. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂)

El NO₂ es uno de los gases de los óxidos de nitrógeno. Es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO₂ participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O₃) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias, además de contribuir a la formación del smog fotoquímico.

6.4.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL NO₂ POR ESTACIÓN

La Tabla 6-4 resume los parámetros calculados de concentraciones promedio anuales de NO₂ para el año 2020, porcentaje de datos válidos, concentraciones máximas y excedencias a la norma horaria, y la Figura 6-19 muestra las concentraciones anuales de NO₂ para las estaciones con datos representativos. Se evidencia que los promedios anuales más altos se registraron en la zona suroccidental, en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, con 46.8 y 33.9 µg/m³ respectivamente, mientras que las concentraciones más bajas se registraron en Guaymaral y Suba, con 19.7 y 22.0 µg/m³.

Durante el año 2020 no se registraron excedencias a la norma horaria (200 µg/m³). Los analizadores de NO₂ de las estaciones Bolivia, Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín, San Cristóbal, Usaquén y Usme registraron menos del 75% de representatividad temporal debido a que se instalaron en el mes de octubre de 2020.

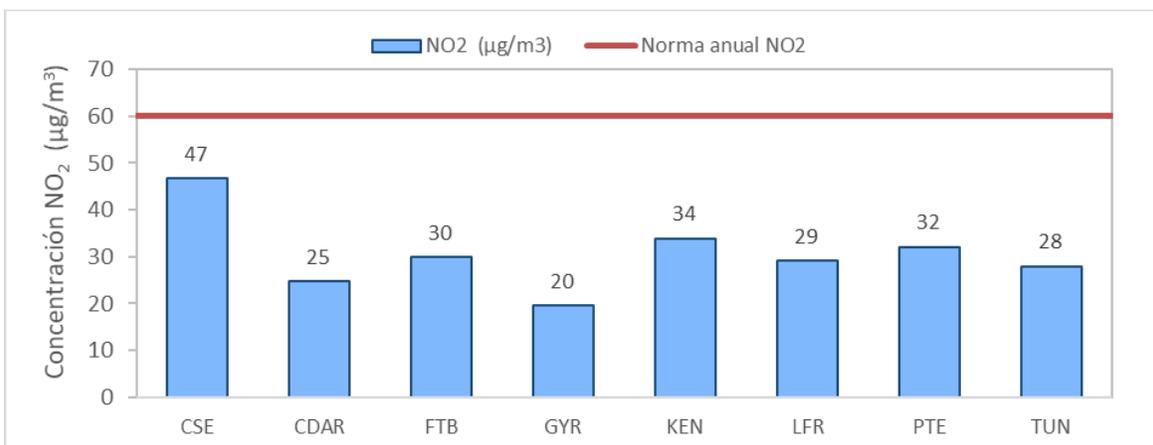


Figura 6-19 Concentraciones promedio anual de NO₂ – Año 2020

Tabla 6-4 Estadísticas de las concentraciones anuales de NO₂ – Año 2020

Estación	Prom. anual NO ₂ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced . 1h
Norma anual: 60 µg/m³ Norma horaria: 200 µg/m³				
BOL*	30.2	17%	85.7	0
BOS*	20.5	19%	87.3	0
CSE	46.8	82%	148.9	0
CDAR	24.7	95%	126.6	0
CBV*	29.3	21%	108.5	0
FTB	29.8	100%	120.9	0
GYR	19.7	92%	84.2	0
JAZ*	37.0	25%	139.9	0

Estación	Prom. anual NO ₂ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced . 1h
Norma anual: 60 µg/m³ Norma horaria: 200 µg/m³				
KEN	33.9	99%	121.1	0
LFR	29.2	97%	130.9	0
PTE	32.1	95%	177.7	0
SCR*	28.8	21%	147.2	0
SUB*	22.0	19%	74.5	0
TUN	27.9	88%	168.1	0
USQ*	25.1	22%	87.1	0
USM*	32.3	25%	126.9	0

* Las concentraciones estimadas en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

6.4.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO₂ POR ESTACIÓN

La Figura 6-20 muestra las concentraciones mensuales de NO₂ en el año 2020 para cada estación de monitoreo. Se evidencia que las concentraciones se incrementaron gradualmente en los primeros meses del año, alcanzando los niveles más altos en el mes de marzo. Luego los valores descendieron hasta el mes de junio, sin embargo, en estaciones como Carvajal-Sevillana y Fontibón se observó un aumento gradual de las concentraciones desde el mes de mayo. En el segundo semestre hubo una tendencia al incremento de las concentraciones, registrando los niveles más altos del año en el último trimestre. Esto se debe posiblemente a la reactivación de las fuentes móviles desde la mitad del año, principalmente para el transporte de bienes de primera necesidad y parte del transporte público. En el último trimestre del año la actividad de las fuentes de emisión fue mayor por la reactivación de actividades y eventos de fin de año, por lo cual se pudo incrementar el aporte a las emisiones de dióxido de nitrógeno.

El comportamiento del NO₂ de una semana promedio en el año 2020 se representa en la Figura 6-21. Las concentraciones al inicio de la semana son bajas, y se incrementan hacia el martes y miércoles, disminuyen gradualmente hasta el viernes y se incrementan ligeramente el sábado, con lo cual se reducen nuevamente el domingo. En relación con el comportamiento horario en un día promedio del 2020 (Figura 6-22), se evidencian dos picos marcados de concentración, a las 7 a.m. y a las 8 p.m. Las concentraciones más bajas se registran en la madrugada, y a partir de las 6 a.m. se incrementan las concentraciones, y se reducen nuevamente hasta las 10 a.m. Luego descienden los niveles a los valores más bajos del día, y se incrementan nuevamente hacia las 6 p.m.; este segundo pico perdura hasta las 10 p.m., y finalmente vuelven a descender. Estas variaciones están notablemente influenciadas por el comportamiento de las fuentes móviles en la ciudad, ya que en horas de la mañana y al final de la tarde se aumenta el tráfico vehicular por el tránsito de personas hacia y desde sus lugares de trabajo.

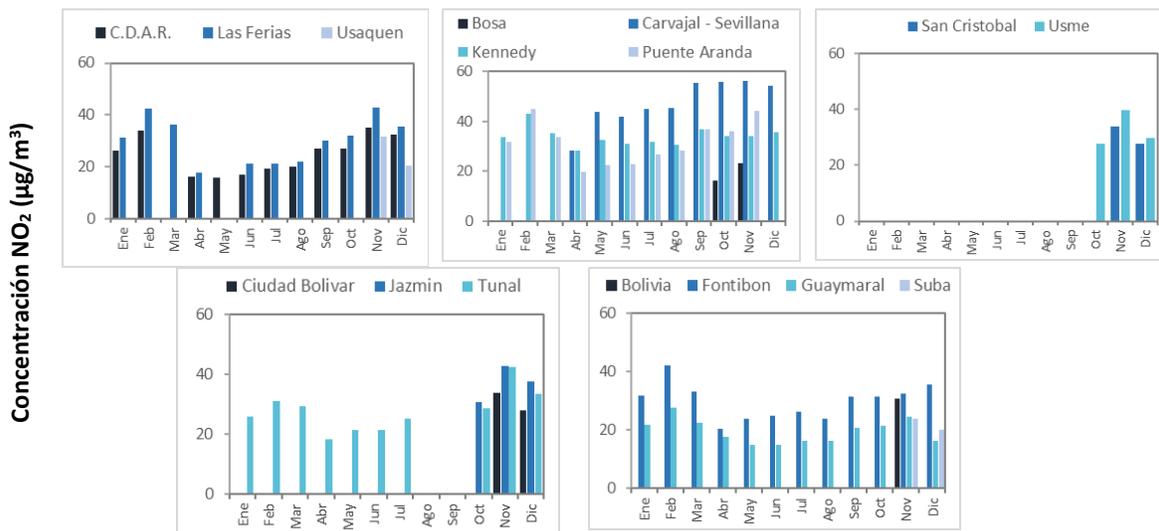


Figura 6-20 Concentraciones mensuales de NO₂ por estación – Año 2020

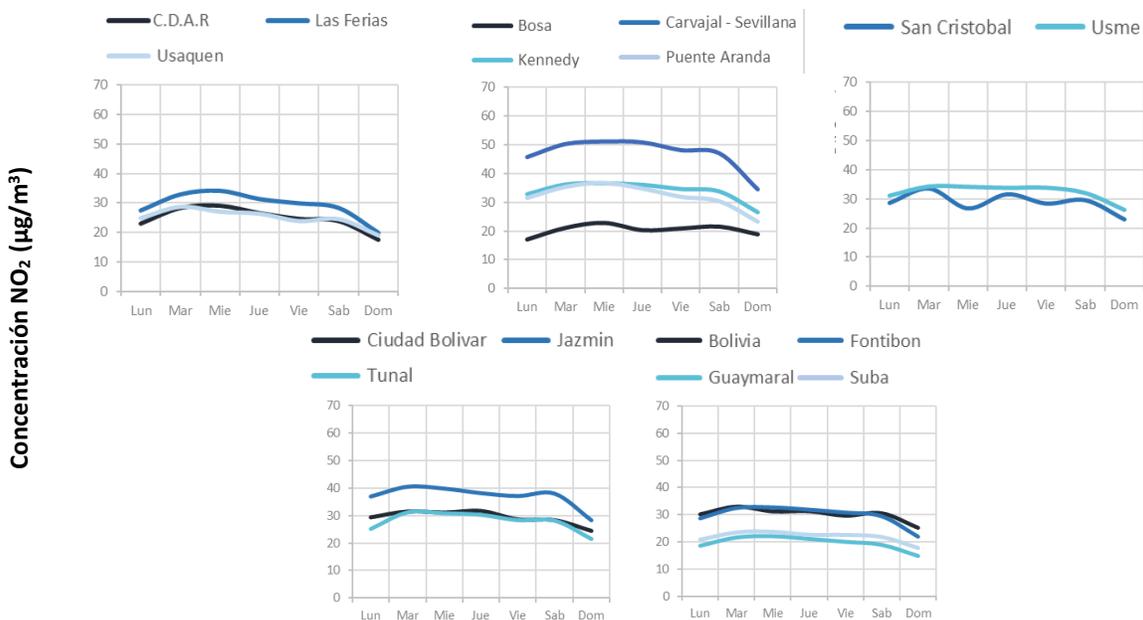
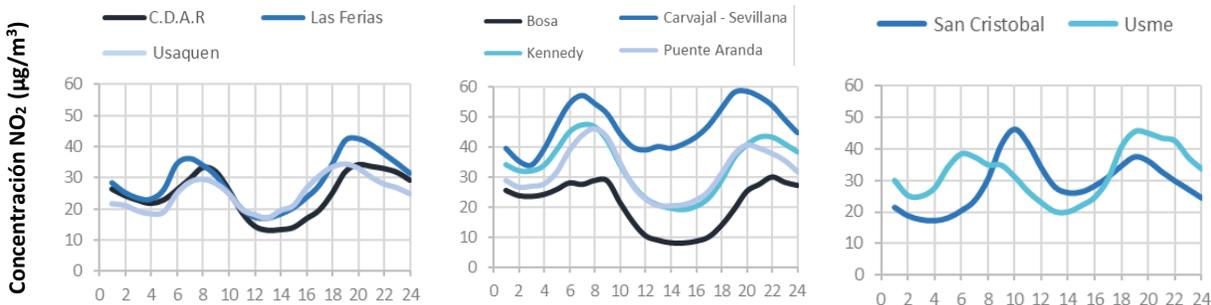


Figura 6-21 Comportamiento horario de las concentraciones de NO₂ – Año 2020



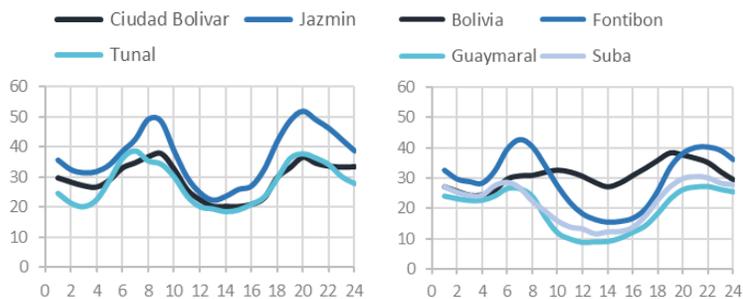


Figura 6-22 Comportamiento horario de las concentraciones de NO₂ – Año 2020

6.4.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL NO₂ POR ESTACIÓN

En la Figura 6-23 se representan las concentraciones promedio anual de NO₂ de los años 2016 a 2020 y la comparación con los límites máximos permisibles hasta 2017 (100 µg/m³) y desde 2018 (60 µg/m³). Se observa que las concentraciones promedio anual en este periodo han permanecido por debajo de los niveles máximos permitidos, y la estación Carvajal-Sevillana ha registrado las concentraciones más altas de la ciudad, siendo el valor del año 2018 el más alto del periodo con 50 µg/m³. Por otro lado, la estación Guaymaral ha registrado las concentraciones más bajas en los últimos tres años, aunque el promedio anual más bajo se observó en Kennedy en el año 2017, con 11 µg/m³.

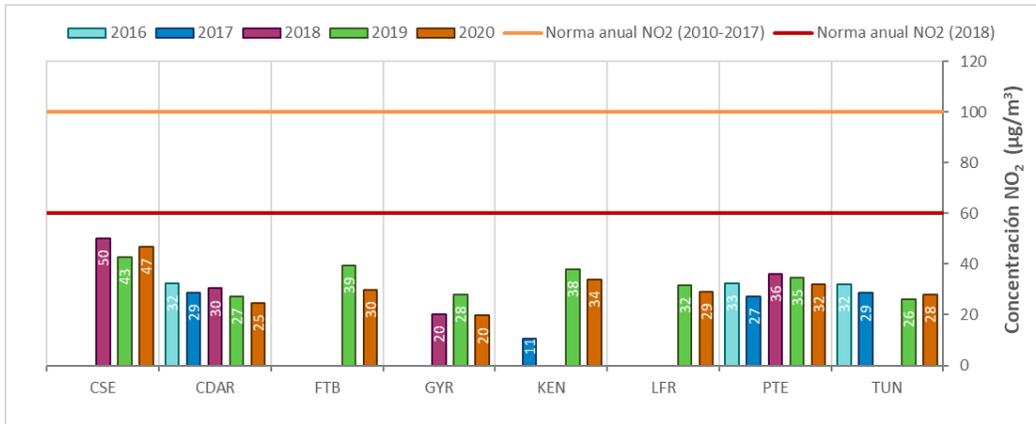


Figura 6-23 Concentraciones promedio anual de NO₂ - años 2016 a 2020

6.5. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

El SO₂ es un contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a 3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. La exposición permanente a este contaminante puede producir problemas respiratorios.

6.5.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL SO₂ POR ESTACIÓN

La Tabla 6-5 muestra las concentraciones promedio anual de SO₂ en el año 2020, concentraciones máximas, datos válidos y excedencias, y la Figura 6-24 representa las concentraciones promedio anual de SO₂ para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. La estación Carvajal-Sevillana registró el promedio más alto de la ciudad, con 10.6 µg/m³, duplicando el valor observado en Kennedy y Tunal. Por otro lado, la estación Usaquén registró el promedio más bajo, con 1.7 µg/m³, seguida de Centro de Alto Rendimiento con 2.5 µg/m³.

Durante el año de 2020 se registraron 19 excedencias a la norma horaria (100 µg/m³), 12 en la estación Fontibón y 9 en Carvajal-Sevillana. Con relación a la norma diaria (50 µg/m³), no se registraron excedencias. Solamente los analizadores de SO₂ en las estaciones nuevas registraron menos del 75% de representatividad temporal, debido a que reportan datos desde octubre de 2020.

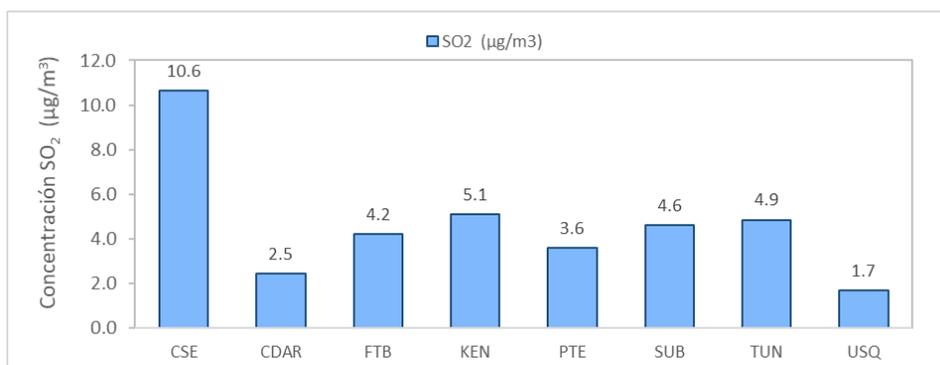


Figura 6-24 Concentraciones promedio anual de SO₂ – Año 2020

Tabla 6-5 Estadísticas de las concentraciones anuales de SO₂ – Año 2020

Estación	Prom. anual SO ₂ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced. 24h	No. Exced. 1h
Norma diaria: 50 µg/m³ Norma horaria: 100 µg/m³					
BOL*	2.4	19%	6.7	0	0
BOS*	5.4	18%	11.3	0	0
CSE	10.6	100%	42.1	0	7
CDAR	2.5	93%	8.8	0	0
CBV*	7.6	9%	13.4	0	0
FTB	4.2	98%	37.9	0	12
JAZ*	4.1	24%	8.7	0	0

Estación	Prom. anual SO ₂ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced. 24h	No. Exced. 1h
Norma diaria: 50 µg/m³ Norma horaria: 100 µg/m³					
KEN	5.1	99%	17.4	0	0
PTE	3.6	100%	12.9	0	0
SUB	4.6	97%	18.1	0	0
TUN	4.9	98%	14.0	0	0
USQ	1.7	86%	5.4	0	0
USM*	8.7	25%	15.4	0	0

6.5.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO₂ POR ESTACIÓN

En la Figura 6-25 se encuentran representados los promedios mensuales de concentración de SO₂ por estación. Se observó un comportamiento variable del contaminante de acuerdo con la zona de la ciudad. Hacia el norte y centro de la ciudad, las concentraciones permanecieron bajas a lo largo del año, evidenciando las concentraciones más bajas de la ciudad en Usaquén; al noroccidente y occidente de la ciudad las concentraciones fueron altas en el primer trimestre del año, y disminuyeron notablemente desde abril de 2020; en el sur y suroccidente se observaron incrementos de concentraciones en el primero y cuarto trimestre del año, siendo este último en el que observaron las concentraciones más altas. La estación Carvajal-Sevillana se destaca por registrar las mayores concentraciones de la ciudad en todos los meses del año, siendo el mes de octubre en el que se evidenció el promedio mensual más alto, con 18.0 µg/m³.

En la Figura 6-26 se observa el comportamiento del SO₂ en una semana del 2020. En las estaciones que registraron bajas concentraciones no se observan grandes variaciones del comportamiento a lo largo de la semana. En las estaciones Carvajal-Sevillana y Ciudad Bolívar se observó un incremento gradual del lunes al jueves, y luego un descenso en los días de fin de semana. En las demás estaciones del sur y suroccidente las concentraciones más altas se evidenciaron los martes, y un descenso gradual en los siguientes días.

El comportamiento del SO₂ en un día promedio se representa en la Figura 6-27, con un patrón similar para las estaciones que reportaron datos de SO₂. Se registraron bajas concentraciones entre la media noche y las 6 a.m., luego se observó un incremento notable hasta las 8 a.m., hora de mayores concentraciones en el día, y luego descienden hasta el mediodía. En la mayoría de las estaciones las concentraciones se mantienen bajas durante el resto de la tarde y la noche, a excepción de Carvajal-Sevillana, Bosa, Ciudad Bolívar y Usme, que registraron un incremento gradual hasta finalizar el día.

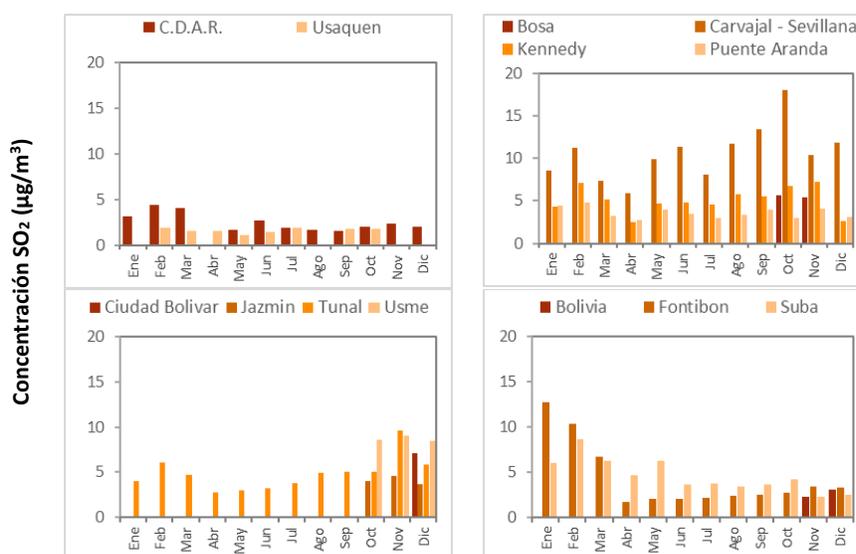


Figura 6-25 Concentraciones mensuales de SO₂ por estación – Año 2020

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB
INFORME ANUAL

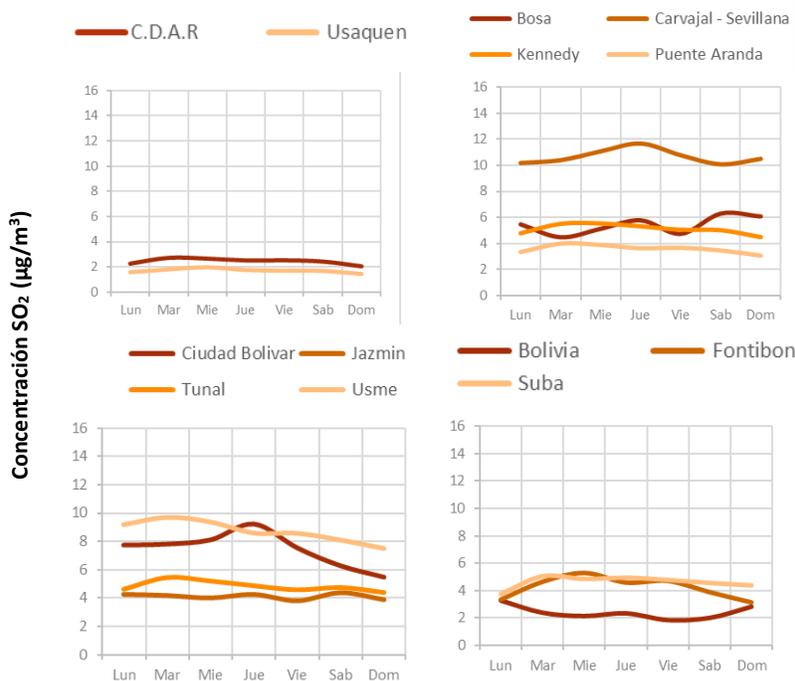


Figura 6-26 Comportamiento diario de las concentraciones de SO₂ – Año 2020

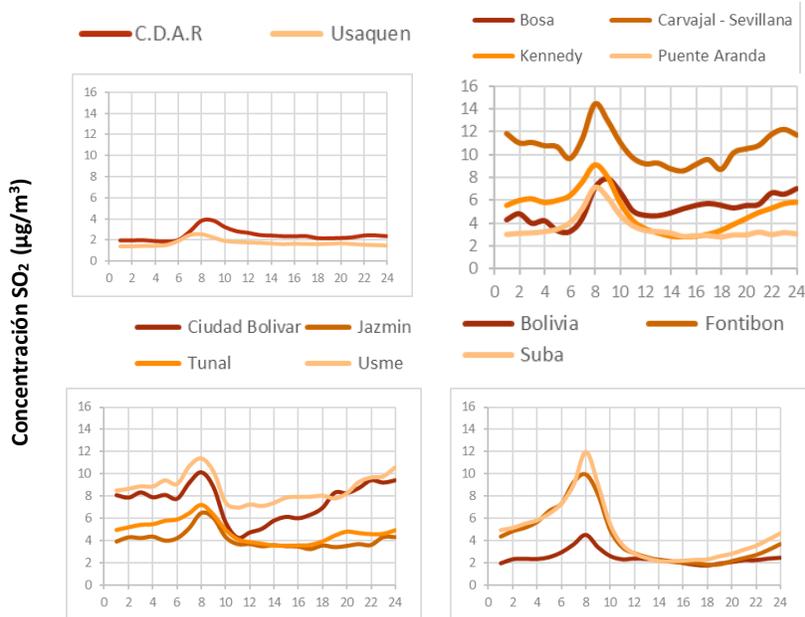


Figura 6-27 Comportamiento horario de las concentraciones de SO₂ – Año 2020

6.5.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL SO₂ POR ESTACIÓN

La Figura 6-28 representa las concentraciones promedio anual de SO₂ para los años 2016 a 2020, y la comparación con la norma anual establecida por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT, vigente 2017. Se observa que las concentraciones han permanecido por debajo del nivel máximo establecido en la norma, y las concentraciones registradas en Carvajal-Sevillana han sido las más altas de la ciudad. El promedio anual más alto en este periodo se registró en el año 2019 con 15.6 µg/m³, y el menor promedio se observó en Usaquén, con 1.7 µg/m³ en 2020. En general se observó una reducción de las concentraciones de SO₂ en el año 2020 respecto a años anteriores, a excepción de la estación Tunal, en la que se registró un aumento de 1.0 µg/m³ en relación con el promedio registrado en 2019.

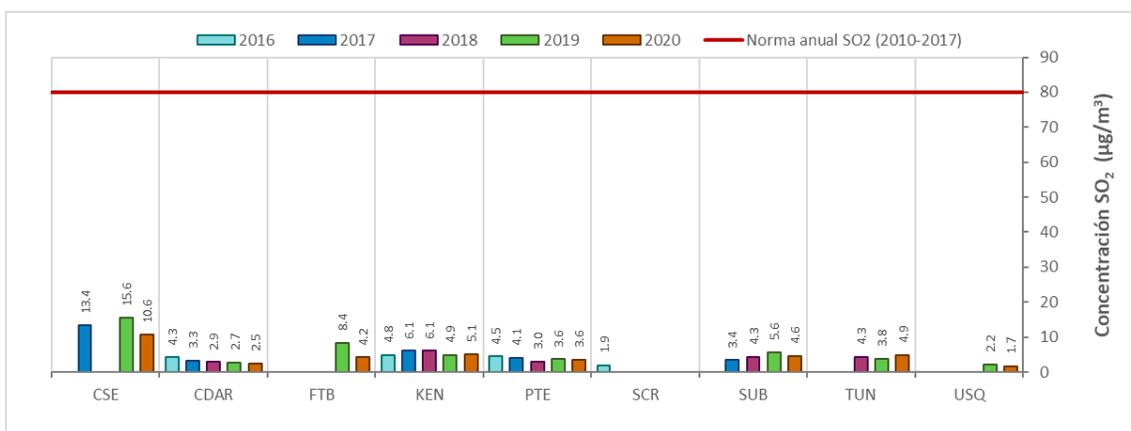


Figura 6-28 Concentraciones anuales de SO₂ años 2016 a 2020

6.6. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El CO es un gas inflamable, inodoro, incoloro e insípido. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre. Una proporción del CO es emitida directamente por la naturaleza, y otra parte proviene de emisiones antropogénicas, por parte de procesos de combustión incompleta de combustibles fósiles (petróleo, carbón, entre otros).

6.6.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL CO POR ESTACIÓN

La Tabla 6-6 muestra las estadísticas de las concentraciones promedio anual calculadas con base en los datos media móvil 8 horas registrados durante el año 2020, incluyendo los porcentajes de datos válidos, concentraciones máximas y excedencias respecto a la norma 8 horas. Adicionalmente en la Figura 6-29 se representan los promedios anuales de concentración de CO por estación que registraron más del 75% de datos válidos en el año 2020.

La estación Carvajal-Sevillana, localizada en la zona suroccidente, registró el promedio más alto de CO para el 2020, con 1187.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ seguida de 1180,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Móvil 7ma, al centro oriente de la ciudad, mientras que el valor más bajo se observó en la estación Usaquén, con 556.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los analizadores de CO de las estaciones que registraron menos del 75% de representatividad temporal se debe a que fueron instalados en octubre de 2020 en el caso de las estaciones nuevas y de Suba, mientras que en la estación Fontibón se registraron datos solamente en algunos intervalos del año, debido a que el equipo presentó fallas en varios meses del año. Con relación a las excedencias a la norma, solo se registraron dos datos octohorarios mayores a 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Puente Aranda.

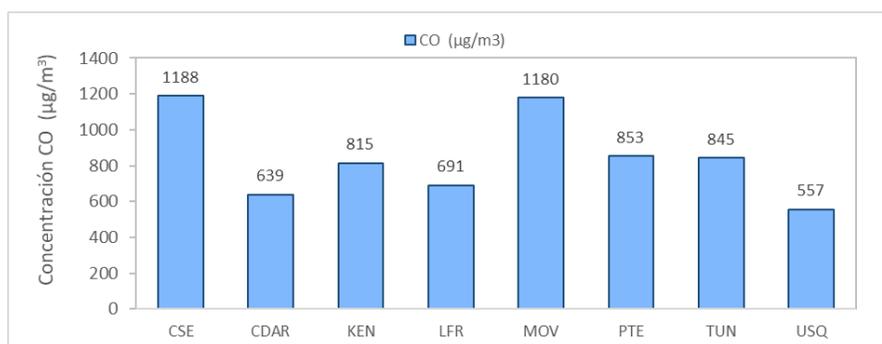


Figura 6-29 Concentraciones promedio anual de CO – Año 2020

Tabla 6-6 Estadísticas de las concentraciones anuales de CO – Año 2020

Estación	Prom. anual CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% datos válidos	Conc. Máx. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	No. Exced. .8h	No. Exced. .1h
Norma media móvil 8 horas: 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Norma horaria: 35000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
BOL*	542.5	19%	1788.9	0	0
BOS*	421.0	20%	1359.6	0	0
CSE	1187.9	93%	3277.3	0	0
CDAR	639.3	96%	2962.4	0	0
CBV*	750.6	20%	2900.4	0	0
FTB*	481.0	45%	1917.7	0	0
JAZ*	694.8	25%	2275.5	0	0
KEN	814.9	95%	2776.4	0	0

Estación	Prom. anual CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% datos válidos	Conc. Máx. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	No. Exced. .8h	No. Exced. .1h
Norma media móvil 8 horas: 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Norma horaria: 35000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
LFR	691.3	99%	2261.2	0	0
MAM*	932.4	24%	2232.6	0	0
MOV	1180.3	76%	4293.4	0	0
PTE	853.4	77%	5366.7	2	0
SUB*	533.6	20%	1488.4	0	0
TUN	844.9	91%	3034.0	0	0
USQ	556.8	97%	2161.0	0	0
USM*	539.6	24%	1889.1	0	0

* Las concentraciones estimadas en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

6.6.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CO POR ESTACIÓN

La Figura 6-30 muestra la representación de los promedios mensuales por estación de concentración de CO en el año 2020. Se evidencia que el comportamiento del contaminante fue diferente en cada zona de la ciudad. Hacia el norte y centro las concentraciones más altas se registraron en el primer trimestre del año, descendieron en el segundo y tercer trimestre, y se incrementaron nuevamente en el mes de noviembre, aunque en la estación Móvil 7ma se registró la concentración mensual más alta del año en este mes. En la estación Tunal se observó un comportamiento similar, en donde las concentraciones más altas se registraron en noviembre y en febrero. Por otro lado, en la zona suroccidente, se observó una tendencia a la reducción de las concentraciones entre enero y abril, y desde el mes de mayo una tendencia creciente de las concentraciones, registrando los valores más altos entre noviembre y diciembre.

Este comportamiento pudo estar asociado al funcionamiento de las fuentes de emisión durante el año, después de la flexibilización de las restricciones a las actividades industriales, comerciales y al tránsito de vehículos en el mes de junio tras dos meses de cuarentena estricta, con el tiempo las fuentes de emisión retomaron su actividad normal, lo cual fue más evidente hacia la zona suroccidental de la ciudad.

El comportamiento de las concentraciones de CO para una semana promedio se encuentra representado en la Figura 6-31. Se observa un comportamiento similar en la mayoría de las estaciones, las concentraciones de CO aumentan gradualmente entre el lunes y el miércoles, descienden gradualmente hasta el sábado, y se reducen en mayor proporción el domingo. En cuanto al comportamiento del CO en un día promedio del 2020 (Figura 6-32), en la mayoría de las estaciones se observan dos picos de concentración, a las 8 a.m. y a las 8 p.m., y los registros más bajos se observan a las 2 p.m. En la zona suroccidente el pico de concentración de la mañana es el más elevado en relación con las demás estaciones, mientras que los valores más bajos del día se observaron en la zona noroccidental.

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAV
INFORME ANUAL

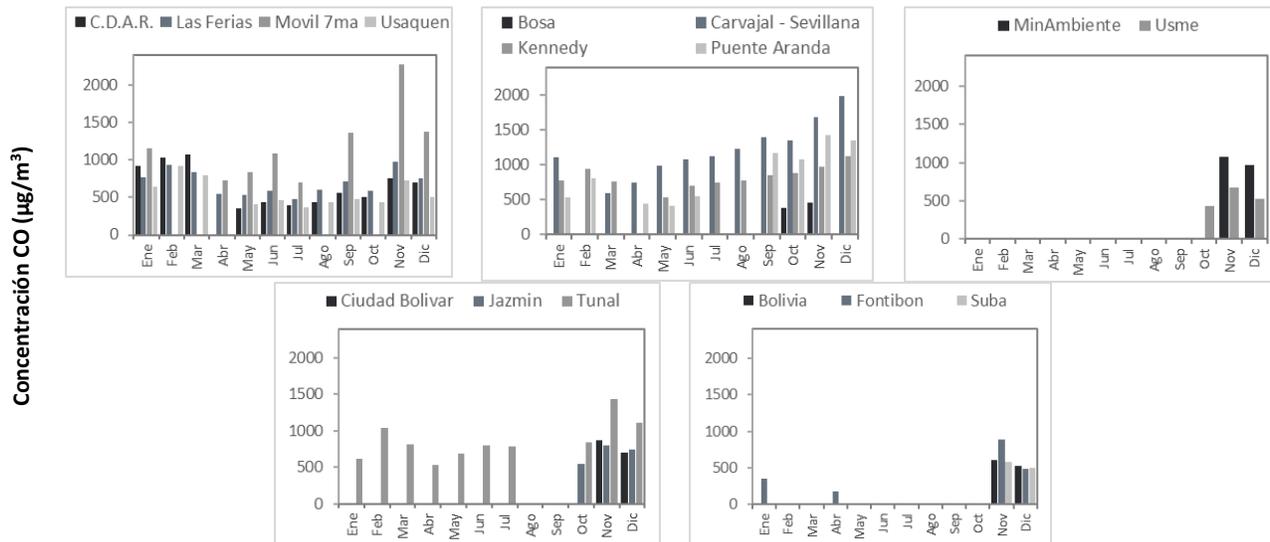


Figura 6-30 Concentraciones mensuales de CO por estación – Año 2020

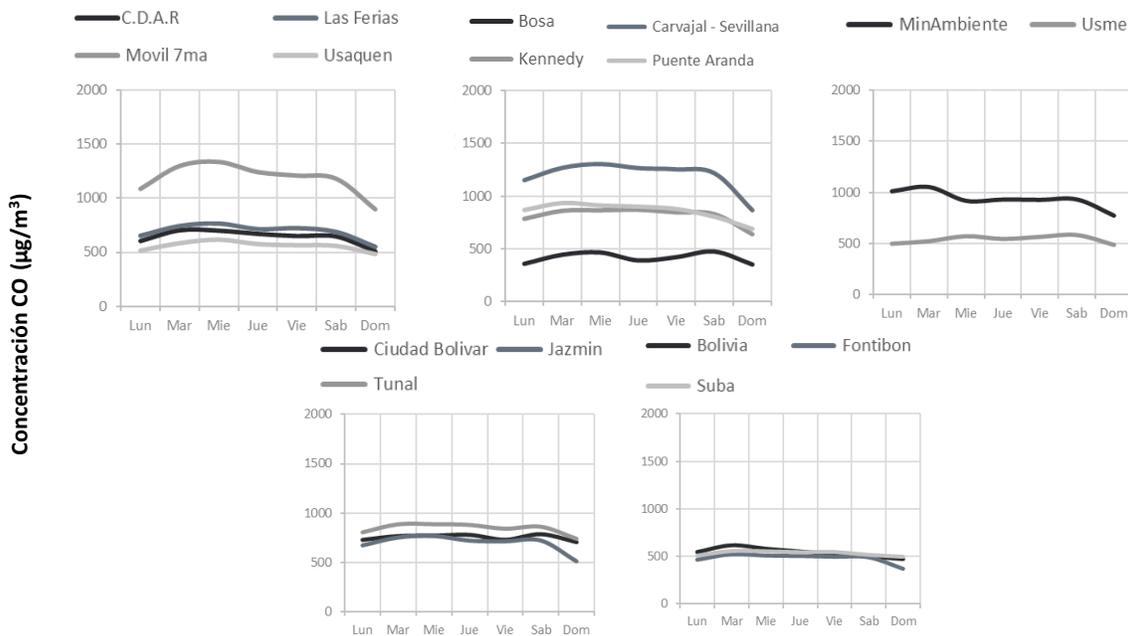


Figura 6-31 Comportamiento diario de las concentraciones de CO – Año 2020

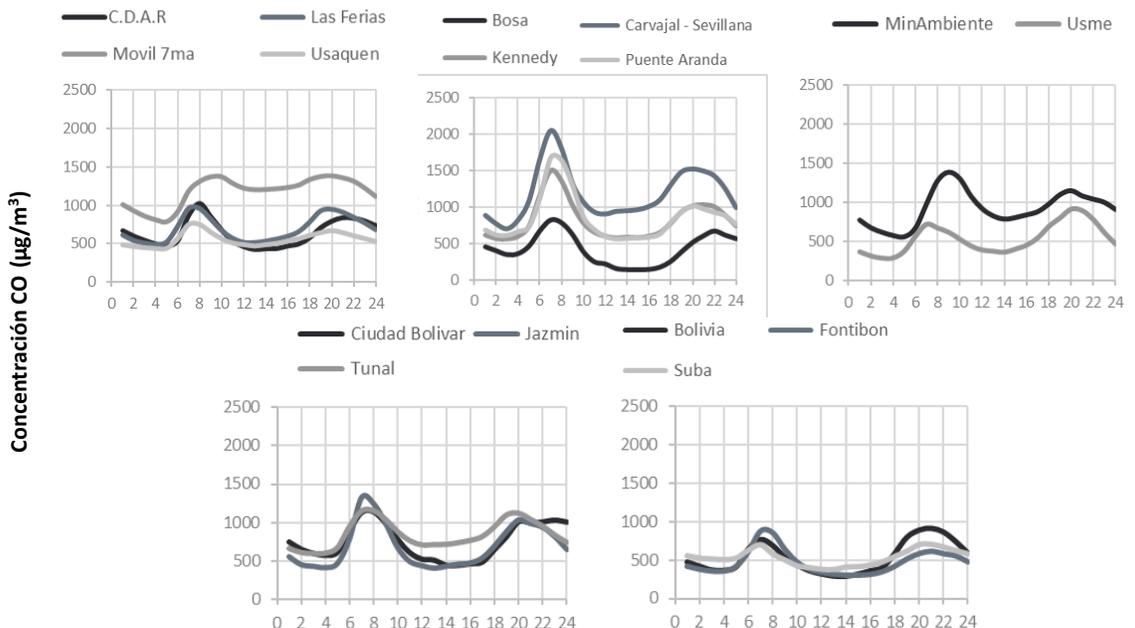


Figura 6-32 Comportamiento horario de las concentraciones de CO – Año 2020

6.6.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL CO POR ESTACIÓN

La Figura 6-33 representa las concentraciones promedio anual de CO para los años 2016 a 2020. Se observa que en la mayoría de las estaciones hay una tendencia a la reducción de las concentraciones con el paso de los años, y los valores registrados en el 2020 fueron menores a los registrados en el año inmediatamente anterior. El promedio anual de concentración de CO más alto en este periodo se registró en la estación Móvil 7ma, con 1866.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2019, mientras que el promedio anual más bajo se observó en la estación Usaquén con 537.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2018.

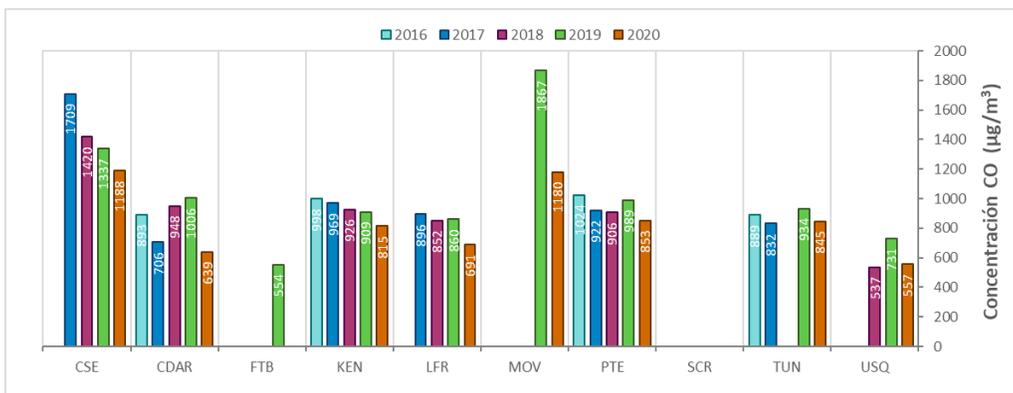


Figura 6-33 Concentraciones anuales de CO años 2016 a 2020

7. COMPORTAMIENTO DEL BLACK CARBON

El Black Carbon (BC) es un componente de partículas finas, el cual está formado por la combustión incompleta de combustibles fósiles, especialmente diésel, así como de emisiones industriales, domésticas y por quema de biomasa. El reporte de estos datos se realiza en dos longitudes de onda; la primera proporciona una medida del “componente UV”, es decir, para medir concentraciones de Brown Carbon (UV-BC) del aerosol proveniente de la quema directa de biomasa, ya sea por la ocurrencia de incendios forestales, así como de la combustión de madera y carbón para la calefacción doméstica y la liberación biogénica de materia húmica, restos vegetales y de hongos. La segunda proporciona la concentración de Black Carbon (BC) total, es decir, el producto de diversas fuentes como bioaerosoles y quema incompleta de combustibles fósiles.

La metodología que se aplica a los datos recolectados por los equipos es la seleccionada por el fabricante y desarrollada por Sandradewi (2008). Esta metodología permite realizar una atribución de fuentes del material carbonáceo con base en la absorción del material en dos longitudes de onda, partiendo de la característica que el material carbonáceo con contenido de compuestos orgánicos, usualmente generados en la combustión de Biomasa, absorben en mayor medida en longitudes de onda corta o UV. Esta característica del BC se aprovecha para realizar una medida indirecta de las concentraciones que se encuentran en el ambiente, de esta manera el cálculo se enfoca en determinar qué porcentaje de BC es proveniente de la quema de biomasa, como se mencionó anteriormente este contaminante puede venir de incendios forestales, quema de cultivos, y quema de madera o carbón para uso doméstico.

7.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE BLACK CARBON (BC) POR ESTACIÓN

En la Tabla 7-1 se presenta el resumen estadístico de las concentraciones de BC medidas en las longitudes de 880 nm para todas las estaciones en las cuales se registraron datos durante el año 2020. Las estaciones CDAR, Fontibón, Kennedy, Las Ferias, Min Ambiente y Tunal registraron más de 75% de las concentraciones horarias durante este periodo de tiempo, mientras que las estaciones Carvajal – Sevillana, San Cristóbal y Usaquén reportaron el 67%, 46% y 43% respectivamente, por lo tanto, los datos reportados para estas estaciones son de carácter indicativo. Adicionalmente en la Tabla 7-1 se presenta el promedio anual, máximo y mínimo de las concentraciones diarias (24h) de BC para todas las estaciones. Las estaciones Carvajal-Sevillana, Fontibón, Kennedy y Tunal reportan las mayores concentraciones de BC en toda la ciudad, con valores de 7 y 6 mg/m³, mientras que en las estaciones Usaquén, San Cristóbal y Las Ferias se reportan las concentraciones más bajas, con valores de 1, 2 y 3 mg/m³, respectivamente. Las concentraciones máximas más altas registradas de BC se presentaron en la estación Centro de Alto Rendimiento, con un valor de 32 µg/m³.

En la estación Carvajal-Sevillana se presentaron inconvenientes para realizar el cambio de la cinta de recolección de la muestra en el aetalómetro, causando la pérdida de datos durante el 2020. En la estación de San Cristóbal hurtaron el cabezal de muestreo del instrumento, el cual fue instalado nuevamente en Julio de 2020, fecha a partir de la cual se registraron datos de forma continua. Y debido a los bajos valores hallados en la estación de Usaquén

en 2019 usando un aetalómetro AE42 (descontinuado por la marca), se trasladó este instrumento a la estación Las Ferias, con el fin de realizar una validación con el aetalómetro AE 33 previamente instalado en la estación Las Ferias. Así, a partir de Julio de 2020 no se continuo la medición de BC en Usaquén, por daños instrumentales que se presentaron durante el periodo de validación.

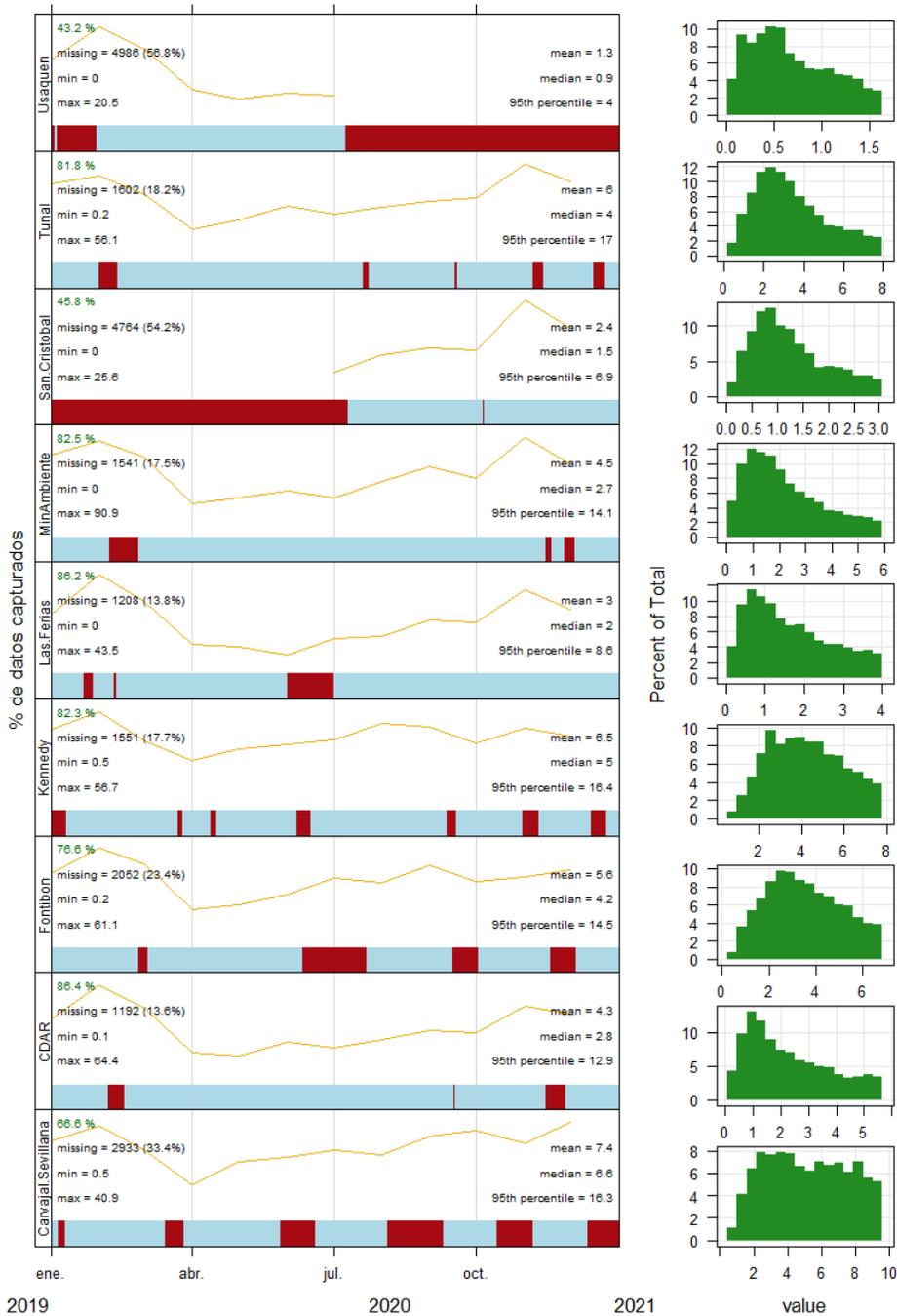
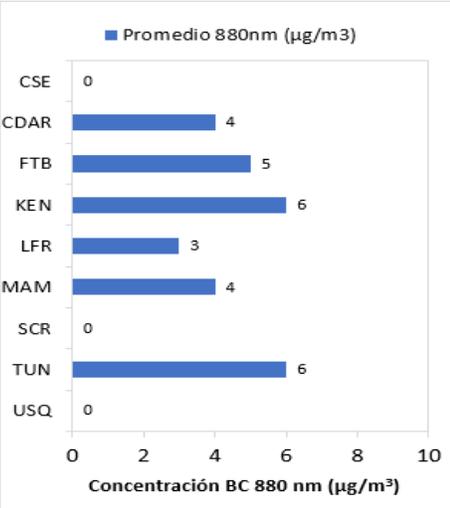


Figura 7-1 Gráfico de representatividad temporal de las mediciones de concentraciones de BC – Año 2020

Tabla 7-1 Resumen estadístico de las concentraciones de diarias de BC tomadas a la $\lambda = 880 \text{ nm}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Año 2020

Estación	Promedio \pm sd	Mínimo	Máximo	Datos capturados (%)
Carvajal – Sevillana*	7 \pm 3	1	14	67%
CDAR	4 \pm 3	1	16	86%
Fontibón	6 \pm 3	1	14	77%
Kennedy	6 \pm 2	2	15	82%
Las Ferias	3 \pm 2	1	10	86%
Min Ambiente	5 \pm 3	1	32	83%
San Cristóbal*	2 \pm 1	1	7	46%
Tunal	6 \pm 3	1	17	82%
Usaquén*	1 \pm 1	1	6	43%



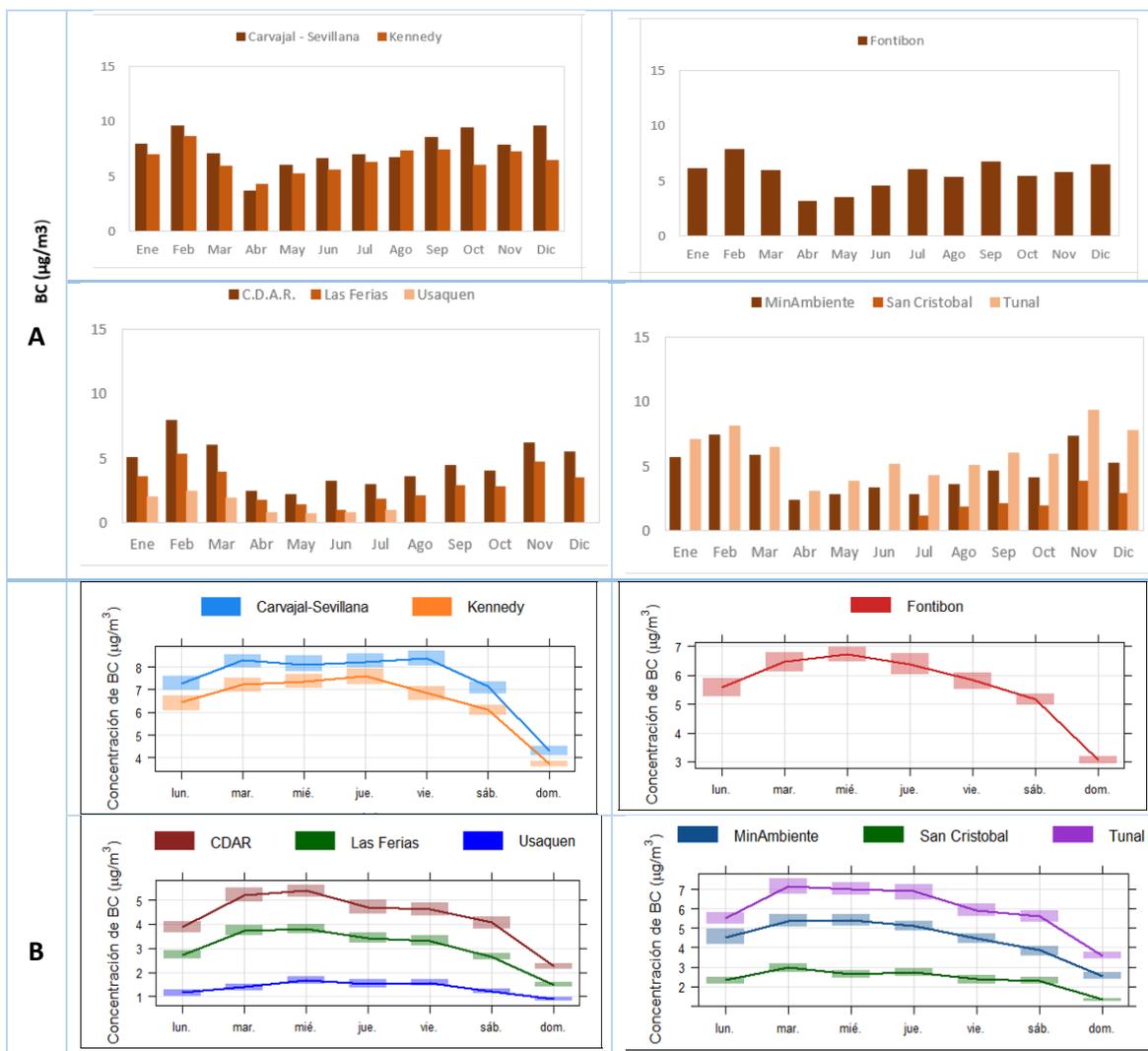
*Las concentraciones en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

En la figura 7-2 se presenta la variabilidad temporal de las concentraciones de BC reportadas en 2020 con una resolución mensual, diaria y horaria. Las concentraciones de BC mostraron cambios importantes mes a mes durante 2020. Todas las estaciones coinciden con presentar la máxima concentración en febrero, seguido por los meses de noviembre y diciembre. En el mes de abril se presentó una caída significativa de las concentraciones de BC en toda la ciudad, porque a partir de mediados de marzo se declaró el Aislamiento Preventivo Obligatorio debido a la pandemia mundial por COVID-19. Este evento llevó a que las actividades económicas en la ciudad se suspendieran, es decir, que las actividades industriales y el tráfico vehicular se redujeron de manera considerable durante los meses de abril y mayo, por ser los que tuvieron las restricciones más estrictas.

A partir de junio se permitió el retorno de algunas actividades, aunque se mantuvieron las bajas concentraciones la mayoría del mes. Las estaciones ubicadas al sur occidente de la ciudad mostraron una tasa de incremento de concentración de BC entre abril y septiembre superior a la que se evidenció en la zona centro. Los registros mensuales más altos se presentaron en la estación Carvajal-Sevillana en el mes de febrero con un promedio de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en marzo, agosto y septiembre de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor similar en la estación Tunal en el mes de noviembre. La concentración promedio mensual más baja se observó en San Cristóbal en el mes de julio y en Usaquén en los meses de mayo a junio, con valores de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Con respecto a la dinámica de las concentraciones de BC durante la semana, se observa que los martes, miércoles e incluso en algunas estaciones los jueves, se presentan las mayores concentraciones. Tomando como referencia las concentraciones de BC del domingo, la concentración promedio de los días laborales (martes a viernes) incrementan en promedio de 90 a 130%, siendo las estaciones CDAR y Las Ferias, en las que se observa el mayor porcentaje y en las estaciones de Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal donde el incremento es del orden del 90%.

En relación con el comportamiento horario, las máximas concentraciones de BC se presentan entre las 4:00 y 8:00 a.m., posteriormente se presenta un descenso en las concentraciones hasta el mediodía y nuevamente se observa un incremento en las horas de la tarde, que corresponde con las horas de mayor tráfico vehicular de la ciudad. La estación de Carvajal-Sevillana muestra que durante todo el día hay fuentes de combustión, que derivan en la emisión de BC, mientras que las estaciones de Kennedy y Fontibón al parecer están influenciadas por emisiones de tráfico vehicular porque después del medio día se reportan concentraciones de BC inferiores a las observadas en la madrugada (antes de 4:00 a.m.).



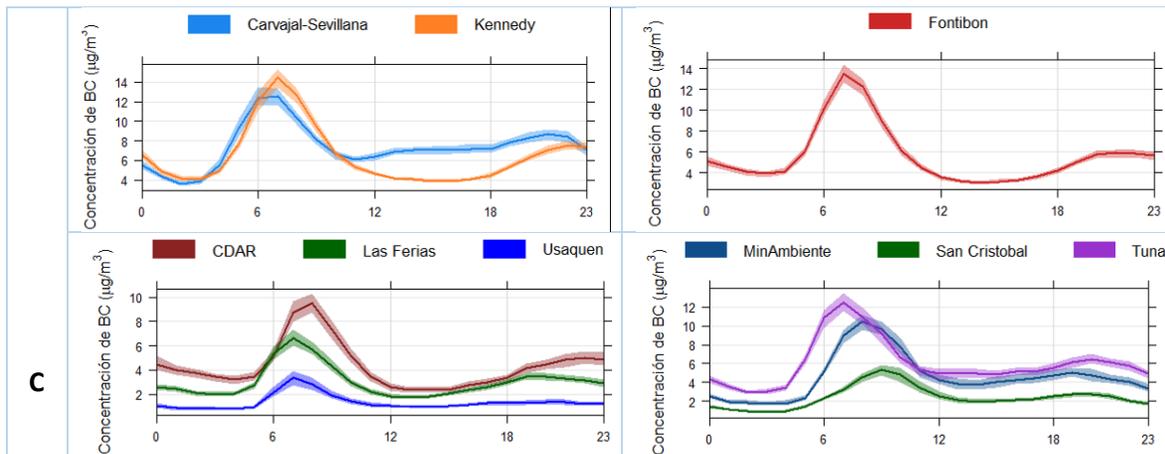


Figura 7-2 Variabilidad temporal de la concentración de BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). a) Resolución temporal mensual. B) resolución semanal y c) resolución horaria – Año 2020

De acuerdo con la figura 7-3 las mayores concentraciones de Brown Carbon (UV-BC) y Black Carbon (BC) se presentan en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy. De igual forma, se evidencia que todas las estaciones redujeron sus concentraciones considerablemente con respecto al año anterior, debido a la declaratoria de Aislamiento Preventivo Obligatorio debido a la pandemia mundial por COVID-19 desde principios de año. Cabe resaltar que los datos de 2018 son indicativos debido a que la medición de los primeros equipos de Black Carbon inicio a finales del año 2018 y en el año 2019 las estaciones de Centro de Alto Rendimiento (CDAR), Fontibón y MinAmbiente presentan datos indicativos debido a que la medición de estos equipos inicio en el segundo semestre del año, además que durante el 2020 se reactivó el funcionamiento del monitor de la estación de San Cristóbal y se retiró el equipo de monitoreo de la estación de Usaquén para pruebas de intercomparación.

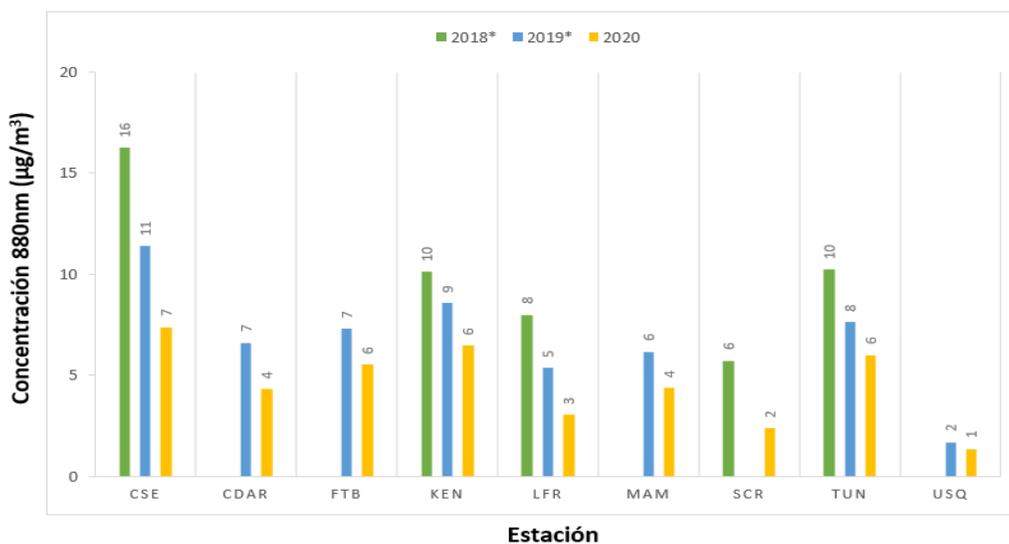


Figura 7-3 Concentraciones promedio anuales de Black Carbon años 2018 a 2020

7.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE BLACK CARBON PROVENIENTE DE LA QUEMA DE BIOMASA

Para el cálculo del BC biomasa se aplicó la metodología propuesta por Sandradewi (2008) el cual toma las mediciones de longitudes de onda para calcular un porcentaje de BC proveniente de la Biomasa. Como valor indicativo de la quema de biomasa se optó por tomar datos satelitales del sensor MODIS, el cual capta las áreas quemadas caracterizadas por depósitos de carbón y cenizas, remoción de vegetación y alteración de la estructura vegetal. Es por eso por lo que varios estudios han registrado el transporte de las plumas de quema de biomasa, que varían entre cientos y hasta miles de kilómetros, es por ello por lo que se seleccionó un dominio en el Norte de Suramérica (NSA) para el análisis de incendios activos.

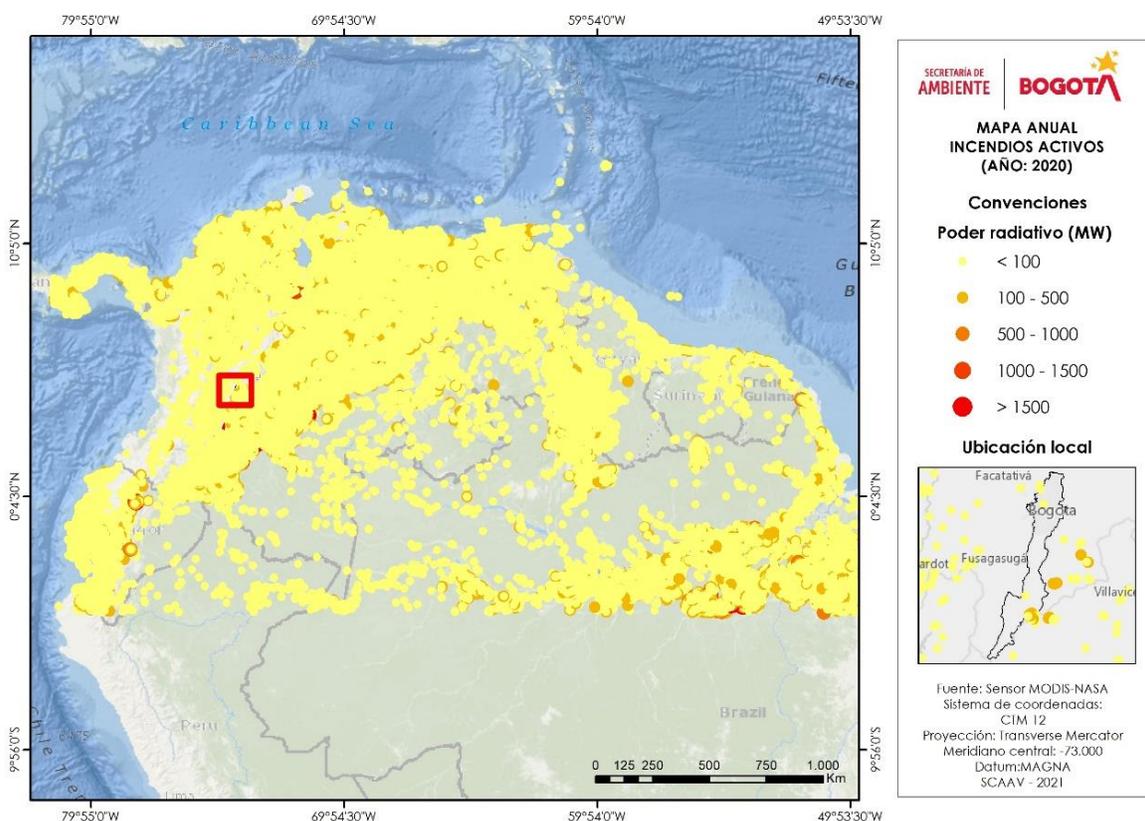


Figura 7-4 Distribución espacial de incendios activos identificados por el sensor MODIS – Año 2020

En la figura 7-5 podemos observar la distribución espacial de incendios que presentaron durante el año 2020, con una zona altamente activa en Colombia, los incendios se distribuyen a lo largo de la cuenca de la Orinoquia colombo venezolana, el oriente antioqueño y la costa atlántica, con una alta densidad de incendios activos. Según la clasificación de la potencia del incendio propuesta por Ichoku et al (2008), el 97% de los puntos calientes registrados por el sensor MODIS en la zona delimitada se clasifican en la categoría 1, es decir, anomalías térmicas con un poder radiativo (FRP) menor a 100MW, el 6% se clasifica en una categoría 2, es decir, incendios con FRP entre 100MW y 500MW, el 0.187% en la categoría 3 correspondiente a los incendios con FRP entre 500MW y 1000MW, el 0.027% en la categoría 4 correspondiente a los

incendios con FRP entre 1000MW y 1500MW y los restantes en una categoría 5 superiores a 1500MW.

Adicionalmente, en la figura 7-5 se muestra el número de eventos o puntos calientes ocurridos diariamente e identificados por el sensor MODIS mes a mes, donde se evidencia que durante el primer trimestre del año se vio un aumento en el número de eventos, especialmente durante el mes de marzo.

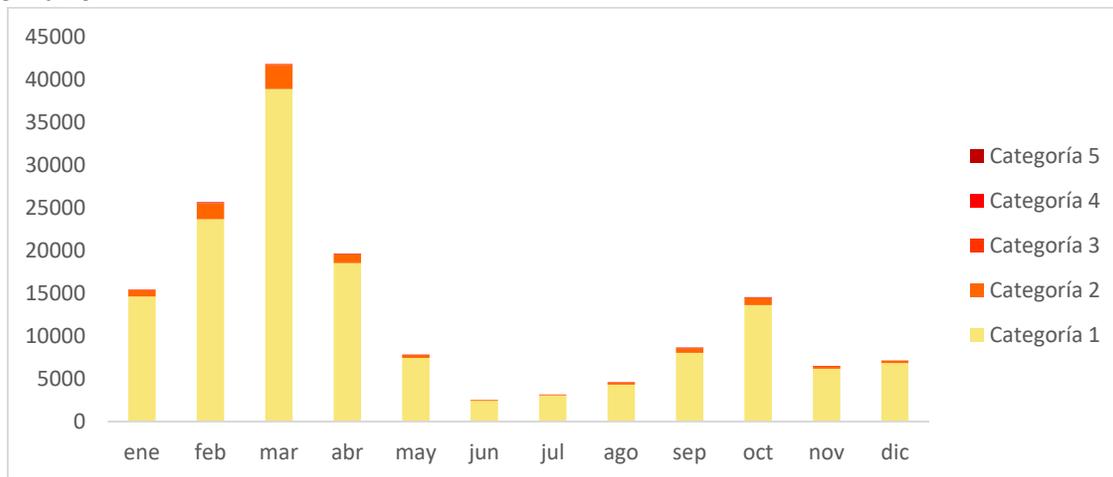


Figura 7-5 Número de eventos o puntos calientes identificados por el sensor MODIS - Año 2020

8. INDICES DE CALIDAD DEL AIRE

La RMCAB se encarga de realizar mediciones puntuales en resolución temporal horaria de las concentraciones de contaminantes criterio en cada estación de monitoreo, con el fin de evaluar la contaminación en un área determinada influenciada por las fuentes de emisión, las condiciones meteorológicas y la influencia de la contaminación de las regiones aledañas a la ciudad. A través de los índices de calidad del aire se puede conocer en términos generales el estado de la calidad del aire en términos cualitativos a través de un valor adimensional, para dar a conocer la condición de la calidad del aire a la ciudadanía de una manera más eficiente, y así poder establecer y ejecutar las acciones de acuerdo con las condiciones registradas a corto plazo.

8.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE - ICA

El ICA es un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 que representa el grado de contaminación del aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

Este índice permite ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse cuando los contaminantes alcanzan niveles no saludables, además de ofrecer un criterio para comparar la calidad entre diferentes ciudades y países.

La metodología de cálculo se basa en lo establecido en, en el Artículo 19 de la Resolución 2254 de 2017 del MADS, en el cual se definen los puntos de corte del ICA y la descripción de cada condición de calidad del aire. A su vez, dicha metodología está basada en los lineamientos dados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos U.S.-EPA, mediante el documento “Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)”, versión de septiembre de 2018, donde se describen las categorías del AQI, se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso).² En la Tabla 8-1 se observan los puntos de corte de cada contaminante, para los diferentes tiempos de exposición.

Tabla 8-1. Puntos de corte del ICA. Resolución 2254 del 2017 del MADS

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	PM ₁₀ µg/m ³ 24 horas	PM _{2.5} µg/m ³ 24 horas	CO µg/m ³ 8 horas	SO ₂ µg/m ³ 1 hora	NO ₂ µg/m ³ 1 hora	O ₃ µg/m ³ 8 horas	O ₃ µg/m ³ 1 hora
0 – 50	Verde	Buena	0 - 54	0 - 12	0 - 5094	0 - 93	0 - 100	0 - 106	-----
51 – 100	Amarillo	Aceptable	55 - 154	13 - 37	5095 - 10819	94 - 197	101 - 189	107 - 138	-----
101 – 150	Naranja	Dañina a la salud de	155 - 254	38 - 55	10820 - 14254	198 - 486	190 - 677	139 - 167	245 - 323

²<https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf>

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	PM ₁₀ µg/m ³ 24 horas	PM _{2.5} µg/m ³ 24 horas	CO µg/m ³ 8 horas	SO ₂ µg/m ³ 1 hora	NO ₂ µg/m ³ 1 hora	O ₃ µg/m ³ 8 horas	O ₃ µg/m ³ 1 hora
		Grupos Sensibles							
151 – 200	Rojo	Dañina a la salud	255 - 354	56 - 150	14255 – 17688	487 - 797	678 - 1221	168 - 207	324 - 401
201 – 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 - 424	151 - 250	17689 – 34862	798 - 1583	1222 - 2349	208 - 393	402 - 794
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 - 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394	795 - 1185

El cálculo del ICA se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$ICA_p = \frac{I_{alto} - I_{bajo}}{PC_{alto} - PC_{bajo}} * (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

Donde:

ICA_p: Índice de calidad del aire para contaminante P
C_p: Concentración registrada para el contaminante P
PC_{alto}: Punto de corte mayor o igual a C_p

PC_{bajo}: Punto de corte menor o igual a C_p
I_{alto}: Valor del ICA para PC_{alto}
I_{bajo}: Valor del ICA para PC_{bajo}

En la Figura 8-1 se muestran los porcentajes por condición de calidad del aire del ICA para los contaminantes PM₁₀ y PM_{2.5} durante el año 2020, las franjas en gris indican el porcentaje de datos faltantes en la estación. Se puede observar que las estaciones instaladas en el mes de octubre (Bolivia, Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme) registran el mayor porcentaje de datos no disponibles dado el inicio de su monitoreo hasta el cuarto trimestre del año. De las estaciones nuevas, Ciudad Bolívar registra los porcentajes más altos de la condición “aceptable” (17%) y de la condición “dañina a grupos sensibles” (1%) para el periodo en el que se registraron datos de PM_{2.5}. Con respecto a las estaciones antiguas, las condiciones más desfavorables se observaron en los índices con base en PM_{2.5}, y la estación Carvajal-Sevillana que registró las condiciones “aceptable” y “dañina a grupos sensibles” en mayor proporción en relación con las demás estaciones, con porcentajes de 71% y 17%. Por otro lado, la estación Usaquén registró el porcentaje más alto de la condición “buena” con un 58% del año, registrando las mejores condiciones de calidad del aire en cuanto al material particulado.

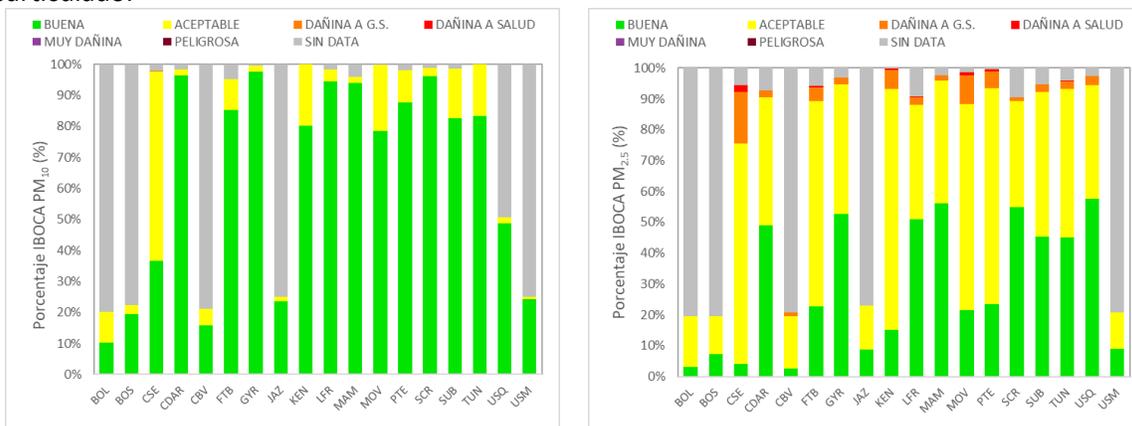


Figura 8-1. ICA por estación para PM₁₀ y PM_{2.5} – Año 2020

En la Figura 8-2 y la Figura 8-3 se representan los porcentajes de tiempo para cada condición del ICA por mes del año 2020 en cada estación de la RMCAB, para los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$ respectivamente. Se observa que las condiciones de ICA con base en el contaminante $PM_{2.5}$ se registran condiciones de calidad del aire más desfavorables, evidenciando las categorías “dañina a grupos sensibles” y “dañina a la salud” en varias estaciones, especialmente en el mes de marzo, cuando se registraron las concentraciones más altas de material particulado debido a la influencia de contaminación proveniente de incendios forestales y el comportamiento de la meteorología. Adicionalmente durante los meses de febrero y marzo se registró la mayor parte del tiempo en todas las estaciones la condición “aceptable”, mientras que la condición “buena” predominó en el mes de julio, dado que la meteorología favoreció la dispersión de contaminantes. Con respecto al PM_{10} , cabe resaltar que las estaciones Carvajal-Sevillana, Bolivia y Bosa registraron la condición “aceptable” en más del 50% del tiempo en la mayoría de los meses del año.

La Figura 8-4 muestra las gráficas de los porcentajes de tiempo en que se registraron las condiciones del ICA para los gases durante el año 2020. Se evidencia que en todas las estaciones que registraron datos de gases prevaleció la condición “Buena” durante todo el año 2020, con lo cual las concentraciones de estos contaminantes en la atmósfera en cada año no se encontraron dentro de los niveles considerados un factor de riesgo para la salud de la población.

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

■ BUENA ■ ACEPTABLE ■ DAÑINA A G.S. ■ DAÑINA A SALUD ■ MUY DAÑINA ■ PELIGROSA ■ SIN DATA



Figura 8-2 ICA por mes del año y por estación para PM₁₀ – Año 2020

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

■ BUENA ■ ACEPTABLE ■ DAÑINA A G.S. ■ DAÑINA A SALUD ■ MUY DAÑINA ■ PELIGROSA ■ SIN DATA



Figura 8-3 ICA por mes del año y por estación para PM_{2.5} – Año 2020



Figura 8-4 ICA por estación para O₃, NO₂, SO₂ y CO – Año 2020

8.2. ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE - IBOCA

El índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA), adoptado mediante la Resolución Conjunta 2410 de 2015 de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Secretaría Distrital de Salud, es un indicador multipropósito adimensional, que oscila entre 0 y 100, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos criterio (PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, NO₂, CO y SO₂) que se registran en las estaciones de la RMCAB, y comunica de forma sencilla, oportuna y clara el riesgo ambiental por contaminación atmosférica, el estado de la calidad del aire de Bogotá, las afectaciones y recomendaciones en salud y las medidas voluntarias para que la ciudadanía contribuya a mantener o mejorar la calidad del aire de la ciudad.

El IBOCA también funciona como indicador de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el marco del Sistema Distrital de Alertas del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Este indicador está basado en la ecuación y umbrales del ICA de la US-EPA, de acuerdo con el documento “Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –”, Versión 2013, y es susceptible de mejora mediante estudios epidemiológicos locales. Además, cuenta con recomendaciones en salud revisadas para el contexto local, de modo que mantiene o mejora las del ICA para cada nivel de concentración de los contaminantes criterio, lo cual tiende a disminuir la

vulnerabilidad de la población bogotana ante la exposición a los diferentes contaminantes, y además tiene recomendaciones para disminuir las emisiones atmosféricas, lo que contribuye a disminuir la amenaza asociada. Siendo así, el IBOCA obedece a una estrategia de disminución del riesgo ambiental, que se refuerza y consolida con los protocolos específicos de actuación y respuesta que la ciudad defina de forma interinstitucional e intersectorial, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 595 del 2015. La Tabla 8-2 muestra los rangos de concentración de contaminantes del aire y los diferentes atributos del IBOCA.

Tabla 8-2. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante ¹					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta ²	PM10, 24h (µg/m ³)	PM2.5, 24h (µg/m ³)	O ₃ , 8h (µg/m ³) [ppb]	CO, 8h (µg/m ³) [ppm]	SO ₂ , 1h (µg/m ³) [ppb]	NO ₂ , 1h (µg/m ³) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226) [96-115]	(14198-17631) [12.5-15.4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo ³	Muy Mala	Alerta Roja ³	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100 ⁴	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-50.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

El cálculo del IBOCA se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$IBOCA_p = \frac{I_{mayor} - I_{menor}}{C_{mayor} - C_{menor}} * (C_p - C_{menor}) + I_{menor}$$

Donde:

IBOCA_p: Índice para contaminante P

C_{menor}: Concentración menor o igual a C_p

C_p: Concentración registrada para el contaminante P

I_{mayor}: Valor del IBOCA para C_{mayor}

C_{mayor}: Concentración mayor o igual a C_p

I_{menor}: Valor del IBOCA para C_{menor}

En la Figura 8-5 se muestra el IBOCA por estación de monitoreo con base en los datos de PM₁₀ y PM_{2.5} registrados durante el año 2020, representando el porcentaje de tiempo en que se registró una determinada condición de la calidad del aire. Se evidencia que el PM_{2.5} es el contaminante que registra las condiciones determinantes para el IBOCA, ya que se evidenció la condición “regular” en un mayor número de estaciones, siendo los porcentajes más altos los que se observaron en las estaciones del suroccidente de la ciudad y en la estación Móvil 7ma, entre el 9 y el 22%. En el caso del PM₁₀, a excepción de las estaciones del suroccidente de la ciudad, durante el año se registró más del 80% en la condición “favorable”, siendo la condición Guaymaral la que registró el mejor estado de la calidad del aire con un 98% del tiempo en la condición “favorable”.

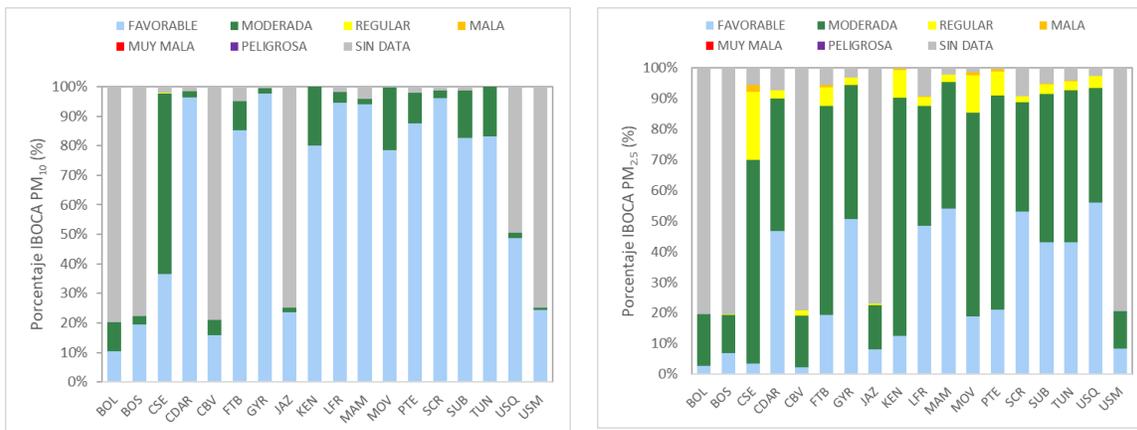


Figura 8-5 IBOCA por estación de monitoreo para PM₁₀ y PM_{2.5} – Año 2020

En la Figura 8-6 y la Figura 8-7 se presenta el IBOCA de PM₁₀ y PM_{2.5}, para cada estación de monitoreo y por mes de acuerdo con los datos registrados durante el año 2020. Se evidencia que en el primer trimestre se observaron mayores porcentajes en las condiciones “moderada” y “regular”, especialmente en el PM_{2.5}, siendo esta última condición predominante durante los meses de febrero y marzo, dadas las condiciones de alerta ambiental por contaminación atmosférica. En la mayoría de las estaciones se observó que la calidad del aire mejoró en el segundo trimestre de 2020, teniendo en cuenta las restricciones a la movilidad y a varias actividades comerciales, y en los siguientes meses se incrementó gradualmente el porcentaje de la condición “moderada” hasta aumentar notablemente en el mes de diciembre. Se observó una prevalencia de la condición “favorable” en el IBOCA calculado con base en el PM₁₀ en la mayoría de las estaciones, a excepción de la estación Carvajal-Sevillana y otras estaciones en el primer trimestre, en los que predominó la condición “moderada” en cada mes.

En la Figura 8-8 se muestra la distribución de las condiciones del IBOCA por estación de monitoreo para los gases contaminantes en el año 2020 (O₃, SO₂, NO₂ y CO). Se observa que la condición “favorable” predomina durante todo el año para los gases contaminantes en las estaciones que registraron datos de cada contaminante. En algunas estaciones se registró menos del 0.4% de la condición “moderada”, principalmente en el primer trimestre del año y en las estaciones del suroccidente de la ciudad, sin embargo, los niveles registrados de los gases contaminantes se encontraban en los rangos que no generaban perjuicios en la salud de la población.

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

■ FAVORABLE ■ MODERADA ■ REGULAR ■ MALA ■ MUY MALA ■ PELIGROSA ■ SIN DATA

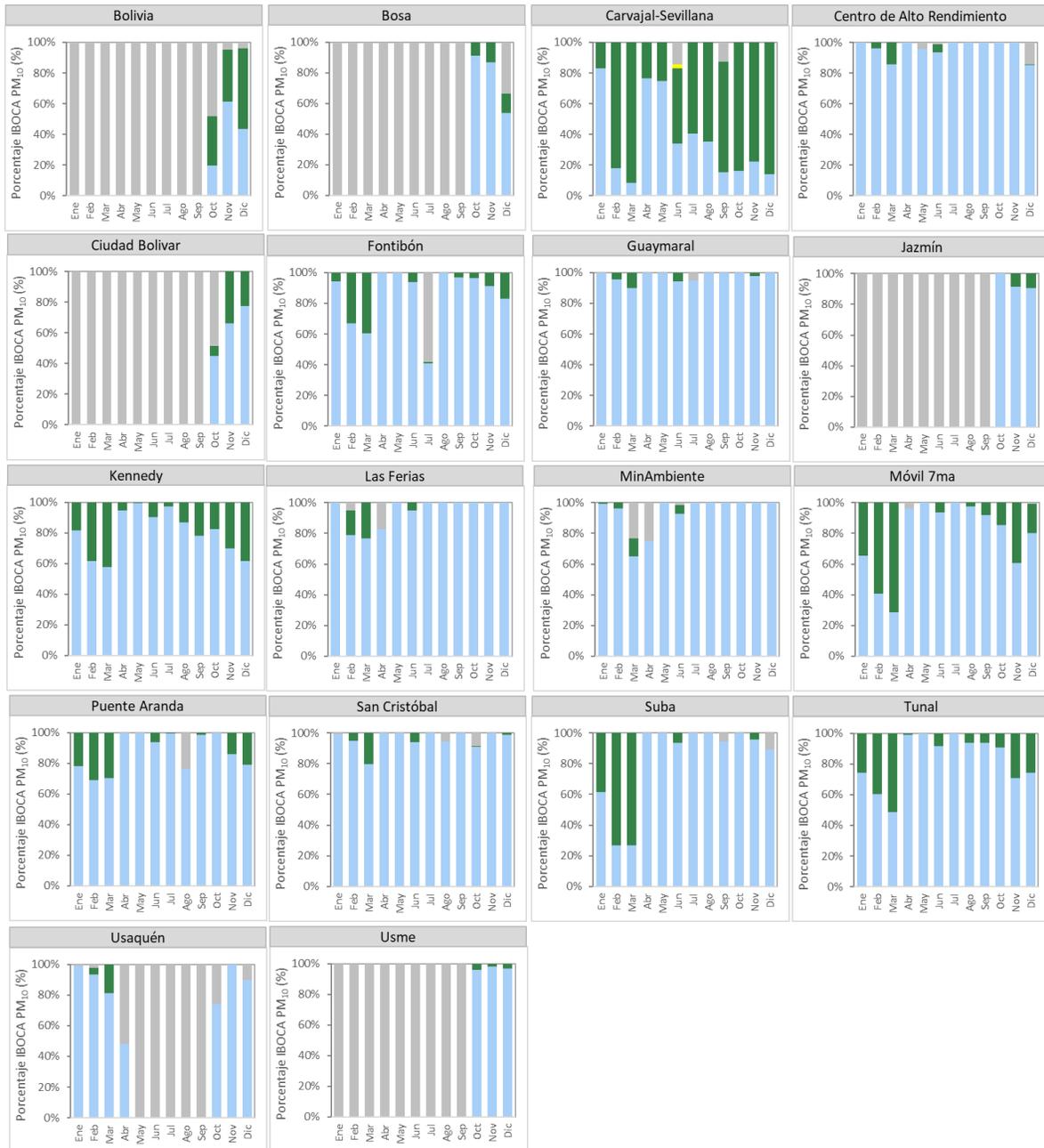


Figura 8-6 IBOCA por mes del año para PM₁₀ – Año 2020

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

■ FAVORABLE ■ MODERADA ■ REGULAR ■ MALA ■ MUY MALA ■ PELIGROSA ■ SIN DATA

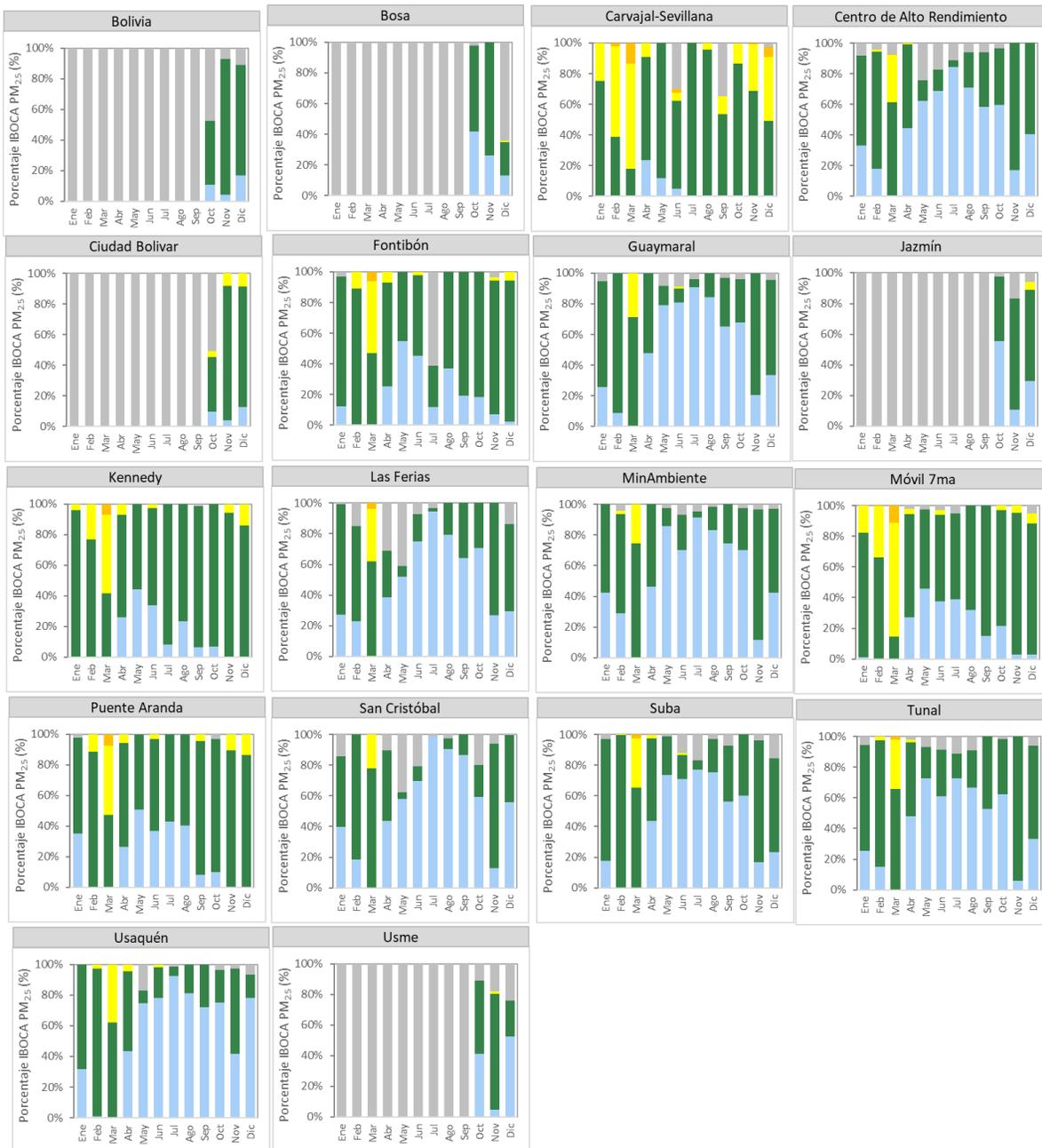


Figura 8-7. IBOCA por mes del año para PM_{2.5} – Año 2020

FAVORABLE MODERADA REGULAR MALA MUY MALA PELIGROSA SIN DATA

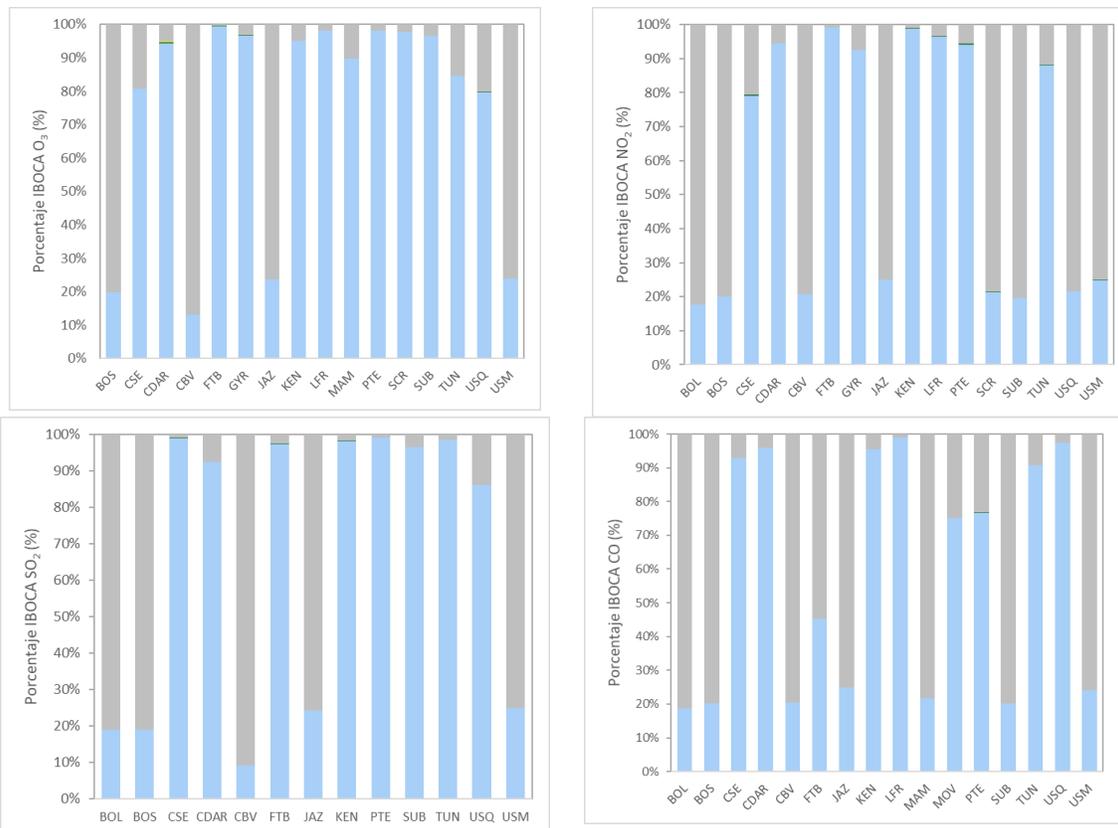


Figura 8-8 IBOCA por estación para O₃, NO₂, SO₂ y CO – Año 2020

9. METEOROLOGÍA

9.1. PRECIPITACIÓN

De acuerdo con (OMM, 2010) citado por (FOPAE, 2001) la precipitación se define como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. La medida de la cantidad de lluvia se expresa por la altura de la capa de agua que cubriría el suelo, supuesto perfectamente horizontal, suponiendo que no es objeto de filtración, evaporación o escurrimiento.

A esta medida se llama altura de precipitación y es expresada en milímetros. Un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie. Es un elemento meteorológico con gran variabilidad espacial y temporal.

Por encontrarse en la zona andina la ciudad de Bogotá presenta dos períodos con lluvias abundantes durante el año, denominados popularmente como “invierno”, y dos períodos menos abundantes reconocidos como verano. El primero, se inicia en marzo y dura todo abril y mayo; el segundo, empieza en septiembre y dura todo octubre y noviembre. Así mismo, existen meses de transición entre los diferentes períodos como son: marzo, junio, septiembre y diciembre, los cuales se presentan con días alternados de lluvias y tiempo seco.

La lluvia ejerce una labor muy importante en la limpieza de la atmósfera, toda vez que al tener un diámetro mayor que el tamaño de las partículas contaminantes, puede producir arrastre de muchas partículas presentes en la atmósfera, generando un lavado atmosférico y contribuyendo con la descontaminación de la ciudad, mayormente cuando se presentan lluvias intensas.

9.1.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN

Como suele ocurrir en la ciudad de Bogotá, son más frecuentes y con mayor intensidad las lluvias en horas de la tarde y noche, así, entre las 3:00 p.m. y las 6:00 p.m. en promedio cayó aproximadamente el 40% de las lluvias, entre las 7:00 p.m. y las 12:00 a.m. aproximadamente el 28% y el 31% restante en promedio ocurren entre la 1:00 a.m. y las 2:00 p.m. En 2020 el mayor número de eventos de lluvia se presentó hacia las 5:00 p.m. (Figura 9-1). En 2019 semejante a lo registrado en 2020 el mayor número de eventos de lluvia se presentó hacia las 4:00 p.m.

Así pues, las lluvias que se presentan en horas de la tarde probablemente sean las que mayormente contribuyen con la limpieza de la atmósfera por arrastre aerodinámico de partículas. Estos eventos de lluvia además son propicios para el lavado de las vías y la disminución de material particulado susceptible de ser resuspendido.

De acuerdo con Montoya & Eslava (2000), el comportamiento antes descrito obedece a la acumulación de energía durante el día que ocurre entre la 1 y las 3 de la tarde, es decir, cuando las temperaturas alcanzan su máximo valor y con ella el desarrollo

convectivo, y a la interrupción del flujo básico del nororiente y suroriente para darle paso a las masas de aire cálidas y húmedas provenientes del valle del Magdalena los cuales ascienden por el suroccidente cargados de humedad y al encontrarse con los cerros orientales son forzados a ascender y formar nubes productoras de lluvia, si las condiciones de estabilidad de la atmósfera son favorables.

Es normal que estas lluvias ocurran bajo condiciones propicias de humedad, dirección del viento del occidente y condiciones de estabilidad favorables para la convección térmica o convección forzada con la contribución de los vientos encañonados del Magdalena que se ven forzados a ascender al colisionar con los cerros orientales.

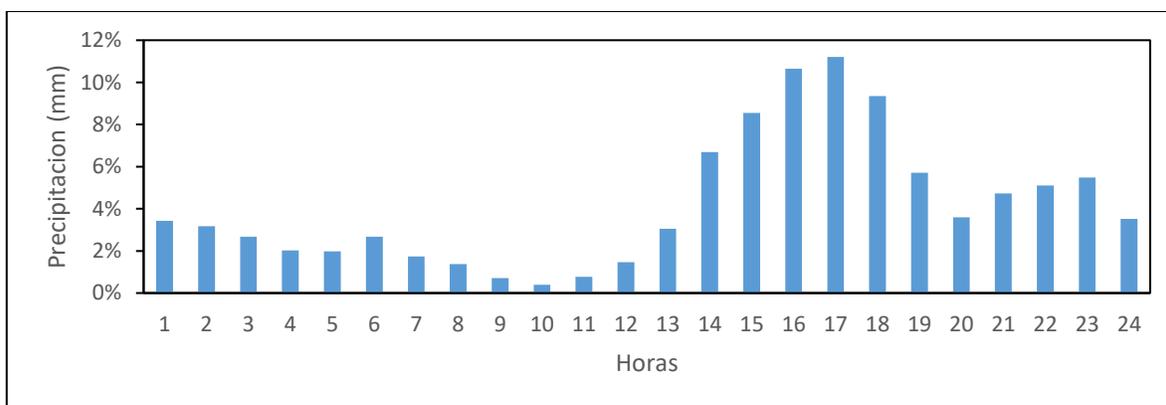


Figura 9-1 Comportamiento diario de la precipitación – Año 2020

9.1.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN

En cuanto al comportamiento mensual, como es sabido la ciudad de Bogotá está marcada por dos periodos de lluvia y dos períodos secos. De este modo, tal como se observa en las Tabla 9-2 donde se presenta el comportamiento mensual de las lluvias por cada estación y Tabla 9-1 donde se resumen el comportamiento de las lluvias durante cada mes, así como a nivel trimestral y semestral. En dichas tablas se puede apreciar que, en 2020, al igual que en 2019, los mayores acumulados se presentaron en el segundo semestre del año. Además, que el 59% de las lluvias ocurrieron en el segundo semestre. No obstante, las lluvias registradas durante los dos períodos secos dejan entrever que fueron más húmedos que el año anterior e idénticos al primer periodo de lluvias.

Tabla 9-1. Distribución de las lluvias durante el año 2020

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	30,8	94,5	84,4	63,7	69,8	79,0	90,1	40,5	86,4	34,9	240,1	94,5
% Anual	3%	10%	9%	6%	7%	8%	9%	4%	9%	4%	24%	10%
% Trimestral	21%			21%			22%			37%		
% Semestral	43%						59%					

Como se puede observar en la Figura 9-2 en el segundo semestre de 2020 se presentaron las lluvias más intensas. En el mes de noviembre se acumularon alrededor de 434 mm de lluvia mientras que el máximo acumulado en el mes de mayo fue de alrededor de 188 mm de lluvia, menor que lo registrado en febrero un mes característicamente seco.

Tabla 9-2 Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad – Año 2020

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Acumulado (mm)
CSE	0,9	52,1	42,2	55,5	76	72,9	92	45,8	54,1	62,9	159,8	42,3	756,5
CDAR	33,9	108,8	130,1	55,3	58,3	88,9	96	48,3	93,4	40,7	236,2	87,5	1077,4
GYR	17,1	87,3	57,9	65,8	56,5	87,9	33,9	51,2	113,2	23,7	235,1	70,3	899,9
KEN	62,6	198,8	182,3	163,8	188,1	229,5	281,1	36,7	49,1	20	0	67,8	1479,8
LFR	15,8	51,1	64,5	41,3	34,9	26,4	61,5	17	107,7	20,1	236,2	124,3	800,8
MAM	46,6	107,8	102,2	35,2	51,6	53,4	72,6	34	78,4	26,6	263,6	116,3	988,3
MOV	15,9	98,3	85,3	27,9	53,8	28,9	39,4	12,7	55,7	20,4	227,6	79,1	745,0
PTE	5,7	62,2	57,6	43,3	47,6	47,9	73,1	36,1	71,2	23,9	139,2	102,3	710,1
SCR	35,3	100,1	77	57,5	61,4	99,5	95,1	85,7	155,4	55,4	433,9	223	1479,3
SUB	40,4	53,8	67,2	87,5	71,9	93,8	102,6	46,3	93,7	38,6	242,6	75,3	1013,7
TUN	53	62,3	33,1	53,6	93,5	81,5	88,2	38,1	78,5	64	200,1	62,8	908,7
USQ	42,9	151,2	113,5	77,3	43,5	37,6	45,8	34,2	86	22	266,5	82,5	1003,0

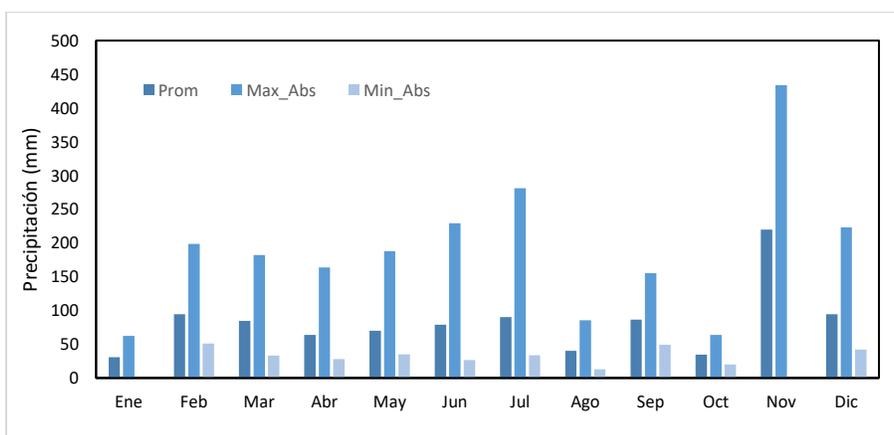


Figura 9-2 Valores medios máximos y mínimos absolutos de precipitación – Año 2020

En 2020 de acuerdo con los registros de la RMCAB, en su mayoría los totales anuales fluctuaron entre 700 mm a 1100 mm. Se destacan los acumulados registrados en San Cristóbal, con totales por encima de los 1400 mm. Ver la Figura 9-3 y la Figura 9-4.

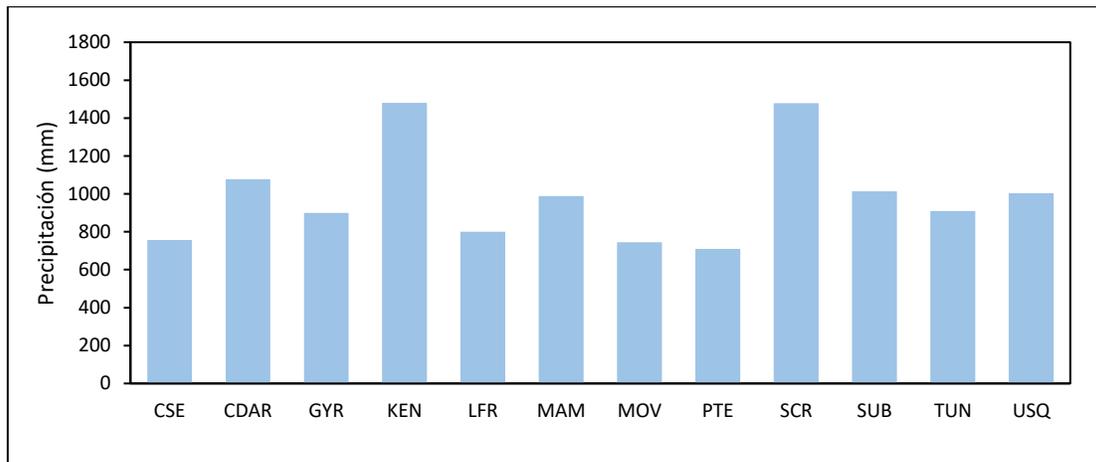


Figura 9-3 Total acumulado por estación – Año 2020

9.1.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

La distribución espacial de las precipitaciones se puede observar en el mapa de isoyetas de la Figura 9-4. En dicha figura se puede observar que los mayores acumulados se presentaron tanto al oriente como el occidente. Los acumulados registrados hacia el flanco occidental podrían estar asociados a lluvias de tipo advectivos. Entretanto, las lluvias registradas hacia el flanco oriental de la ciudad, se estima obedezcan a procesos de convección forzada.

9.1.4. COMPORTAMIENTO HISTORICO DE LA PRECIPITACIÓN

En la Tabla 9-3 se presenta el registro histórico de la RMCAB, donde se resume el comportamiento anual registrado en las distintas estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta la vigencia analizada.

Adicionalmente se presenta la Figura 9-5 que describe el comportamiento promedio de las lluvias en la ciudad, de acuerdo con los datos colectados por la RMCAB, desde el año 2000. De acuerdo con este perfil anual se evidencia un ascenso en el total anual de la precipitación de 2020 con respecto al año anterior.

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

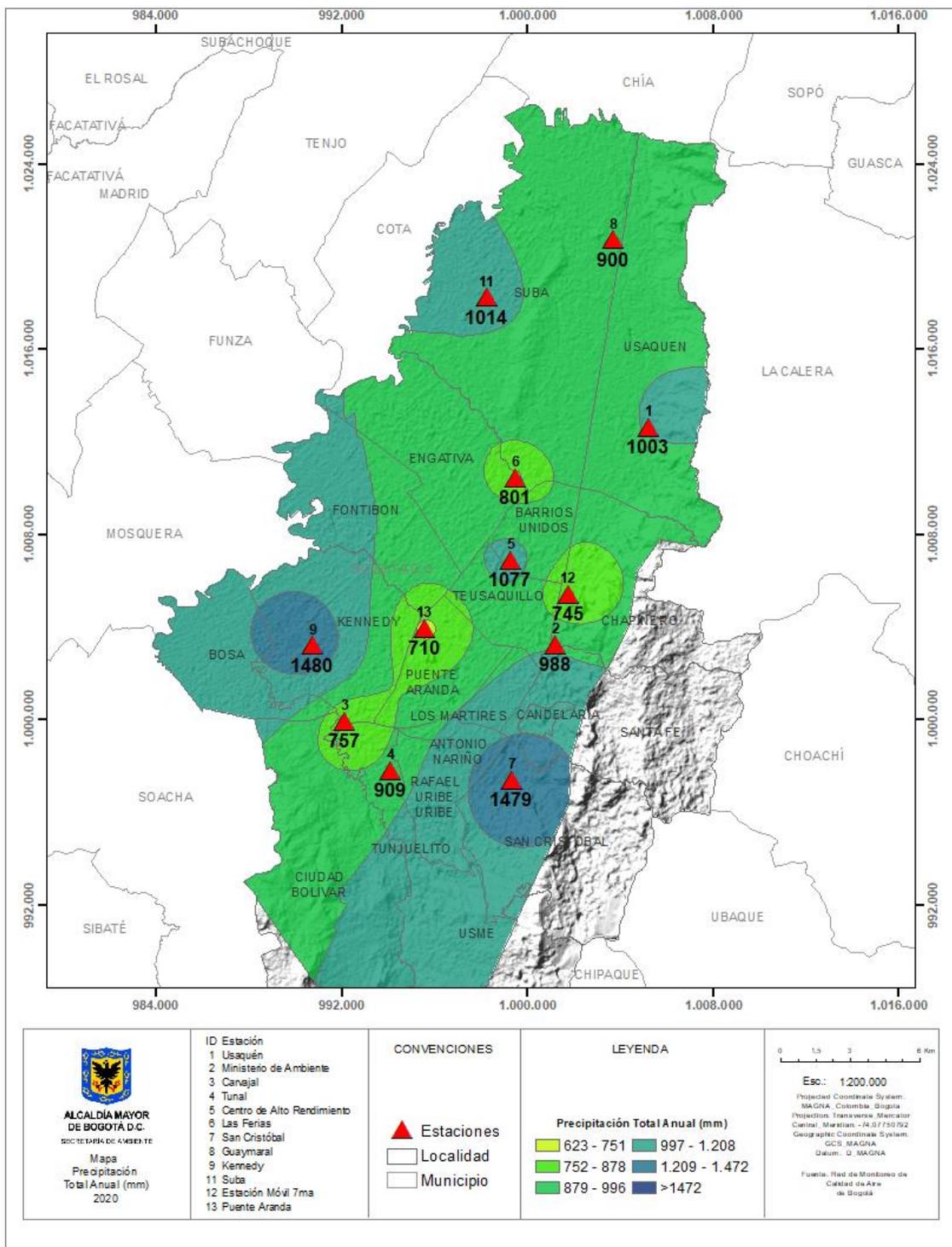


Figura 9-4 Mapa de distribución espacial de la precipitación en la ciudad de Bogotá – Año 2020

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

Tabla 9-3 Promedio de los acumulados de precipitación por estación – Año 2020

EST.	BOL	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ	USM	Prom.
1998															1150
1999															940
2000		585		687			606	851			650		1242		767,8
2001		317		471			592	636	564		496		563		498,2
2002		580		653	578		667	874	901		489		867		710,8
2003		421		574	709				891				495		540,4
2004		577	739	684					248		1007				648,0
2005			752	545			882		431				947		668,6
2006		692		520		611	861		580		573		825	702	747,3
2007		669	707	559	646	546	654		701		460	539	780	553	645,6
2008			848		821	839	695		1547		575	686	946	718	838,2
2009		620	815	382	656	559	759	812	857		646	542	624		667,8
2010		970	1523	522	1048	644	1321		881		1023	1071	1292		1016,4
2011		1024	1710	520	1394	587	1429		812		1156	1066	1277		1097,5
2012		638	891	350	639		931	940	679	938	866	668	828		760,7
2013	755,4	678	964	392	828	688	855	940	660	865	930	711	703		767,8
2014		639	1062		836	689	925	915	680	1076	732	674	869		827,0
2015	558,4	450	608		534	453	580	559	396	574	446	510	461		506,5
2016	961,4	540,8	802,6		964,4	723,4	924,6	795	835,5	786,4	362		333		706,8
2017	1389,4	890,2	1310,7		986,3	1078,1	1054,7	1032,8	1002,9	1072,6	986,6	1041,8	1140,8		1054,3
2018	955,7	809,7	932,3		796,2	1281,5	517,3		786	916,1	453,6	543,7	905,2		794,2
2019	989,4	723,5	979,8		923,9	1565,5	558,5	676,2	843,4	1065,5	801,7	814,6	1105,6		914,4
2020		756,5	1077		899,9	1480	800,8	988,3	710,1	1479	1014	908,7	1003		1010,7
Prom.	935	662,1	982,6	527,6	828,7	838,9	821,7	834,9	750,3	974,8	719,3	752	860,3	657,7	770,9

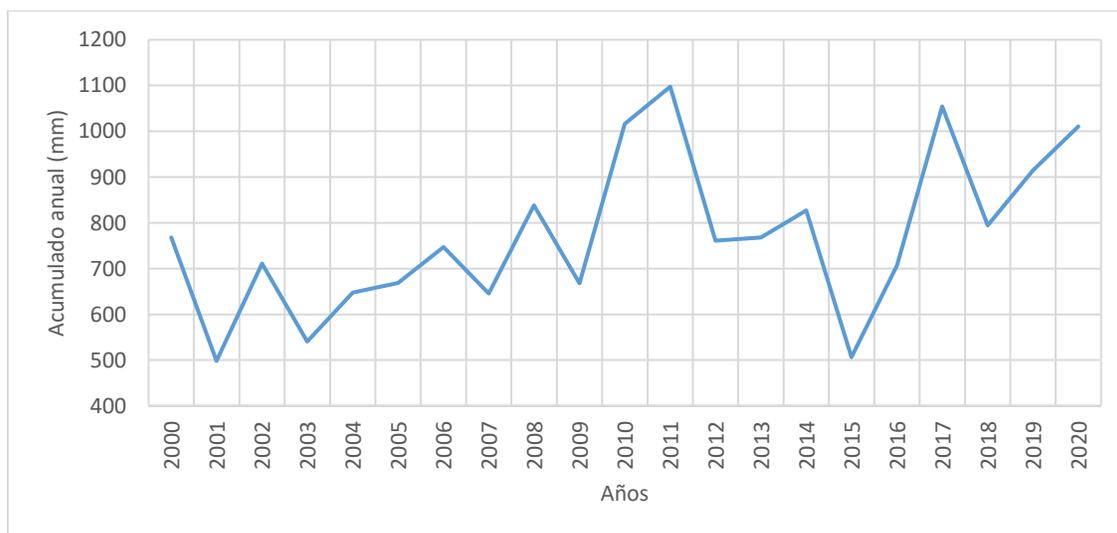


Figura 9-5 Variación anual de la precipitación en Bogotá – Año 2020

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB
INFORME ANUAL

En la Tabla 9-4 se resume el comportamiento mensual multianual de la lluvia en la ciudad de Bogotá de acuerdo con los registros de la RMCAB desde 2000 hasta 2020. De acuerdo con esta tabla en 2020 las lluvias superaron al promedio histórico durante meses considerados como secos (febrero, julio). Mientras que, durante el primer periodo húmedo las lluvias no fueron abundantes como suele ocurrir durante el ciclo anual de la precipitación en la ciudad. Ver Figura 9-6.

Tabla 9-4 Precipitación promedio histórica mensual – Año 2020

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2000	41,0	152,5	112,2	59,1	62,2	41,9	49,1	37,3	84,6	53,3	64,5	22,0	779,7
2001	22,9	23,8	83,5	17,4	67,7	25,7	28,0	11,9	73,0	27,8	53,8	60,8	496,2
2002	20,9	28,8	69,7	154,6	104,7	73,1	20,4	22,4	42,2	61,2	39,5	75,1	712,5
2003	13,8	39,3	79,0	77,3	31,8	51,6	42,6	37,7	55,5	80,4	117,2	23,2	649,3
2004	10,6	47,7	34,4	103,9	91,9	75,4	35,7	14,0	47,3	100,3	57,1	23,1	641,4
2005	24,2	62,9	28,3	72,7	111,5	25,6	20,3	22,2	47,5	86,2	54,3	66,1	621,9
2006	63,4	23,8	107,1	98,7	77,7	72,9	16,0	12,0	17,3	91,6	80,6	23,6	684,6
2007	11,0	16,8	30,4	84,0	44,8	46,0	30,5	37,1	9,2	149,5	97,0	102,9	659,2
2008	22,6	94,6	100,9	47,5	80,6	52,2	47,0	44,9	36,5	104,4	135,9	81,7	848,7
2009	52,2	82,0	98,1	66,2	18,5	38,9	23,3	20,7	17,4	119,8	56,0	28,9	621,9
2010	9,4	20,4	19,5	134,2	160,9	70,7	100,7	30,3	47,1	126,1	170,1	112,8	1002,3
2011	62,9	75,4	106,2	168,8	115,5	46,3	41,9	32,1	39,5	128,0	175,0	130,2	1122,0
2012	79,8	135,3	101,4	134,7	29,1	31,7	42,9	35,8	21,0	104,0	53,0	47,9	816,5
2013	7,4	96,0	58,0	118,9	98,0	23,2	30,8	46,8	32,7	71,5	138,7	73,6	795,6
2014	47,7	70,2	92,4	61,8	74,7	44,4	25,9	14,3	36,7	104,6	114,5	124,5	811,6
2015	38,9	31,9	95,9	58,9	17,1	52,4	30,6	18,6	30,8	44,1	59,0	1,1	479,2
2016	4,8	20,8	85,8	136,1	76,9	20,3	30,9	44,8	68,8	85,2	189,7	59,0	823,0
2017	48,2	75,8	142,8	69,2	158,8	86,4	21,1	31,9	29,8	76,3	143,6	69,6	953,4
2018	60,7	41,2	100,0	148,1	126,2	50,0	50,6	39,1	36,4	75,4	94,6	10,7	833,0
2019	18,5	50,8	87,3	124,8	122,7	74,9	44,3	35,6	62,7	97,3	180,0	48,2	947,0
2020	26,4	81,0	72,4	54,6	59,8	67,7	77,2	34,7	74,0	29,9	188,6	81,0	847,3
Prom.	32,7	60,5	81,2	94,8	82,4	51,0	38,6	29,7	43,3	86,5	107,7	60,3	768,9

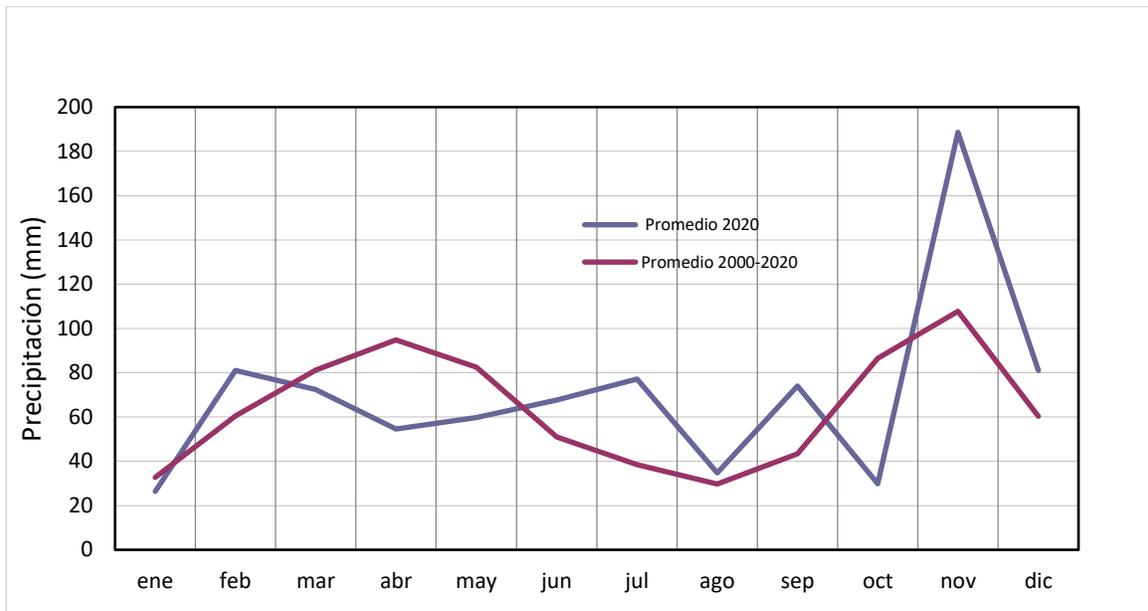


Figura 9-6 Precipitación promedio histórica mensual Vs total anual 2020

9.2. TEMPERATURA

La temperatura es una propiedad de la materia, definida por la cinética media de las moléculas. Esta se mide en virtud de la transferencia de calor entre los cuerpos de niveles distintos de energía cinética molecular media. En el caso del aire, indica la cantidad de energía interna o sensible, acumulada en un momento y lugar determinado.

La temperatura del aire ambiente determina la ocurrencia de los procesos de difusión de contaminantes por su contribución al incremento de los flujos turbulentos que son claves para el ascenso a niveles por encima del suelo y el consecuente transporte y mezcla de los contaminantes, que diariamente se descargan en la ciudad ya sea por fuentes propias o por fuentes externas como las quemadas regionales que son recurrentes en los primeros meses del año.

En la RMCAB la temperatura ambiente se mide en estaciones distribuidas estratégicamente en la ciudad, para caracterizar sus variaciones espaciales y en diferentes resoluciones temporales de manera que contribuya con la toma de decisiones asociadas a esta variable.

9.2.1. COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA TEMPERATURA

De acuerdo con los registros de la RMCAB en la Tabla 9-5 se resume el perfil promedio horario anual de la temperatura durante el año 2020 por estación. Con base en dicha información, en un día normal del año, en promedio las temperaturas más bajas se presentan en horas de la madrugada y de la noche. Así mismo, conforme el sol calienta el suelo y éste a su vez el aire en contacto, la temperatura del aire comienza a incrementarse alcanzando su máximo entre las 12 horas y las 14 horas, posiblemente incluso hasta las 15 horas. Este incremento de temperatura máxima corresponde con la hora en la que ocurre la mayor convección térmica en un día normal en Bogotá,

que podría propiciar no sólo la mayor dispersión de contaminantes en la atmósfera, sino también favorecer la convección profunda y la ocurrencia de lluvias con tormentas.

En la Figura 9-7 se muestra el perfil promedio horario de la temperatura en la ciudad y sus variaciones espaciales a través de cada una de sus estaciones. Durante el año 2020 de manera idéntica que el año anterior, las mayores temperaturas de la ciudad se reportaron en las estaciones Kennedy, Móvil 7ma y Carvajal-Sevillana. El sector de San Cristóbal continúa registrando los valores más bajos de temperatura horaria durante el año.

Tabla 9-5 Comportamiento de la temperatura horaria – Año 2020

Hora	BOL	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	Prom.
	°C												
1:00	13,6	11,5	13,3	11,5	13,5	12,1	13,8	12,3	11,6	11,3	12,3	12,6	12,5
2:00	13,2	11,2	12,9	11,2	13,2	11,8	13,5	12,0	11,3	11,0	12,0	12,3	12,1
3:00	12,8	10,9	12,6	10,9	12,9	11,5	13,2	11,7	11,1	10,7	11,8	12,0	11,8
4:00	12,6	10,6	12,3	10,7	12,6	11,3	13,0	11,5	10,8	10,5	11,5	11,8	11,6
5:00	12,4	10,4	12,1	10,5	12,4	11,1	12,8	11,3	10,6	10,3	11,3	11,6	11,4
6:00	12,3	10,2	12,0	10,3	12,1	11,0	12,7	11,2	10,5	10,1	11,1	11,5	11,3
7:00	12,7	11,1	12,3	11,0	12,4	11,6	12,8	11,5	10,8	10,4	11,4	11,8	11,7
8:00	14,5	14,6	14,0	14,1	14,3	13,6	14,0	12,8	12,4	12,3	13,9	13,5	13,7
9:00	16,6	17,5	15,9	16,9	17,0	15,7	16,1	14,4	14,6	15,3	16,7	15,5	16,0
10:00	18,3	19,4	17,5	18,6	19,2	17,2	18,4	15,8	16,1	18,0	18,7	17,0	17,9
11:00	19,5	20,4	18,6	19,6	20,6	18,2	19,9	16,9	17,2	19,8	20,1	18,2	19,1
12:00	20,1	21,0	19,2	20,3	21,1	18,8	20,7	17,6	17,9	20,9	21,0	18,8	19,8
13:00	20,3	20,9	19,3	20,6	21,0	19,0	20,9	17,6	18,2	21,3	21,2	19,0	19,9
14:00	20,2	20,5	19,1	20,5	20,7	18,6	20,7	17,3	18,0	21,0	21,0	18,8	19,7
15:00	19,9	19,9	18,8	20,0	20,4	18,2	20,3	17,0	17,8	20,5	20,6	18,3	19,3
16:00	19,4	19,2	18,3	19,4	19,9	17,5	19,6	16,5	17,2	19,7	20,1	17,6	18,7
17:00	18,5	18,1	17,7	18,3	19,0	16,6	18,5	16,0	16,4	18,6	19,1	16,8	17,8
18:00	17,2	16,4	16,7	16,6	17,6	15,4	17,3	15,1	15,2	16,9	17,5	15,7	16,5
19:00	16,0	14,5	15,6	14,8	15,9	14,2	16,1	14,2	13,9	14,9	15,3	14,7	15,0
20:00	15,4	13,6	15,1	14,0	15,2	13,6	15,5	13,8	13,3	13,8	14,3	14,1	14,3
21:00	15,1	13,0	14,8	13,4	14,9	13,3	15,1	13,6	12,9	13,2	13,8	13,7	13,9
22:00	14,7	12,6	14,4	12,9	14,6	13,0	14,8	13,3	12,5	12,7	13,3	13,4	13,5
23:00	14,4	12,2	14,1	12,4	14,3	12,7	14,5	13,0	12,2	12,2	13,0	13,2	13,2
24:00	14,0	11,8	13,7	11,9	13,9	12,4	14,2	12,6	11,9	11,7	12,6	12,9	12,8
Prom.	14,2	14,4	14,8	14,6	14,7	14,2	14,0	14,1	14,3	14,4	14,4	14,2	14,4

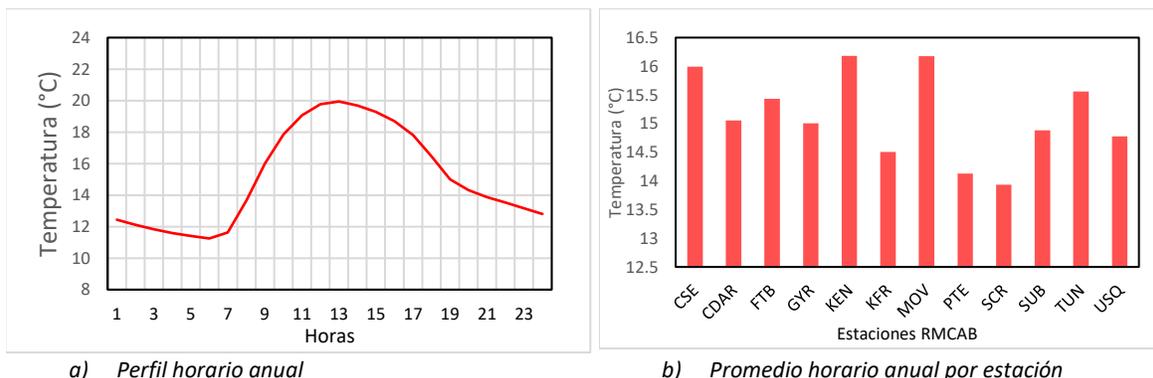


Figura 9-7 a) Perfil horario anual de temperatura. b) perfil diario de temperatura por estación

9.2.2. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA TEMPERATURA

Los datos registrados en la RMCAB permiten establecer que 2020 fue un año con temperaturas semejantes a las registradas durante el año anterior. El promedio anual fue de 15,1 °C superando nuevamente el promedio anual de 2016 que fue uno de los años más calientes de la década. De acuerdo con estos registros, los meses con mayores valores de temperatura del año se presentaron entre enero y agosto, exceptuando al mes de marzo que fue ligeramente menor, como se puede ver en la

Tabla 9-8 y la Figura 9-8.

Por otra parte, al comparar el promedio de temperatura media mensual multianual de 2000 a 2020 contra la media mensual de 2020 se observa que el promedio mensual de 2020 fue superior al promedio multianual, durante todo el año. Asimismo, se puede observar que con respecto a la media multianual las anomalías de temperatura fueron positivas y que se presentaron durante todo el año, sobre todo durante el mes de marzo.

Tabla 9-6 Promedio mensual de temperatura multianual 2000 – 2020

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2000	12,4	12,5	15,0	13,5	13,7	13,9	13,1	13,2	13,1	13,6	13,7	13,2	13,4
2001	12,9	13,1	14,8	14,8	14,9	14,1	14,2	14,0	14,1	15,3	14,7	15,0	14,3
2002	14,3	15,1	14,9	14,7	15,3	14,6	14,8	14,5	14,7	15,0	14,6	15,1	14,8
2003	15,1	15,5	15,1	15,1	15,4	14,6	14,0	14,1	14,1	14,5	14,2	14,3	14,7
2004	13,6	13,2	13,9	13,6	14,1	13,8	13,7	14,4	14,3	14,6	14,9	14,7	14,1
2005	15,2	15,9	15,8	16,0	15,8	14,4	14,4	14,3	14,9	14,8	15,0	14,5	15,1
2006	14,1	14,1	14,0	13,1	13,4	13,0	13,1	13,8	13,5	13,2	13,2	13,2	13,5
2007	14,2	13,6	14,2	14,7	13,5	13,0	13,0	13,2	13,7	13,4	13,0	12,3	13,5
2008	12,4	12,6	13,4	13,5	13,7	14,1	13,5	13,7	14,0	14,1	14,3	14,0	13,6
2009	14,0	14,2	14,3	14,7	14,6	14,5	14,0	14,6	14,6	14,4	14,8	14,6	14,4
2010	14,9	15,8	15,7	15,2	15,2	14,5	14,6	14,3	14,4	14,6	14,2	13,6	14,7
2011	13,9	14,0	13,9	14,2	14,7	14,6	13,9	14,1	13,9	13,8	13,9	14,3	14,1
2012	14,2	13,9	14,1	13,9	14,3	14,2	13,7	13,7	13,9	14,4	14,3	14,0	14,1

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2013	14,4	14,3	14,9	14,9	14,6	14,5	13,6	13,9	14,3	14,0	13,9	14,2	14,3
2014	14,3	14,5	14,6	14,7	14,7	14,2	14,0	13,5	14,0	14,2	14,3	13,8	14,2
2015	14,0	14,6	14,8	14,9	15,0	14,1	14,3	14,5	14,6	14,9	15,0	14,5	14,6
2016	15,4	15,9	16,1	15,3	15,1	14,4	14,4	14,4	14,5	15,0	14,6	14,5	15,0
2017	14,1	14,4	14,3	14,9	14,8	14,6	14,1	14,4	15,0	14,6	14,4	14,3	14,5
2018	14,1	14,9	14,8	14,1	14,5	14,2	14,3	13,9	14,5	14,8	15	14,5	14,5
2019	14,7	15,5	15,5	15,5	15,2	14,8	14,6	14,5	15,1	14,7	15,2	15,4	15,1
2020	15,2	15,4	15,9	15,7	15,5	15,0	14,7	15,0	14,6	15,0	14,7	14,8	15,1
Prom. 2000-2020	14,2	14,4	14,8	14,6	14,7	14,2	14,0	14,1	14,3	14,4	14,4	14,2	14,4
Desviación estándar	0,9	1,1	0,7	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	

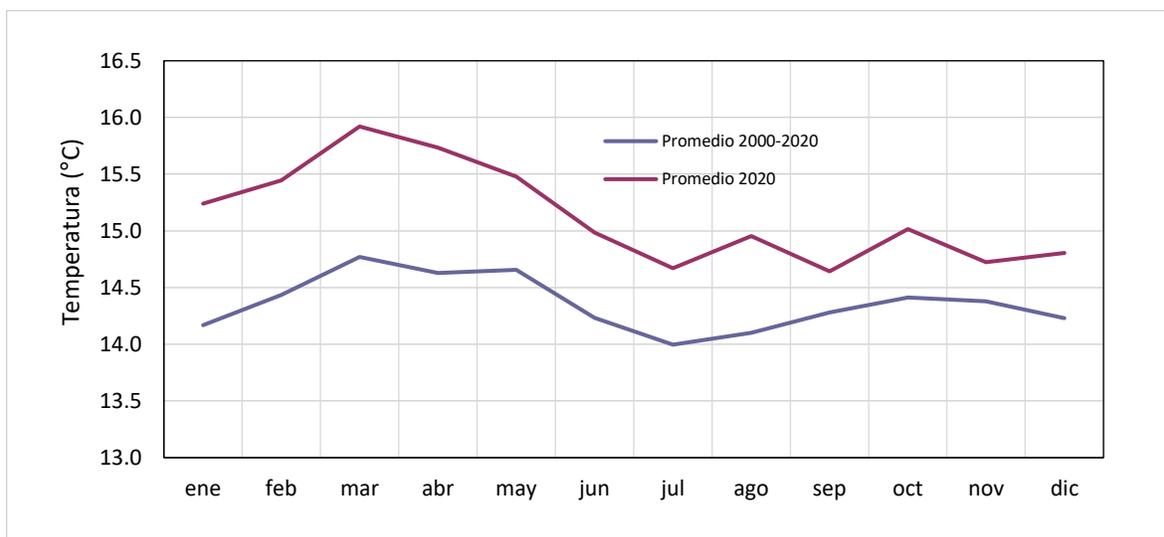


Figura 9-8 Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2020 Vs 2020

En cuanto al comportamiento de las temperaturas extremas, las estaciones Suba, Tunal y Móvil 7ma fueron las que registraron los valores más altos en cuanto a las máximas absolutas con 28,0°C, 27,2°C y 27,1°C respectivamente. En cuanto a las mínimas absolutas Guaymaral y CDAR registraron las temperaturas más bajas durante el año con 0,7 °C y 1,7 °C respectivamente. En la Figura 9-9 se resume el comportamiento de los valores extremos absolutos (el valor más alto o bajo del año por estación) de las temperaturas medias horarias durante el año 2020. De la Tabla 9-7 se puede deducir que las mayores amplitudes térmicas se presentaron hacia los sectores de la ciudad representados por las estaciones Guaymaral, CDAR, Suba y Tunal. Estas variaciones de temperatura durante el día son las que en el trópico contribuyen con la formación de corrientes convectivas que ayudan al ascenso de masas de aire y con la reducción de la contaminación atmosférica complementado con la mezcla y transporte turbulentos (Hastenrath, 1991).

Los valores presentados en la Tabla 9-7 y la Figura 9-9 de las estaciones Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme, corresponden a los registros medidos durante los últimos meses del año, los cuales le permitirán a la RMCAB dar información a la ciudadanía acerca del comportamiento de las temperaturas en estos espacios intermedios de la ciudad donde se desconocía el comportamiento de la temperatura superficial. Por tanto, estos se reportan como valores indicativos de comportamiento preliminar de la temperatura superficial en dichos puntos, dado que estos no cumplen con el criterio de representatividad temporal del 75%.

Tabla 9-7 Temperaturas extremas – Año 2020

ESTACIÓN	Máxima (°C)	Mínima (°C)	Amplitud Térmica (°C)
BOS*	7,3	20,7	13,4
CSE	6,2	25,6	19,4
CDAR	1,7	26,6	24,9
CBV*	8,1	19,8	11,7
FTB	6,2	24,6	18,4
GYR	0,7	25,9	25,2
JAZ*	9	21,8	12,8
KEN	6,8	29,1	22,3
LFR	5,7	23,6	17,9
MOV	7,4	27,1	19,7
PTE	6,3	23,3	17
SCR	4,3	23,1	18,8
SUB	3,2	28	24,8
TUN	2,6	27,2	24,6
USQ	4,7	24,4	19,7
USM*	7,4	22	14,6

* Los valores estimados en estas estaciones son indicativos dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

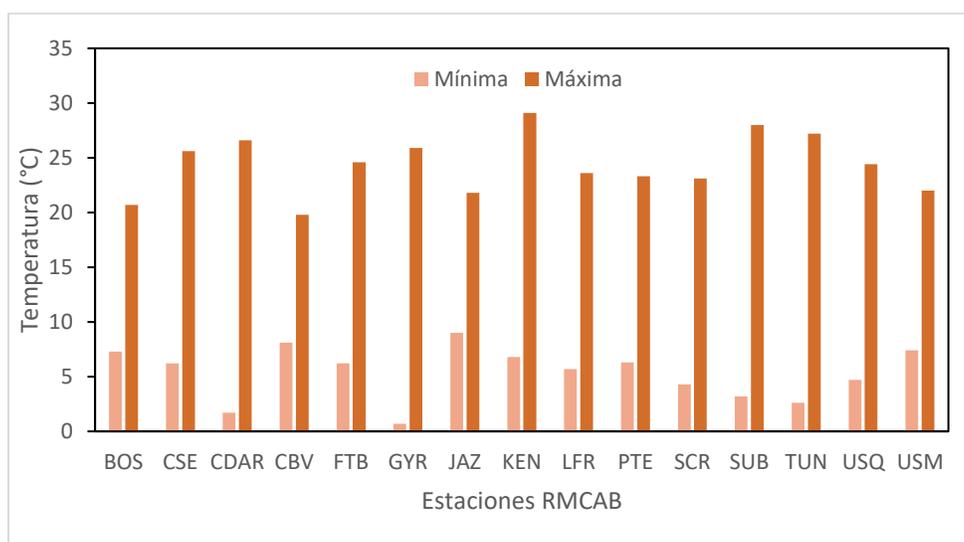


Figura 9-9 Temperaturas extremas absolutas – Año 2020

9.2.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

Los registros de la RMCAB permiten establecer que en 2020 las mayores temperaturas medias superficiales se presentaron entre el flanco occidental, el flanco oriental y el norte de la ciudad con valores de entre 15 °C a 16,2 °C. Mientras que las menores temperaturas se registraron hacia el suroriente, como es frecuente, y a lo largo de una franja central en dirección sur norte donde las temperaturas en promedio oscilan desde 13,9 °C hasta 14,9 °C, como se puede ver en la Figura 9-10.

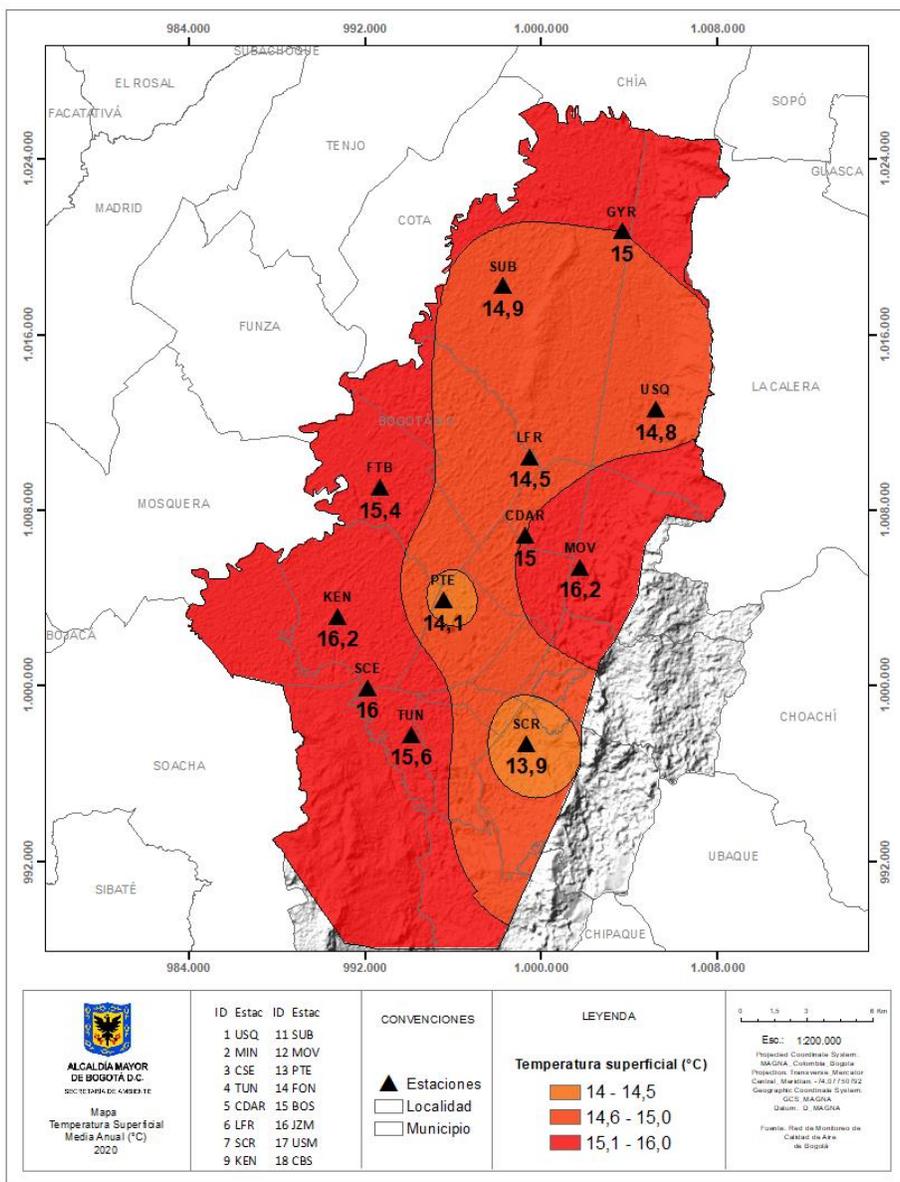


Figura 9-10 Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB – Año 2020

9.2.4. PROMEDIOS HISTORICOS DE TEMPERATURA

En la Tabla 9-8 se presenta el resumen de los registros medios anuales por estación de la RMCAB desde 2000 a 2020. Estos reportes permiten observar que en 2020 la temperatura media superficial mostró un ligero incremento con respecto a 2019, y se estima que ambas temperaturas medias se encuentran alrededor de los 15,1 °C.

Las estaciones Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme, hacen parte de las estaciones recientemente instaladas por la RMCAB, por lo que sus registros son indicativos, debido a que no alcanzaron el porcentaje de representatividad temporal del 75%.

En la Figura 9-11 se muestra cómo ha variado en promedio la temperatura anual de la ciudad de Bogotá desde el año 2000 hasta el 2020. Esta representación es importante porque permite visualizar la evolución de la temperatura del aire en la ciudad de Bogotá, durante las últimas dos décadas. En esta figura se aprecia que en 2020 así como el año anterior las temperaturas medias superficiales superaron las registradas en 2016 calificado como de los años más calientes de la última década. Asimismo, superan las temperaturas medias superficiales registradas en 2005 cuando se presentó uno de los eventos El Niño más fuerte de las últimas dos décadas.

Tabla 9-8 Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2020

Año/Est.	BOS*	CSE	CDAR	CBV*	FTB	GYR	JAZ*	KEN	LFR	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ	USM*	Prom .
2000					13,6				15,6	14,1		10,6				13,5
2001					13,9				16	14,5						14,8
2002					14,1				16	14,6						14,9
2003					14,2					14,7						14,5
2004					13,9					14,5						14,2
2005					14,2				15,9	14,8						15,0
2006		12,2			14,1					14,6		12,6				12,9
2007		11,2			13,9					14,6		13,2				12,7
2008		14,1	13,9		14,1	13,9		13,6	13,3	14		13,7		11,9		13,4
2009		15,4	14,7		14,7	14,4		14,8	14	14,6		12,9	14,6	14,5		14,5
2010		15,5	14,8		14,5	14,8		14,8	14,2	14,6	13,5			15,1		14,5
2011		15	14,5		13,6	14,3		14,4	13,7	14	13,7		13,2	14,4		14,1
2012		15,2	14,6		13,8	14,3		14,5	13,9	13,8	13	14	13,4	14,4		14,1
2013		15,5	14,8		14,1	14,6		14,8	14,2	13,7	13,1	14,3	13	14,8		14,3
2014		15,5	14,8			14,6		14,9	14,2	14	13	14,3	13,1	14,7		14,3
2015		15,8	15,2			14,8		15,3	14,4	14,4	13,4	14,6	13,5			14,6
2016		16	15,4			15,1		15,3	14,7	15	13,7	15	14,4			15,0
2017		15,6	14,9			14,7		15,1	14,3	14,5	13,2	14,6	13,4	13,2		14,4
2018		15,5	14,7			14,5		15,2	14,1	14,2	13,1	14,4	13,4			14,3
2019		15,8	15,1		15,4	14,9		16,6	14,5	14,2	13,4	14,8	15,5	14,7		15,0
2020	14,3	16	15	14,1	15,4	15	15,3	16,2	14,5	14,1	13,9	14,9	15,6	14,8	14,8	15,0
Prom. (°C)		15,0	14,8		14,2	14,6		15,0	14,6	14,4	13,4	13,9	13,9	14,3		13,9

* Los valores estimados en estas estaciones son indicativos dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

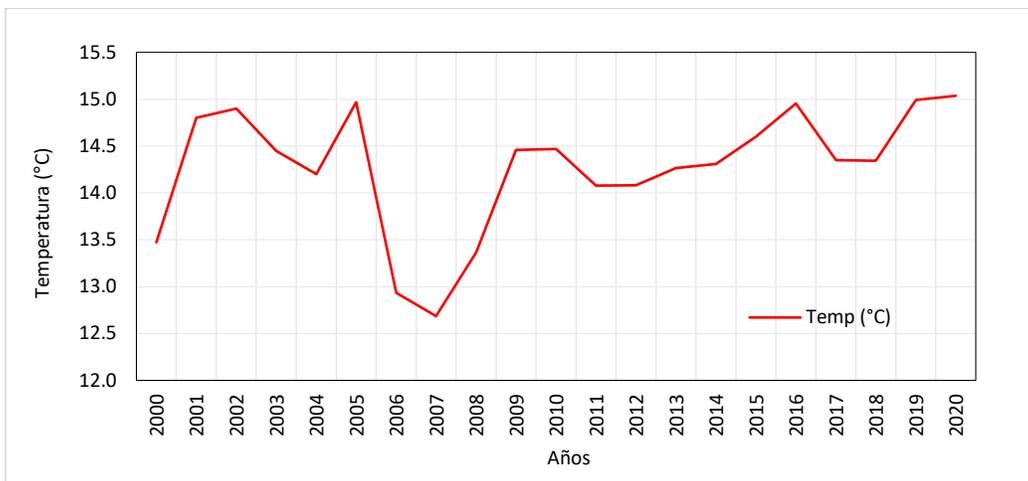


Figura 9-11 Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2020

9.3. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

El viento es el aire en movimiento. Este elemento meteorológico se debe principalmente al calentamiento diferencial que sufre la superficie de la Tierra por parte de la radiación solar, a causa de los movimientos de rotación y de traslación terrestres. Esta radiación, es absorbida por la superficie de la Tierra de manera diferencial en función de sus capacidades de absorción (albedo), y de acuerdo con sus propiedades térmicas, cada superficie absorbe radiación y la transfiere al aire circundante como ondas de calor que son absorbidas de manera eficiente dada sus propiedades diatérmicas, lo que a su vez genera diferencias de presión las cuales propician el movimiento de las masas de aire de zonas con altas presiones hacia las zonas con bajas presiones, dando origen a los vientos.

El viento no sólo tiene magnitud sino también dirección, por lo cual su análisis se realiza desde el punto de vista de la descomposición vectorial, tomando en cuenta sus componentes u y v , los cuales parametrizan el viento en el plano horizontal.

El viento juega un papel muy importante en los procesos de dispersión de contaminantes en la atmósfera de la ciudad, debido a que las partículas se encuentran en suspensión y dependiendo de las condiciones sinópticas y la circulación local de las masas de aire, estas pueden ayudar en mayor o menor medida con los procesos de mezcla y transporte de los contaminantes. Sin embargo, también pueden contribuir de manera desfavorable cuando transportan contaminantes provenientes de fuentes externas, ya sean a nivel local o regional y los introducen a la ciudad cuando su trayectoria está así determinada.

9.3.1. PROMEDIOS ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo con los registros de la RMCAB la velocidad del viento en 2020 presentó un descenso considerable con respecto a la media multianual, principalmente en el segundo semestre del año

donde los vientos entre julio y agosto presentan sus mayores valores, como se puede apreciar en la Figura 9-12.

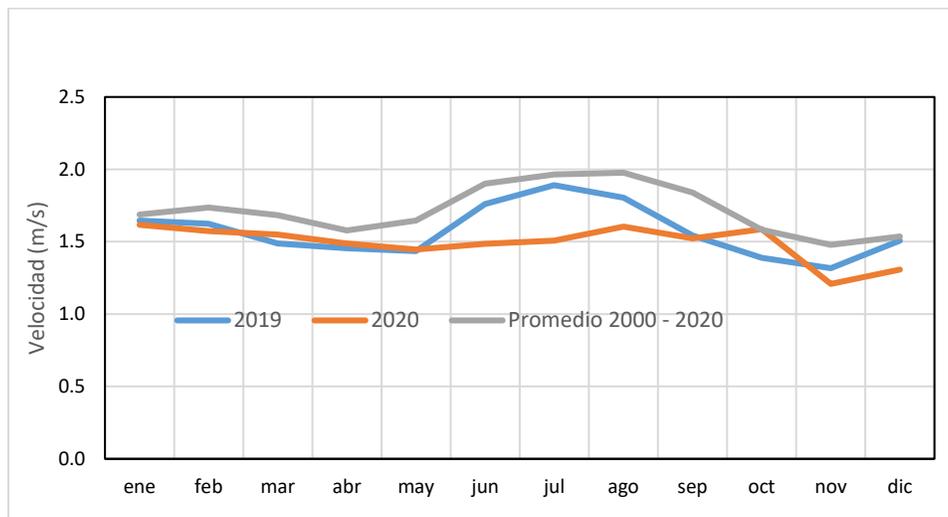


Figura 9-12 Comportamiento mensual de la velocidad del viento (2000 – 2020) Vs. 2019 y 2020.

De otro lado, si se compara el comportamiento de las velocidades del viento por estación entre los años 2000 y 2020 se observa que sólo en las estaciones Tunal, Kennedy, Guaymaral, y Usaquén, se presentaron ligeros incrementos con respecto a la media multianual, como se muestra en la Tabla 9-9 y la Figura 9-13.

Tabla 9-9 Promedio multianual por estación de los años 2000 - 2020

Estación	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MA M	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
2000	0,9	N.A	N.A	N.A	1,7	0,4	1,9	N.A	1,4	N.A	1,2
2001	1,3	N.A	N.A	N.A	1,7	0,5	2,4	N.A	1,4	N.A	1,1
2002	1,2	N.A	0,6	N.A	1,6	0,5	2,4	N.A	1,3	N.A	1,0
2003	2,1	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	2,6	N.A	N.A	N.A	1,2
2004	N.A	0,8	N.A	N.A	N.A	N.A	2,7	N.A	1,6	N.A	N.A
2005	N.A	1,9	N.A	N.A	1,5	N.A	2,8	N.A	N.A	N.A	1,6
2006	N.A	N.A	N.A	1,5	1,4	N.A	2,8	N.A	1,3	N.A	2,4
2007	1,8	1,1	1,1	1,5	1,4	N.A	2,7	N.A	1,5	2,1	1,8
2008	1,9	1,4	1,2	2,3	1,9	N.A	2,7	N.A	0,5	1,3	0,7
2009	2,4	1,7	1,3	2,7	2,1	1,2	2,9	N.A	0,9	1,2	0,9
2010	2,1	1,5	N.A	2,5	1,7	N.A	2,7	1,1	1,0	1,2	1,2
2011	2,1	1,3	0,9	2,4	1,8	N.A	2,7	1,7	1,8	1,1	1,4
2012	2,4	1,4	1,0	2,6	1,9	N.A	2,2	1,8	2,0	1,1	1,6
2013	2,4	1,4	1,0	2,5	1,9	1,8	2,1	2,2	2,0	1,1	1,6
2014	2,4	1,4	1,1	2,6	1,8	1,8	2,1	1,8	1,9	1,0	1,4
2015	2,6	1,5	1,1	2,8	2,0	1,8	2,3	1,2	1,9	1,2	1,7

Estación	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MA M	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
2016	2,0	1,2	0,9	2,4	1,7	1,5	2,1	1,7	1,4	1,2	1,7
2017	2,0	1,2	0,9	2,3	1,6	1,4	1,9	1,6	1,3	1,1	1,6
2018	2,0	1,2	1,0	2,3	1,6	N.A	2,2	1,5	1,4	1,2	1,6
2019	1,6	1,3	1,4	2,4	1,6	1,3	N.A	1,5	1,2	1,4	1,6
2020	1,1	1,2	1,5	2,3	1,8	1,2	1,9	1,6	1,1	1,6	1,5
Prom. 2000 - 2020	1,9	1,3	1,1	2,3	1,7	1,2	2,4	1,6	1,4	1,3	1,4

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo

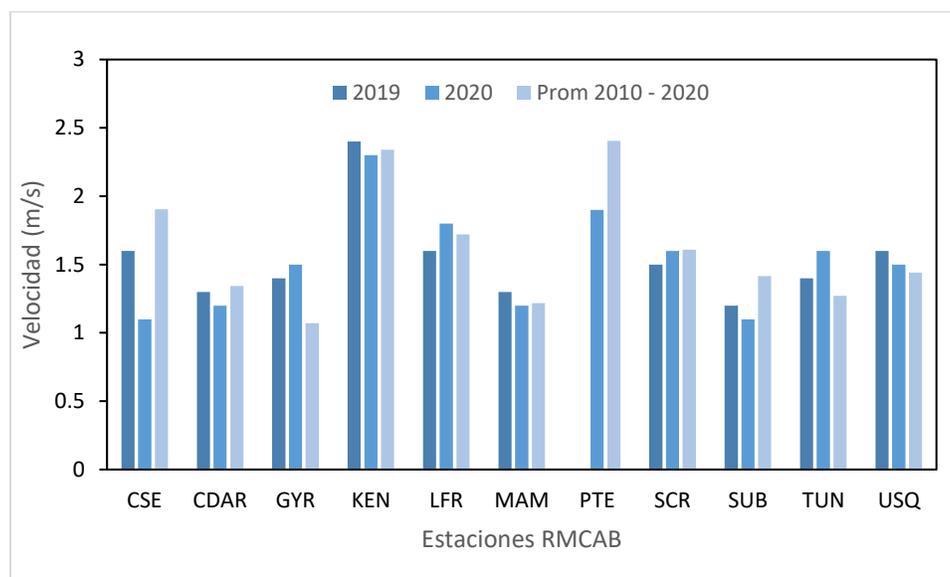


Figura 9-13. Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2019 vs. 2020.

9.3.2. PROMEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

En la Tabla 9-10 se presenta un resumen del comportamiento promedio mensual multianual de los vientos durante las últimas décadas. De acuerdo con los registros de la RMCAB, las velocidades del viento durante el 2020 registraron un fuerte descenso sobre todo durante los meses de noviembre y diciembre, como se muestra en la Figura 9-14. Esta reducción de las velocidades de los vientos durante el mes de noviembre principalmente, frente a los altos acumulados de precipitación, podría sugerir encuentros de masas de aire en la ciudad que redujeron su velocidad forzando su ascenso convectivo y produciendo lluvias abundantes como las que se registraron en gran parte de la ciudad, sobre todo en el segundo semestre de 2020.

Tabla 9-10 Comportamiento de los promedios mensuales multianuales de los vientos en el periodo 2000 - 2020

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2000	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,6	1,3	1,4	1,2	1,3	1,3
2001	1,4	1,7	1,3	1,5	1,3	1,7	1,7	1,9	1,5	1,5	1,3	1,2	1,5
2002	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2	1,4

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2003	1,4	1,4	1,7	1,5	2,1	2,0	2,0	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	1,7
2004	1,9	1,6	1,7	1,3	1,8	2,4	2,0	2,4	1,8	1,4	1,6	1,5	1,8
2005	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,9	2,1	2,2	2,1	1,8	1,4	1,3	1,8
2006	1,6	1,9	1,4	1,3	1,5	1,9	2,1	2,2	2,0	1,4	1,8	2,0	1,8
2007	2,3	2,2	1,8	1,9	1,6	2,0	2,2	1,9	1,9	1,4	1,3	1,2	1,8
2008	1,3	1,9	1,7	1,5	1,6	1,9	1,9	1,7	2,0	1,7	1,5	1,7	1,7
2009	1,5	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	2,1	2,1	2,1	1,8	1,7	1,6	1,8
2010	2,2	2,0	2,0	1,6	1,7	1,7	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,6	1,8
2011	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	2,0	1,6	1,5	1,7	1,8
2012	1,8	1,8	2,0	1,5	1,9	2,2	2,0	2,1	2,1	1,7	1,7	1,7	1,9
2013	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	1,6	1,8	1,9
2014	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9	2,0	2,0	1,9	1,6	1,5	1,5	1,8
2015	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9	1,7	1,5	2,0	1,8
2016	1,7	1,7	1,5	1,4	1,6	1,9	1,9	1,9	1,7	1,5	1,3	1,4	1,6
2017	1,5	1,6	1,4	1,6	1,4	1,5	1,9	1,7	1,7	1,5	1,3	1,5	1,5
2018	1,5	1,6	1,5	1,2	1,3	1,8	1,9	2,1	1,8	1,5	1,4	1,7	1,6
2019	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	2,0	2,1	2,1	1,8	1,6	1,6	1,7	1,5
2020	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6	1,2	1,3	1,5
Prom. 2000 - 2020	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,9	2,0	2,0	1,8	1,6	1,5	1,6	1,7

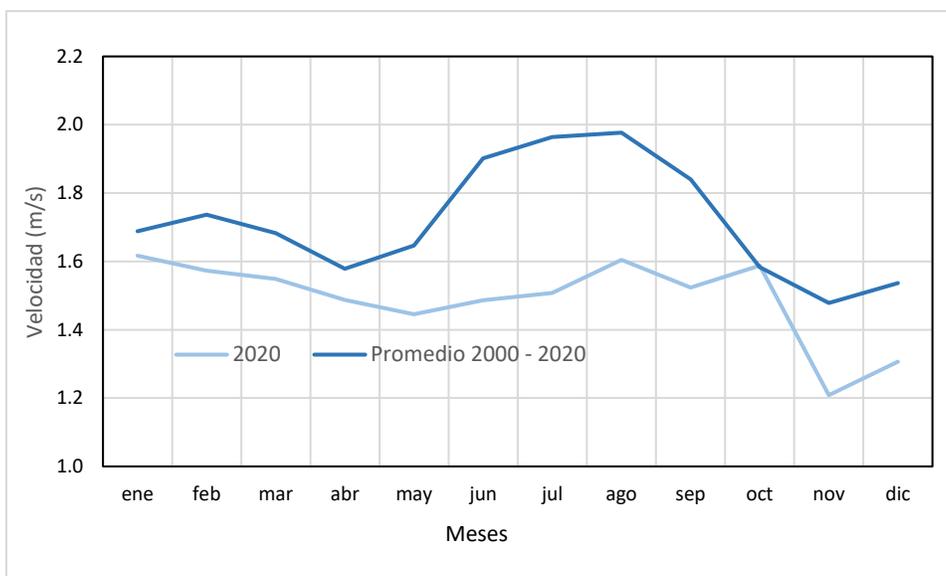


Figura 9-14. Comportamiento de la velocidad media mensual en 2020 vs. promedio mensual multianual 2000 - 2020

Como información adicional se presenta en la Figura 9-15 los valores medios máximos y mínimos absolutos registrados durante el año 2020, por cada una de las estaciones de la RMCAB. De esta figura se sustrae que para el período del estudio las máximas velocidades absolutas de manera semejante al año anterior se registraron hacia los sectores de MinAmbiente, Las Ferias, Puente Aranda y Kennedy. Estas velocidades máximas probablemente ocurrieron en horas de la tarde cuando mayor cantidad de energía se ha acumulado en la atmosfera, favoreciendo la limpieza de la

ciudad como se observa en la Figura 9-17, toda vez que tienen la capacidad de mezclar y transportar los contaminantes que son descargados a la atmósfera local ya sea por fuentes puntuales dentro del distrito, vecinas, o incluso regionales como se ha evidenciado en los episodios de emergencia que se han presentado por quemas y/o incendios a nivel continental.

Es importante resaltar que los valores presentados de las estaciones Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme, son indicativos toda vez que no cumplen con la representatividad temporal del 75% y se presentan con el ánimo de dar a conocer la existencia de las nuevas estaciones que la RMCAB ha implementado para mejorar la resolución de la información meteorológica que se registran en la ciudad.

De acuerdo con estos registros hacia el sector de Bosa se observa que el viento alcanza velocidades relativamente mayores a las registradas en las estaciones Kennedy y Puente Aranda y confirman que hacia ese sector de la ciudad se presentan las mayores velocidades con una fuerte componente suroccidental. En la estación Ciudad Bolívar, por encontrarse en una cota superior al nivel medio de la sabana (aproximadamente 100 m por encima), es consistente que las velocidades del viento sean mayores que al nivel de la sabana de Bogotá. Asimismo, la estación Usme permite de manera preliminar, confirmar las bajas velocidades que se presentan hacia el suroriente de la ciudad. No obstante, se debe aclarar que estos valores no describen de manera concluyente el comportamiento de la velocidad de los vientos en dichos sectores, teniendo en consideración la temporalidad por debajo del 75%.

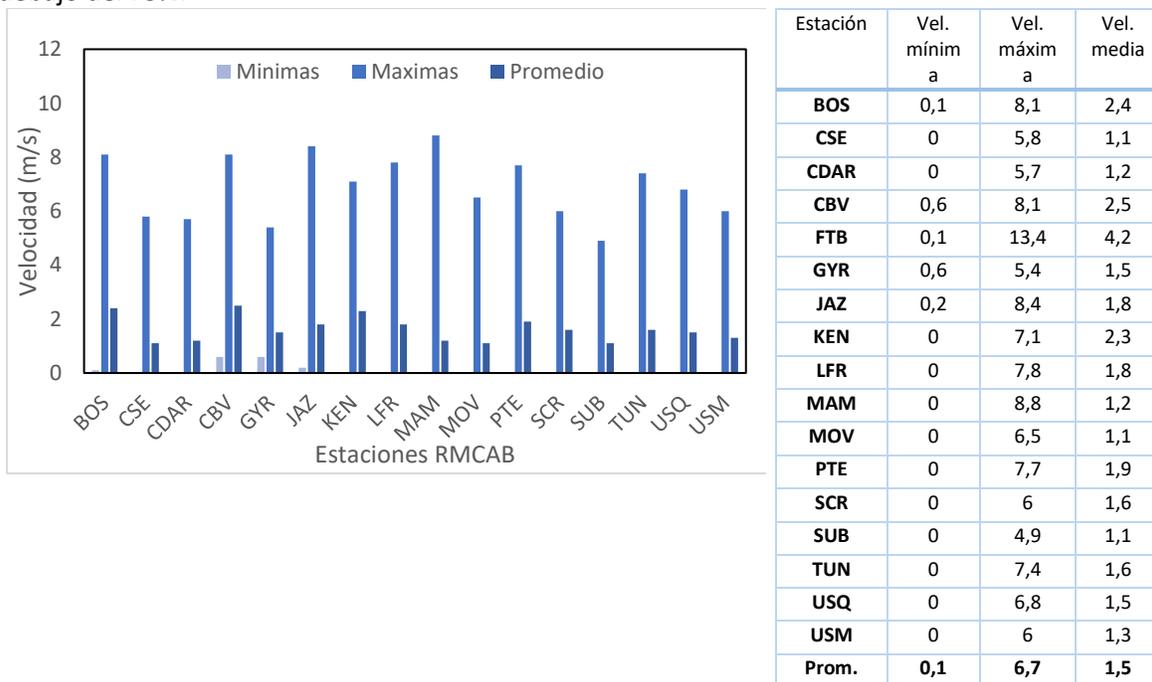
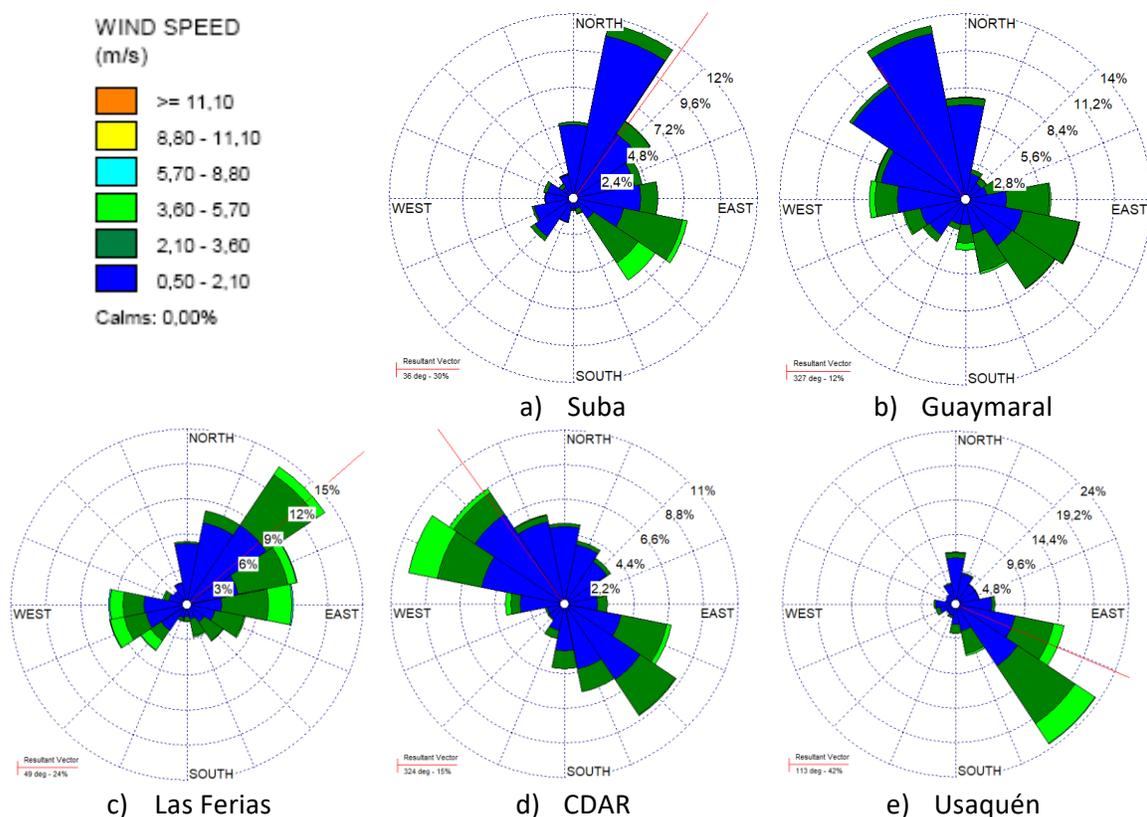


Figura 9-15 Velocidades medias, máximas y mínimas del viento – Año 2020

En la Figura 9-16 se presentan las rosas de los vientos anuales de acuerdo con los registros de la RMCAB durante el año 2020, para las estaciones que cumplieron con el criterio de representatividad

temporal del 75%. Si bien dicha ilustración representa una instantánea del ciclo anual de la velocidad y dirección del viento, esta ofrece información complementaria acerca de las direcciones predominantes en la ciudad durante todo el año, su frecuencia y magnitud. En el sector de Carvajal-Sevillana donde se registran las mayores concentraciones de contaminantes de la ciudad se presentaron velocidades de entre 0,5 y 5,7 m/s con predominio de vientos del suroriente en un 23% del tiempo, aunque son más frecuentes las velocidades bajas de entre 0,5 y 2,1 m/s los vientos del suroriente son los que en últimas contribuyen con la limpieza de la ciudad ejercida por la fuerza del viento, aunado a la convección térmica que se puede presentar en el sector, dada la cantidad de energía que se recibe. Semejante a los años anteriores se destaca la rosa de vientos de la estación de Puente Aranda donde se presentaron velocidades de entre 5,7 m/s y 8,8 m/s predominantemente del suroriente en un 12% y del occidente en un 15% del año. Velocidades de tal magnitud y poca frecuencia son proclives a presentarse durante las horas del día debido a la acumulación de mayor cantidad de energía (Ver además el mapa del campo del viento presentado en la Figura 9-18).



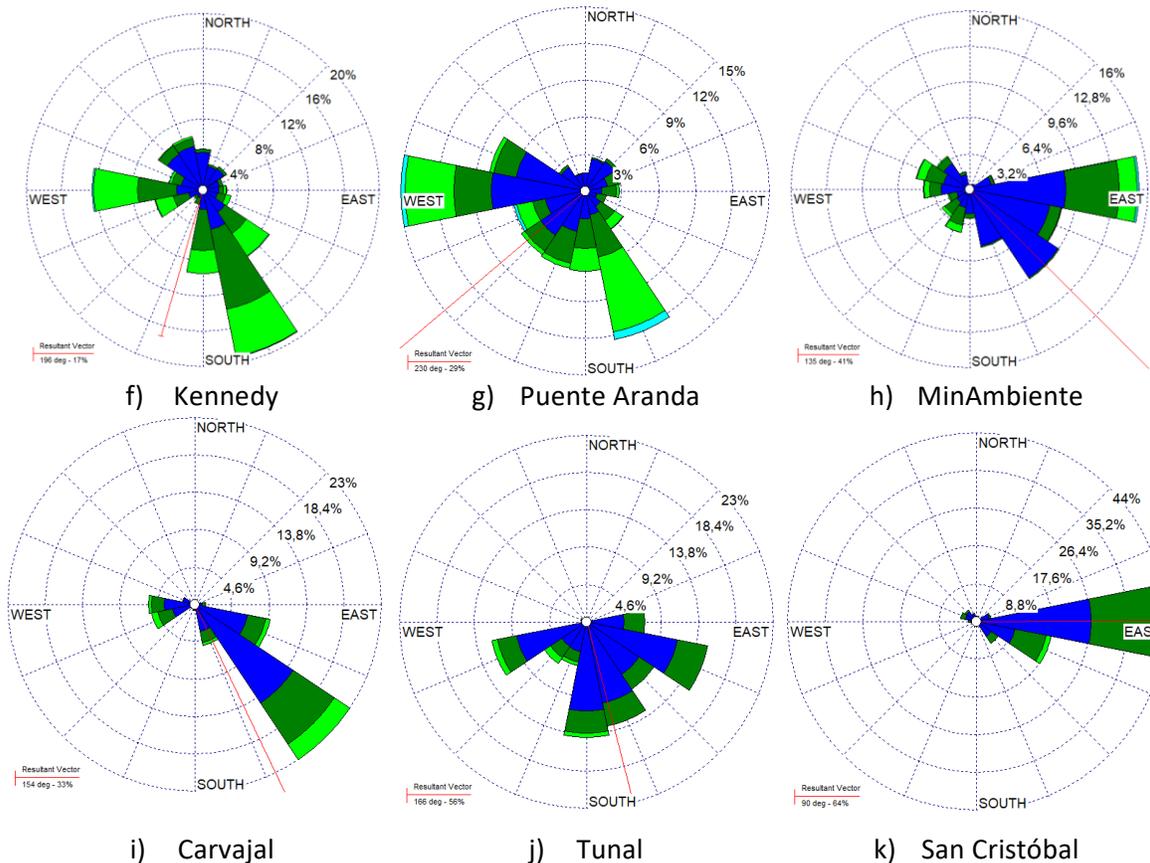


Figura 9-16 Rosas de viento consolidadas por estación – Año 2020

9.3.3. PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

Teniendo en cuenta que la magnitud de la velocidad de los vientos depende del ciclo diurno del sol, es importante conocer su comportamiento en diferentes horas del día tanto en velocidad como en dirección a fin de hallar patrones durante el día que podrían determinar la forma en que los contaminantes son dispersados. De acuerdo con los registros de la RMCAB en 2020, el comportamiento de los vientos promedio durante el día se presenta en Tabla 9-11. En esta se resume tanto la velocidad como la dirección, en diferentes fracciones de un día normal, esto con el propósito de identificar patrones de comportamiento en diferentes momentos del día, dada la cantidad diferente de radiación solar que se recibe. Así las cosas, se dividió el día en cuatro fracciones a saber: madrugada, mañana, tarde y noche. La dirección calculada a partir de los registros anuales de la red es un promedio vectorial, por consiguiente, es la resultante de todos los vientos registrados en cada fracción del día.

De la Tabla 9-11 es deducible que en 2020 las mayores velocidades del viento se presentaron en horas de la mañana y la tarde como es natural que ocurra, en tanto que las velocidades más bajas se registraron en la madrugada y en la noche. En cuanto a las direcciones, estas se pueden apreciar con mayor detalle en la Figura 9-17.

Tabla 9-11 Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día

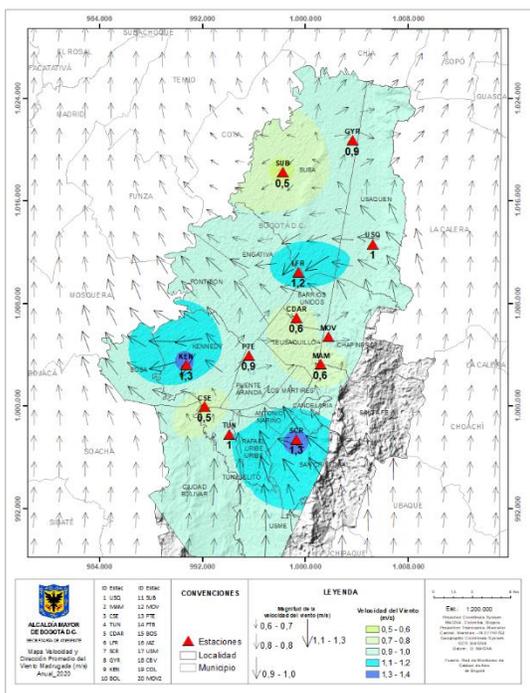
Estación	Velocidad promedio del viento (m/s)				Dirección promedio del viento (°)			
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche
GYR	0,9	1,7	2,4	1,1	329	8	167	297
CDAR	0,6	1,2	2,2	0,9	329	1	222	329
CSE	0,5	1,1	2,1	0,8	150	132	190	164
KEN	1,3	2,1	3,7	2,1	24	109	216	211
LFR	1,2	1,7	2,7	1,5	18	52	162	33
MAM	0,6	1,1	2,1	1,0	139	142	170	121
MOV	0,9	1,0	1,3	1,2	329	1	222	329
PTE	0,9	1,7	3,4	1,7	274	198	210	233
SCR	1,3	1,3	2,1	1,6	89	72	83	91
SUB	0,5	1,3	1,7	0,6	15	37	146	16
TUN	1,0	1,6	2,4	1,3	164	165	170	165
USQ	1,0	1,4	2,1	1,6	83	107	147	111

En la Figura 9-17 se presentan los mapas que permiten observar el comportamiento promedio de cada fracción del día durante el año. Las fracciones consideradas fueron así: de las 0 horas hasta las 6 a.m. se consideró como madrugada; de las 6 a.m. a las 12 m., se consideró como mañana; de las 12 m. a las 6 p.m., tarde; y de las 6 p.m. hasta las 12 p.m. o 0 horas, como noche. De acuerdo con esto, el comportamiento de los vientos en las diferentes fracciones del día, durante el año 2020, fueron como a continuación se describe:

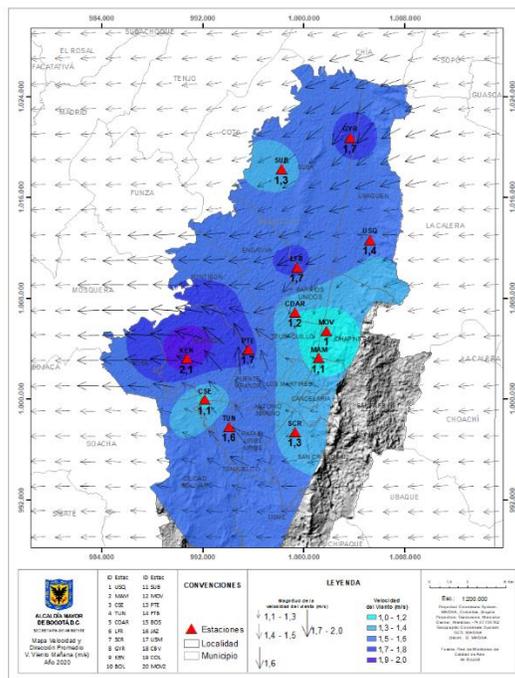
En las **madrugadas** hubo predominio de vientos del sur en el sur de la ciudad, vientos del suroriente bordeando los cerros orientales para continuar hacia el norte e incluso con flujo divergente atravesando toda la ciudad en dirección noroccidente que pudieron colisionar con los vientos del sur y del suroccidente. De acuerdo con las estimaciones de las descomposiciones vectoriales en las **mañanas** hubo mayor predominio de vientos del oriente en toda la ciudad; vientos que por su trayectoria y velocidad debieron haber contribuido a la remoción de contaminantes residuales del día anterior. En las horas de la **tarde** el cálculo de la descomposición vectorial permite deducir que durante el año 2020 los vientos prevalecieron principalmente del sur y del suroriente; estos son los vientos que mayormente pueden contribuir con la limpieza de la ciudad por su magnitud, capacidad de mezcla y transporte. En las horas de la **noche** el comportamiento fue semejante al de las horas de la madrugada con una variación en el flujo de los vientos del sur los cuales adoptaron una componente suroccidente.

Es importante aclarar que estas condiciones estáticas descritas anteriormente, pueden presentar variaciones durante el año; no obstante, en promedio la ciudad se ve favorecida por la influencia de los vientos alisios los cuales diariamente ejercen limpieza aerodinámica a través de los vientos predominantes del oriente. Como podrá observarse, en diferentes momentos del día los alisios pueden presentar variaciones en su dirección; estas pueden obedecer a la posición relativa del sol durante el año haciendo que predominen los vientos alisios del suroriente o los del nororiente. Aunado a lo anterior, se puede presentar la influencia de sistemas de escala sinóptica como huracanes.

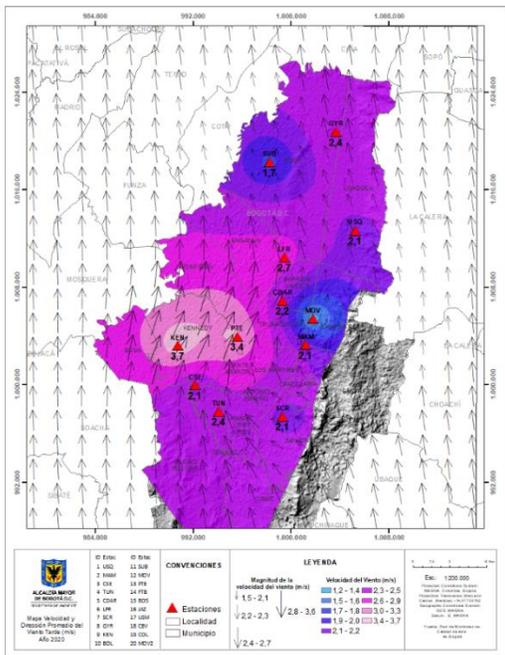
En otras circunstancias que no se hacen evidentes en los mapas representados, se tiene fuerte influencia de los vientos de escala local tales como las Brisas de Valle que como ya se mencionó anteriormente ascienden por el cañón del Magdalena e ingresan a la ciudad desde el suroccidente, los cuales, cuando vienen cargados de humedad y las condiciones de estabilidad son propicias, favorecen la ocurrencia de fuertes eventos de lluvia. Sin embargo, también pueden ser desfavorables para la calidad del aire de la ciudad, toda vez que pueden transportar contaminantes de fuentes externas ya sea a nivel local o regional, e introducirlos a la misma, incrementando las concentraciones de contaminantes, principalmente material particulado.



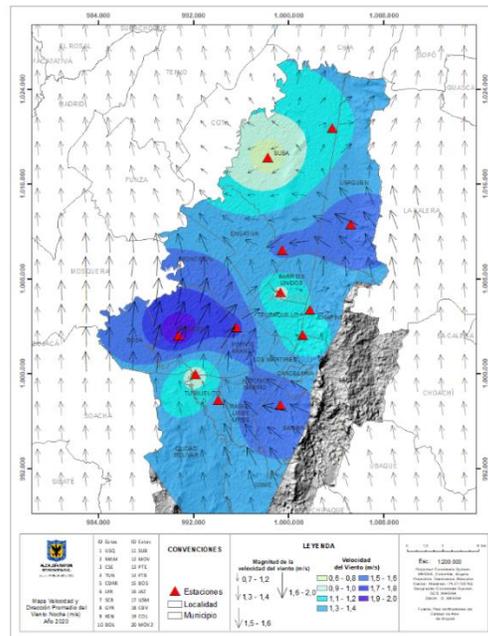
a) Madrugada



b) Mañana



c) Tarde



d) Noche

Figura 9-17 Comportamiento del viento promedio en diferentes fracciones de un día del año: a) Madrugada, b) Mañana c) Tarde y d) Noche – Año 2020

9.3.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VIENTO

Como complemento a la información que podrían aportar las rosas de los vientos se presenta el mapa de la Figura 9-18, donde se puede confirmar que las mayores velocidades de los vientos se presentaron hacia el flanco occidental de la ciudad con predominio de vientos del oriente cuya magnitud fluctuó entre 1,8 a 2,3 m/s, en el flanco centro oriente y noroccidente con velocidades relativamente bajas de entre 1,1 m/s a 1,2 m/s y en el resto de la ciudad con velocidades entre 1,3 y 1,6 m/s.

También se observa la ocurrencia del patrón de flujo base de los vientos alisos en la ciudad los cuales se caracterizan por presentar mayores velocidades hacia el sector suroccidental con un predominio de la componente sur y suroccidental; vientos del suroriente con velocidades más bajas que el suroccidente pero persistentes, responsables de la depuración aerodinámica de la ciudad durante la mayor parte del año, y vientos débiles en los extremos norte y sur de la misma, que tienden a confluir en el centro geográfico de la ciudad para continuar su trayectoria hacia el noroccidente, limpiando la ciudad.

Este patrón presenta sus variaciones, pero persiste durante gran parte del año, ayudando con la remoción de la carga contaminante emitida a la atmósfera local por las actividades antrópicas en la ciudad y/o las que son introducidas desde fuentes externas al distrito ya sea de los municipios vecinos o de influencia regional, como se muestra en la Figura 9-18.

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

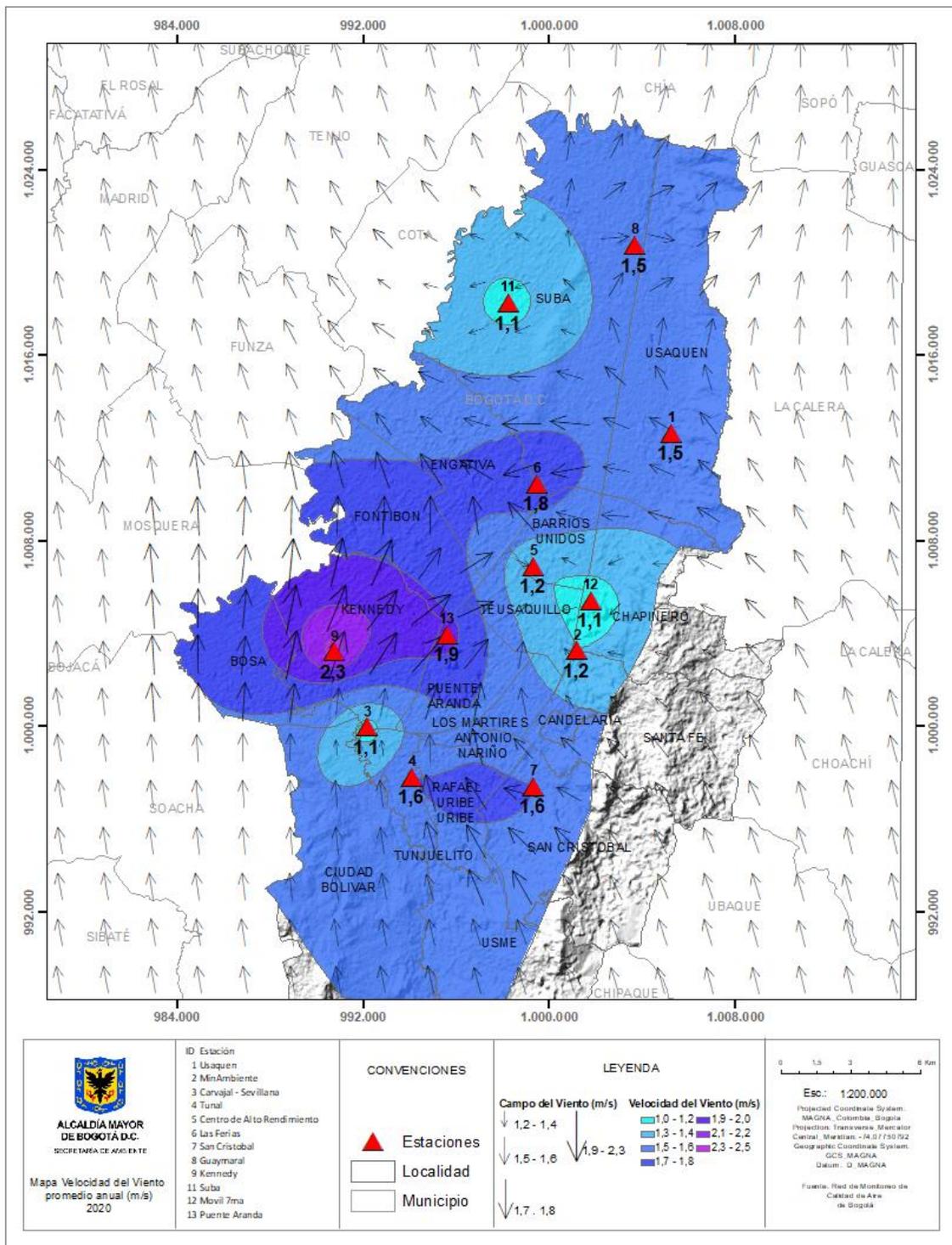


Figura 9-18 Mapa de dirección y velocidad promedio del viento – Año 2020

9.3.5. PROMEDIOS HISTORICOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

La

Tabla 9-12 resume los promedios anuales de velocidad del viento desde el año 2000 hasta el 2020. De esta tabla se puede deducir que las velocidades del viento en 2020 no presentaron variaciones importantes frente a los máximos valores medios anuales registrados entre 2004 y 2007 y que se mantienen velocidades bajas semejantes a los últimos cuatro años. Ver Figura 9-19.

Como se indicó anteriormente, en la Tabla 9-12 se presenta el valor promedio anual registrado en las estaciones nuevas como indicativo, debido a que no cumplieron con el criterio de representatividad temporal.

Tabla 9-12 Comportamiento histórico de la velocidad del viento de acuerdo con los registros de la RMCAB entre 2000-2020.

Estación	BOS	CSE	CDAR	CBV	FTB	GYR	JAZ	KEN	LFR	MAM	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ	USM	Prom.
2000		0,9			2,4				1,7	0,4	1,9		1,4		1,2		1,3
2001		1,3			2,8				1,7	0,5	2,4		1,4		1,1		1,4
2002		1,2			2,8	0,6			1,6	0,5	2,4		1,3		1		1,3
2003		2,1			2,8						2,6				1,2		1,9
2004			0,8		2,7						2,7		1,6				2,1
2005			1,9		2,8				1,5		2,8				1,6		2,2
2006					2,9			1,5	1,4		2,8		1,3		2,4		2,1
2007		1,8	1,1		3,4	1,1		1,5	1,4		2,7		1,5	2,1	1,8		1,9
2008		1,9	1,4		2,7	1,2		2,3	1,9		2,7		0,5	1,3	0,7		1,8
2009		2,4	1,7		3	1,3		2,7	2,1	1,2	2,9		0,9	1,2	0,9		1,8
2010		2,1	1,5		2,8			2,5	1,7		2,7	1,1	1	1,2	1,2		1,8
2011		2,1	1,3		2,9	0,9		2,4	1,8		2,7	1,7	1,8	1,1	1,4		1,8
2012		2,4	1,4		3	1		2,6	1,9		2,2	1,8	2	1,1	1,6		1,9
2013		2,4	1,4		3	1		2,5	1,9	1,8	2,1	2,2	2	1,1	1,6		1,9
2014		2,4	1,4			1,1		2,6	1,8	1,8	2,1	1,8	1,9	1	1,4		1,8
2015		2,6	1,5			1,1		2,8	2	1,8	2,3	1,2	1,9	1,2	1,7		1,8
2016		2	1,2			0,9		2,4	1,7	1,5	2,1	1,7	1,4	1,2	1,7		1,6
2017		2	1,2			0,9		2,3	1,6	1,4	1,9	1,6	1,3	1,1	1,6		1,5
2018		2	1,2			1		2,3	1,6		2,2	1,5	1,4	1,2	1,6		1,6
2019		1,6	1,3			1,4		2,4	1,6	1,3		1,5	1,2	1,4	1,6		1,5
2020	2,4	1,1	1,2	2,5	4,2	1,5	1,8	2,3	1,8	1,2	1,9	1,6	1,1	1,6	1,5	1,3	1,8
Prom.		2	1,4		2,9	1		2,3	1,7	1,2	2,4	1,6	1,4	1,2	1,4		1,6

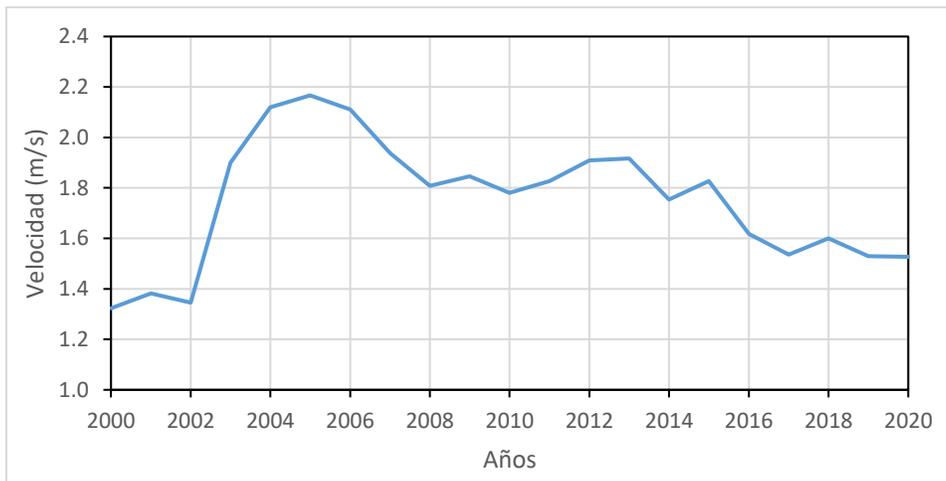


Figura 9-19 Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en Bogotá de 2000 a 2020

9.4. RADIACION SOLAR

El Sol es la fuente principal de energía para la mayor parte de los procesos que ocurren en la Tierra. De acuerdo con (OMM - Guía N° 8 Edición 2010.pdf, s. f.) los diversos flujos de radiación recibidos y emitidos por la superficie terrestre son algunas de las variables más importantes de la economía térmica de la Tierra en su totalidad, y de cualquier punto de su superficie o de la atmósfera. Las mediciones de la radiación se emplean, entre otras para:

- Estudiar las transformaciones de la energía en el sistema Tierra-atmósfera, así como sus variaciones en el tiempo y en el espacio.
- Analizar las propiedades y distribución de los componentes de la atmósfera, como los aerosoles, el vapor de agua y el ozono.

La radiación solar es de máxima importancia para la vida sobre la Tierra. Los distintos flujos de radiación, hacia y desde la superficie de la Tierra, permiten deducir el balance de calor de la Tierra en su totalidad, y de cualquier lugar particular sobre el globo. El conocimiento de la radiación solar es de gran valor para estudiar las variaciones de las variables meteorológicas que se encuentran directamente influenciadas por la misma, tales como, la temperatura del aire, la velocidad del viento y su influencia en las concentraciones de gases contaminantes como el ozono.

9.4.1. PROMEDIOS ANUALES DE RADIACIÓN SOLAR

De acuerdo con los registros de la RMCAB, en 2020 la ciudad de Bogotá acumuló en promedio aproximadamente 1.5 GW/m². Energía que fue acumulada de manera diferente durante el ciclo anual, en virtud de todas las transformaciones que se dan a partir de este flujo. La mayor cantidad de energía en orden de magnitud se recibió durante los tres primeros meses del año superando ampliamente la cantidad de energía recibida en 2019 y el promedio multianual de 2009 a 2020. Comparado con el año anterior, el total acumulado fue inferior, como se observa en la Figura 9-20.

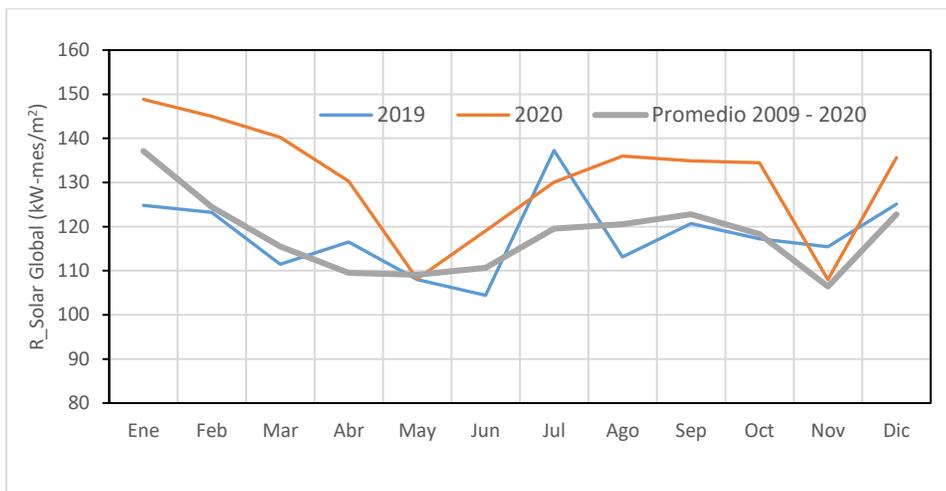


Figura 9-20. Comportamiento mensual de la radiación solar en 2020 vs. 2019

9.4.2. PROMEDIOS DIARIOS DE RADIACIÓN SOLAR

En la Tabla 9-13 se resume el perfil medio horario anual de la cantidad de energía recibida en cada una de las estaciones de la RMCAB. En esta se puede observar que en promedio las estaciones que mayor cantidad de energía acumularon durante el día fueron San Cristóbal, Tunal y Guaymaral como se puede apreciar en la Figura 9-21. Como es normal y de acuerdo con el ciclo de radiación solar, el sistema Tierra-atmósfera y las particularidades locales, la hora en la cual se acumula mayor cantidad de energía de la ciudad de Bogotá se encuentra entre las 11 a.m. y la 1 p.m. En tanto que, en las horas de la madrugada y la noche esta cantidad de energía tienden a cero.

A modo indicativo también se presentan los resultados del acumulado promedio horario anual de las estaciones Bosa, Usme y Jazmín registrados parcialmente en 2020 con una representatividad temporal de alrededor del 25%.

Tabla 9-13 Cantidad de energía recibida durante el día por cada una de las estaciones – Año 2020

Hora	CDAR	GYR	KEN	MOV	SCR	TUN	BOS	USM	JAZ	Prom.
	W-hr/m²									
1:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
2:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
3:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
4:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
5:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
6:00	1	4	0	1	10	15	7	2	2	5
7:00	50	50	43	31	49	58	56	45	53	47
8:00	185	223	186	124	184	180	190	180	188	180
9:00	333	425	363	290	399	335	341	330	339	358
10:00	446	571	496	434	602	464	442	448	459	502
11:00	504	641	559	503	757	563	496	498	537	588
12:00	510	646	571	508	793	609	538	512	553	606

Hora	CDAR	GYR	KEN	MOV	SCR	TUN	BOS	USM	JAZ	Prom.
	W-hr/m ²									
13:00	489	591	570	458	712	607	546	480	528	571
14:00	426	538	517	394	603	556	463	447	441	506
15:00	360	429	441	318	523	478	371	369	347	425
16:00	258	315	302	204	391	352	273	241	233	304
17:00	151	172	160	103	199	204	138	119	113	165
18:00	41	48	37	27	69	67	27	16	20	48
19:00	0	3	0	0	12	12	0	0	0	5
20:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
21:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
22:00	0	3	0	0	10	12	0	0	0	4
23:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
24:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
Total	3757	4685	4246	3394	5385	4616	3886	3687	3812	

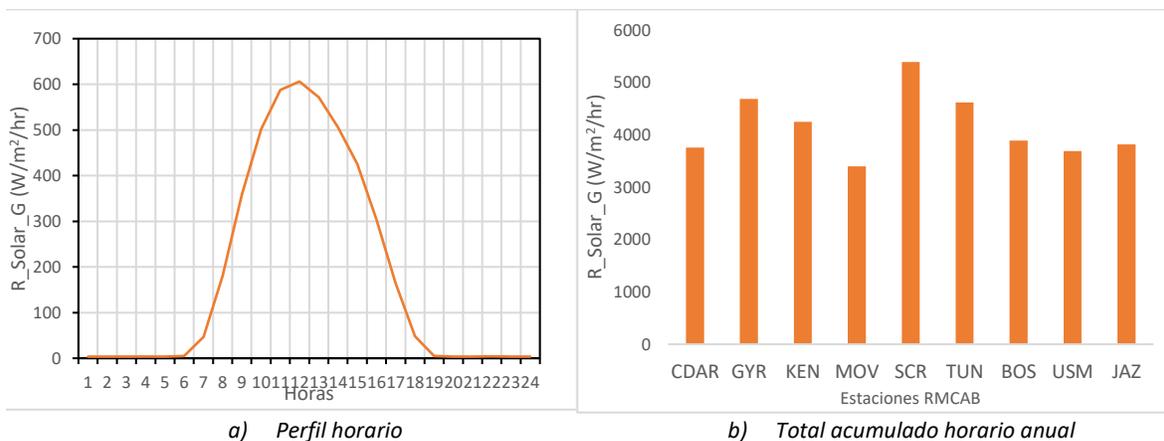


Figura 9-21 Cantidad de radiación solar recibida en promedio día – Año 2020

9.4.3. PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR

En relación con los totales mensuales de radiación durante 2020, en la Tabla 9-14 se presenta un resumen de los acumulados por cada estación de la RMCAB. Asimismo, en la Figura 9-22 se detallan las variaciones mensuales durante el año. En esta figura se observa que los meses con mayores acumulados fueron enero, febrero y marzo, siendo el primer mes del año el que registro el mayor acumulado de radiación solar. Este comportamiento está asociado con la presencia o ausencia de nubosidad en la bóveda celeste que cubre la ciudad de Bogotá. Así pues, en ausencia de vapor de agua la posibilidad de formación de nubes se reduce y viceversa, lo cual está estrechamente relacionado con el ciclo anual de la zona de confluencia intertropical.

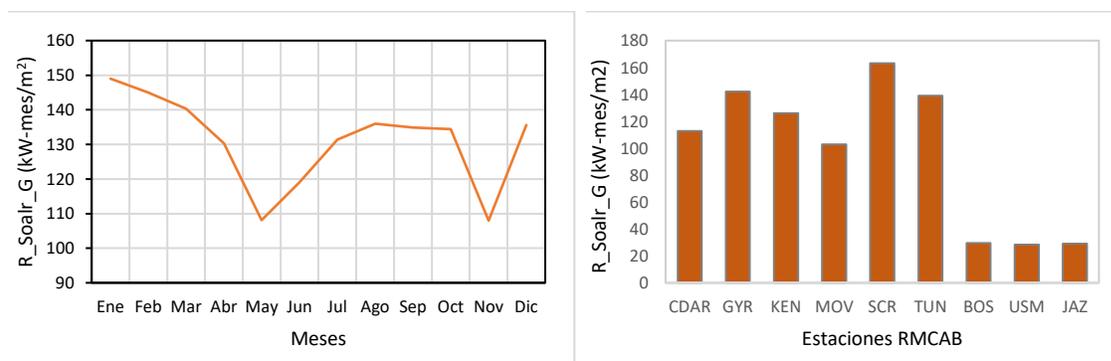
Los registros de las estaciones nuevas se presentan a modo indicativo en la Tabla 9-14 donde se puede apreciar que a partir de octubre de 2020 se tienen reportes de datos de radiación solar global

en las estaciones Bosa, Usme y Jazmín. Cabe aclarar, que los valores indicativos no fueron contabilizados en el cálculo del promedio de los valores mensuales ni por estación.

Tabla 9-14 Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m²) – Año 2020

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
CDAR	131,8	127,4	127,1	112,8	94,1	89,2	112,1	119,5	115,5	109,9	95,1	118,8	112,8
GYR	170,2	160,3	167,5	135,1	116,7	123,1	125,7	133,6	143,5	141,6	130,0	158,8	142,2
KEN	148,4	145,0	110,2	132,8	107,7	111,5	116,5	132,8	131,3	137,2	110,2	129,1	126,0
MOV	102,8	95,5	93,2	87,8	78,2	89,6	124,6	128,2	119,1	108,5	87,5	119,2	102,9
SCR	177,4	181,6	184,1	172,7	131,7	155,9	167,7	160,7	169,7	173,5	120,6	162,9	163,2
TUN	163,4	160,3	159,5	140,5	120,4	145,2	141,7	141,3	130,1	135,9	104,5	124,6	138,9
BOS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	124,7	107,6	123,3	
USM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	123,9	92,7	122,6	
JAZ	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	131,0	96,9	121,8	
Prom.	149	145,03	140,26	130,29	108,13	119,07	131,4	136,02	134,88	134,44	107,99	135,59	149

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo



a) Comportamiento medio mensual

b) Acumulado por estación

Figura 9-22 Comportamiento mensual de la radiación en 2020 a) promedio mensual; b) totales mensuales acumulados.

9.4.4. PROMEDIOS HISTÓRICOS DE RADIACIÓN SOLAR

Del mismo modo que en el ciclo mensual se resume en la Tabla 9-15 el comportamiento multianual de los totales acumulados en Bogotá entre 2009 y 2020, y de manera gráfica en la Figura 9-23 su distribución anual, y los totales anuales acumulados por cada una de las estaciones de la RMCAB. De acuerdo con la figura referida, en 2020 las cantidades de radiación solar dejan entrever aumentos por encima de las cantidades acumuladas en los años 2015 – 2018.

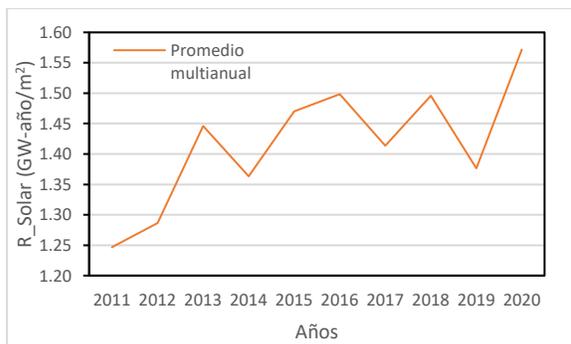
También se presentan como indicativos los totales anuales de radiación solar acumulados en las estaciones Bosa, Usme y Jazmín durante 2020.

Tabla 9-15 Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m² periodo 2009 - 2020

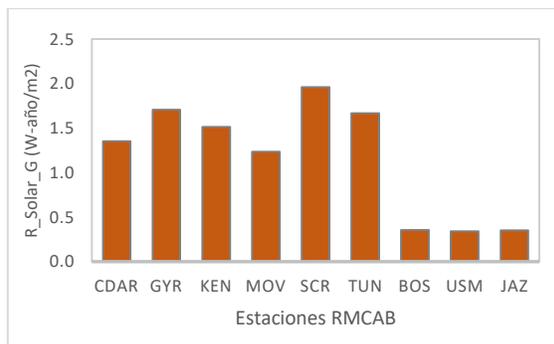
ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Prom.
CDAR	1,48	1,29	1,34	1,47	1,47	1,41	1,52	1,54	1,35	1,28	1,19	1,35	1,42

GYR	1,63	NA	NA	1,58	1,55	1,51	1,49	1,68	1,64	1,41	1,34	1,71	1,58
KEN	NA	1,26	1,06	1,30	1,38	1,44	1,52	1,33	1,46	NA	0,80	1,51	1,36
MOV	NA	NA	NA	1,14	1,44	0,97	1,05	1,10	1,01	1,55	1,55	1,23	1,12
SCR	NA	NA	NA	0,83	NA	1,48	1,86	1,87	1,74	1,82	1,82	1,96	1,63
TUN	NA	1,21	1,34	1,40	1,39	1,37	1,38	1,47	1,28	1,42	1,56	1,67	1,40
BOS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,36	
USM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,34	
JAZ	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,35	
PROM.	NA	1,26	1,25	1,29	1,45	1,36	1,47	1,50	1,41	1,50	1,38	1,57	1,42

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo



a) Comportamiento medio mensual



b) Acumulado anual por estación

Figura 9-23 Comportamiento anual de la radiación- Año 2020

9.5. PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión atmosférica es la fuerza ejercida por la atmósfera gaseosa de la Tierra, en virtud de su peso, sobre la superficie terrestre. Esta presión es igual al peso de una columna vertical de aire de sección transversal unitaria, que actúa por arriba de la superficie de la Tierra, extendiéndose hasta los límites exteriores de la atmósfera.

La importancia del conocimiento de las condiciones de presión radica en que es un factor determinante, no solamente para la ocurrencia de las lluvias, sino, para la dispersión de contaminantes en la atmósfera, toda vez que cuando el aire está frío, éste desciende, haciendo aumentar la presión y en consecuencia la estabilidad de la atmósfera. De manera contraria, cuando el aire está caliente, asciende, provocando un descenso en la presión y por consiguiente la atmósfera se hace inestable.

La presión atmosférica, en un lugar determinado, varía continuamente de manera regular e irregular. Las variaciones irregulares se deben principalmente a la presencia de sistemas meteorológicos cuyo desarrollo, fortalecimiento, debilitamiento o ubicación pueden originar esos cambios de presión.

9.5.1. PROMEDIOS ANUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión es la variable relativamente homogénea en el espacio, su variación está asociada al calentamiento del aire por parte del flujo radiativo solar, el cual determina su variabilidad durante el día.

En 2020 el comportamiento de la presión atmosférica mostró una reducción con respecto al promedio mensual multianual durante la mayor parte del año, salvo los meses de febrero, abril y mayo donde registró un valor idéntico al del año anterior. Ahora bien, comparado con el año anterior se observa que las mayores presiones durante 2020 se registraron en el mes de mayo. Este comportamiento puede explicar las razones por las cuales las lluvias durante el mes de mayo fueron escasas, comparadas con el comportamiento histórico y con el segundo semestre de 2020, como se puede observar en la Figura 9-24 y la Tabla 9-16.

Tabla 9-16 Comportamiento de la presión media mensual de 2010 - 2020

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2010	564,3	564,2	564,5	564,8	565,0	565,4	565,1	565,1	564,7	564,6	563,8	563,6	564,6
2011	563,5	564,0	564,0	564,3	564,4	564,8	564,6	565,1	565,1	564,1	563,8	563,6	564,3
2012	563,8	563,6	563,9	564,3	564,5	565,0	564,7	565,1	565,3	564,2	564,1	563,9	564,4
2013	564,3	563,9	564,5	564,6	565,0	564,8	565,1	564,7	564,7	564,4	563,2	563,6	564,4
2014	563,5	563,3	563,8	564,1	564,3	564,4	564,8	564,2	563,9	563,6	563,3	563,8	563,9
2015	563,9	563,5	563,5	563,6	564,0	564,2	564,2	564,0	564,0	564,0	563,1	563,7	563,8
2016	563,8	563,5	564,2	563,8	564,5	564,7	564,3	564,3	564,3	563,3	563,1	563,2	563,9
2017	563,4	563,5	563,5	563,7	564,1	564,1	564,5	564,1	564,0	563,4	562,8	563,1	563,7
2018	562,9	563,1	563,1	563,8	563,9	564,1	563,8	564,7	563,7	563,6	563,4	563,5	563,6
2019	563,6	563,3	563,5	563,7	563,7	564,8	564,7	564,4	564,1	563,2	562,7	562,9	563,7
2020	563,6	563,6	563,5	564,1	564,3	564,0	563,6	563,7	563,6	563,3	563,1	562,9	563,6
PROM. 2010 - 2020	563,7	563,6	563,8	564,1	564,3	564,6	564,5	564,5	564,4	563,8	563,4	563,5	564,0

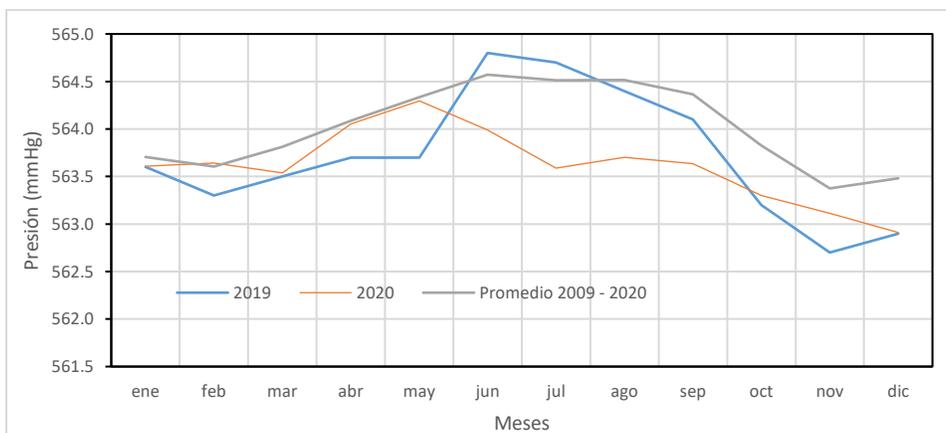


Figura 9-24. Comportamiento mensual de la presión en 2019 y 2020 frente al promedio mensual multianual 2009-2020

9.5.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

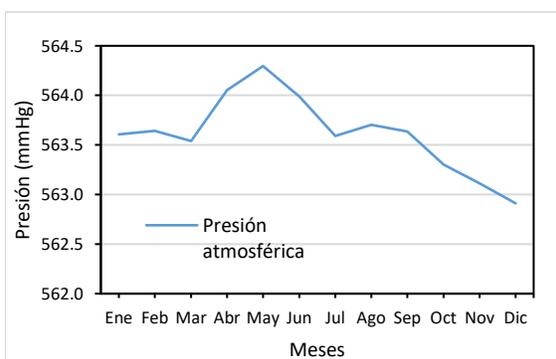
A continuación, se describe el comportamiento medio mensual de 2020, con base en los registros de presión de la RMCAB y se resume en la Tabla 9-17. Asimismo, en la Figura 9-25 se representa gráficamente su variación mensual y por estación.

Como es consistente con el ciclo de la radiación solar, en los meses de noviembre y diciembre se presentaron las más bajas presiones con una media mensual a nivel ciudad de 563 mmHg, lo cual se correlaciona con las abundantes lluvias ocurridas durante el mes de noviembre de 2020, que superaron los 460 mm.

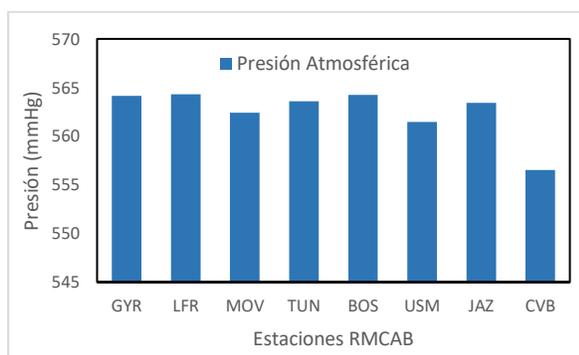
Tabla 9-17. Comportamiento promedio mensual de la presión por estación de la RMCAB en 2020

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
TUN	563,6	563,6	563,5	564,1	564,3	564,0	563,6	563,7	563,6	563,2	563,0	562,8	563,6
LFR	564,3	564,3	564,2	564,7	565,0	564,6	564,3	564,4	564,3	564,0	563,9	563,6	564,3
GYR	564,2	564,2	564,1	564,6	564,8	564,5	564,1	564,2	564,2	563,9	563,6	563,5	564,2
MOV	562,4	562,4	562,3	562,9	563,1	562,8	562,4	562,5	562,4	562,1	561,9	561,7	562,4
BOS	N.A	564,4	564,3	564,1	564,2								
USM	N.A	561,7	561,4	561,3	561,5								
JAZ	N.A	563,5	563,4	563,3	563,4								
CBV	N.A	556,6	556,6	556,4	556,5								
Promedio	563,6	563,6	563,5	564,1	564,3	564,0	563,6	563,7	563,6	563,3	563,1	562,9	562,9

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo



a) Promedio mensual ciudad



b) Promedio por estación durante el 2020

Figura 9-25. Comportamiento medio mensual de la presión atmosférica – Año 2020.

9.5.3. PROMEDIOS DIARIOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Tal como se mencionó anteriormente la presión atmosférica tiene variaciones regulares e irregulares. Las variaciones regulares tienen distintos períodos, siendo la más importante la que tiene un período natural y propio de aproximadamente 12 horas, que recibe el nombre de variación semi-diurna de la presión. (FOPAE, 2001).

Como se puede observar en la Tabla 9-18 y la Figura 9-26, la presión en la ciudad de Bogotá varía regularmente entre las 10 de la mañana y las 10 de la noche aproximadamente, de allí la razón por la cual se considera que su variación es semi-diurna. En cada período de 12 horas se tienen dos máximos y dos mínimos. El máximo más alto ocurre a las 10 de la mañana y el mínimo más bajo ocurre a las cuatro de la tarde, con una amplitud de la presión de alrededor de 2,4 mmHg, lo cual está asociado al calentamiento del aire por acumulación de energía durante el día y por consiguiente al descenso de la presión, lo que su vez favorece la dispersión de los contaminantes, porque la atmósfera se hace inestable y se propician los fenómenos de turbulencia mecánica y la turbulencia convectiva, que son los mecanismos principales de la atmósfera para mezclar y transportar los contaminantes que se encuentran en la capa límite planetaria.

En cuanto al comportamiento espacial de la presión, de acuerdo con los registros de la RMCAB, las presiones más bajas, en promedio día durante el año, se localizaron hacia el flanco oriental y sur de la ciudad representados por las estaciones Móvil 7ma y Tunal, mientras que las más altas se presentaron en el sector norte de la ciudad, representadas por las estaciones Las Ferias y Guaymaral.

A modo indicativo se incluyen los valores promedio horario y diarios de los últimos tres meses del año, durante los cuales se registró la presión barométrica en las estaciones Bosa, Usme, Jazmín y Ciudad Bolívar, recientemente instaladas.

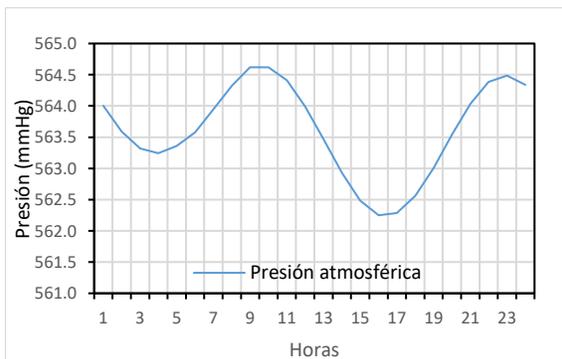
De los valores de presión barométrica registrados a diciembre de 2020 en las cuatro estaciones se evidencia que en Ciudad Bolívar se registran las menores presiones de la ciudad, lo cual es consistente con la altitud (altura con respecto al nivel medio del mar) a la cual se encuentra la misma. En cuanto a las estaciones Bosa, Usme y Jazmín sus promedios son coherentes con los valores históricos registrados en las antiguas estaciones de la RMCAB.

Cabe aclarar que los promedios horarios calculados a nivel ciudad no incluyen los registros de las nuevas estaciones dado que estas no cumplen con el criterio de representatividad temporal del 75%.

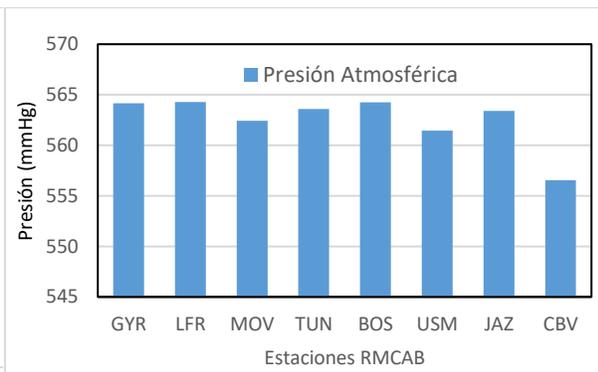
Tabla 9-18. Variación de la presión horaria por cada estación de la RMCAB – Año 2020

Hora	GYR	LFR	MOV	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Prom. Ciudad (mmHg)
	mmHg								
1:00	564,5	564,7	562,8	564,0	564,5	561,8	563,7	556,8	563,9
2:00	564,2	564,3	562,4	563,6	564,2	561,4	563,3	556,4	563,6
3:00	563,9	564,0	562,1	563,3	563,8	561,2	563,1	556,1	563,3
4:00	563,8	564,0	562,0	563,2	563,8	561,1	563,0	556,1	563,2
5:00	563,9	564,1	562,1	563,3	563,9	561,3	563,2	556,2	563,2
6:00	564,1	564,3	562,3	563,6	564,3	561,6	563,5	556,5	563,5
7:00	564,5	564,6	562,7	563,9	564,7	561,9	563,9	556,9	563,9
8:00	564,9	565,0	563,1	564,3	565,2	562,3	564,3	557,4	564,2
9:00	565,2	565,3	563,4	564,6	565,4	562,6	564,6	557,7	564,5

Hora	GYR	LFR	MOV	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Prom. Ciudad (mmHg)
	mmHg								
10:00	565,2	565,3	563,4	564,6	565,4	562,6	564,6	557,6	564,6
11:00	565,0	565,1	563,2	564,4	565,1	562,3	564,3	557,5	564,4
12:00	564,5	564,7	562,8	564,0	564,7	561,8	563,8	556,9	564,0
13:00	564,0	564,1	562,3	563,5	564,1	561,2	563,2	556,4	563,5
14:00	563,4	563,6	561,8	562,9	563,5	560,6	562,6	555,7	563,0
15:00	563,0	563,2	561,3	562,5	563,0	560,1	562,1	555,4	562,4
16:00	562,7	562,9	561,1	562,2	562,8	559,9	561,9	555,0	562,2
17:00	562,8	563,0	561,1	562,2	562,9	559,9	562,0	555,2	562,2
18:00	563,1	563,2	561,4	562,5	563,1	560,4	562,3	555,5	562,5
19:00	563,5	563,7	561,8	563,0	563,6	560,8	562,8	555,9	563,0
20:00	564,1	564,2	562,3	563,5	564,2	561,5	563,4	556,5	563,5
21:00	564,6	564,7	562,8	564,0	564,7	561,9	563,9	557,0	564,0
22:00	564,9	565,1	563,2	564,4	565,0	562,3	564,2	557,3	564,3
23:00	565,0	565,2	563,3	564,5	565,1	562,3	564,2	557,3	564,4
24:00	564,9	565,0	563,1	564,3	564,9	562,2	564,1	557,2	564,3
Promedio	564,2	564,3	562,4	563,6	564,2	561,5	563,4	556,5	563,6



a) Ciclo semi diurno de la presión



b) Promedio horario anual por estación

Figura 9-26. Comportamiento del ciclo semi-diurno de la presión atmosférica – Año 2020

9.5.4. PROMEDIOS ANUALES HISTÓRICOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En 2020 el promedio anual de presión prácticamente fue igual que los dos años anteriores, como se puede observar en la Figura 9-27.

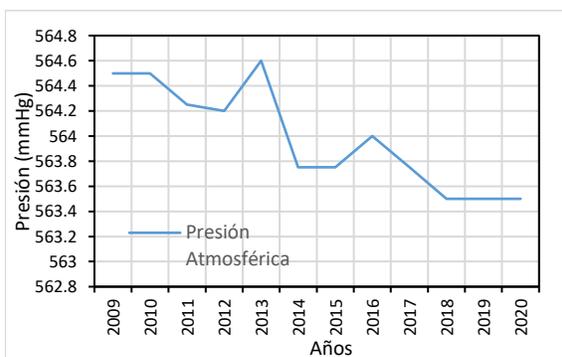
En cuanto al comportamiento espacial en la ciudad, entre 2010 y 2013 la estación Fontibón registró los mayores valores de presión y del 2014 en adelante las estaciones Kennedy, Guaymaral, Móvil 7ma y Las Ferias presentaron los mayores valores. Así las cosas, se estima que los niveles de presión en la ciudad entre 2000 y 2020 han variado entre los 563 mmHg y los 565 mmHg.

Como se dijo anteriormente, pese a los escasos registros de presión atmosférica de las estaciones Bosa, Usme y Jazmín, durante el año 2020, estas registran valores medios de presión semejantes a las estaciones antiguas. La estación Ciudad Bolívar por las razones expuestas anteriormente en cuanto a su altitud, reporta presiones atmosféricas cercanas a los 557 mmHg que se presentan aproximadamente por encima de los 100 m con respecto al nivel medio de la sabana de Bogotá. No obstante, se aclara que estos datos son de tipo indicativo porque su representatividad temporal no alcanzó el 75%.

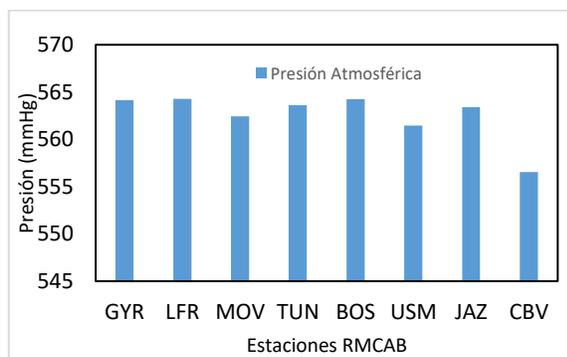
Tabla 9-19 Comportamiento multianual de la presión atmosférica en la ciudad de Bogotá 2009 - 2020

Estación	MOV	FTB	GYR	KEN	LFR	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Promedio
2009	N.A	N.A	564	N.A	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	564,5
2010	N.A	565	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	564,6
2011	N.A	565	564	564	564	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	564,3
2012	564	565	564	564	564	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	564,4
2013	564	566	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	564,6
2014	562	N.A	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	563,8
2015	562	N.A	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	563,9
2016	563	N.A	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	563,9
2017	562	N.A	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	563,8
2018	562	N.A	564	564	564	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	563,5
2019	562	N.A	564	N.A	564	564	N.A	N.A	N.A	N.A	563,3
2020	562	N.A	564	N.A	564	564	564	561	563	557	563,5
Promedio	562,6	565,2	564	564	564,6	564					564,2

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo



a) Promedio multianual



b) Promedio multianual por estación

Figura 9-27 Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2020

9.6. HUMEDAD

Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad.

La humedad del aire juega un papel importante en los procesos de reducción o transformación de sustancias contaminantes del aire. Su rol se sustenta en el hecho de que puede contribuir con la decantación o deposición de material particulado o en su defecto, reaccionar con gases derivados de la combustión de hidrocarburos, tales como los Óxidos de azufre (SOx) y Óxidos de Nitrógeno (NOx), los cuales se condensan y pueden precipitar en forma de rocío, llovizna o lluvia ácida.

9.6.1. PROMEDIOS ANUALES DE HUMEDAD

Asociado al ciclo anual de la zona de confluencia intertropical se encuentran las cantidades de vapor de agua en la ciudad de Bogotá. Cuando este sistema productor de lluvias se encuentra en su posición más austral (al sur del hemisferio sur), ocurre una disminución en la cantidad de vapor de agua en la ciudad, mientras que conforme ocurre su ascenso relativo se da un primer incremento en la proporción de vapor de agua alcanzando su máximo durante los meses de abril y mayo, y una consecuente disminución durante la mitad del año cuando alcanza su posición más septentrional (al norte del hemisferio norte). En su viaje de retorno, o de descenso relativo, se da un nuevo incremento en las cantidades de vapor de agua, que alcanza su máximo entre los meses de octubre y noviembre. Por lo anterior, como se observa en Figura 9-28 la atmósfera presentó condiciones relativamente secas en los dos primeros meses, sobre todo durante el mes de febrero, comparado con el promedio multianual de la humedad. Sin embargo, en los meses de abril y mayo la humedad no alcanzó los promedios históricos, lo que a su vez explica los bajos niveles de precipitación registrados por la RMCAB para este primer periodo de lluvias. Contrariamente, en los meses considerados como secos tales como julio y agosto el contenido de humedad en el aire fue mayor que el promedio histórico. A diferencia del primer periodo de lluvias, en el segundo sí se presentaron altos valores de humedad los cuales se asocian con las bajas presiones y las cantidades de lluvia precipitadas durante este periodo.

Tabla 9-20 Comportamiento de la humedad mensual multianual 2010 - 2020

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	60,5	64,4	65,3	73,1	72,5	69,9	70,7	67,1	69,3	68,8	73,7	69,8
2011	65,9	67,7	68,6	70,6	68,0	65,3	65,1	62,4	63,5	69,6	72,7	67,4
2012	66,2	64,2	65,1	68,7	64,1	60,3	63,3	63,6	60,0	64,0	65,1	64,0
2013	62,0	67,1	64,9	65,8	68,0	62,6	61,7	63,6	62,7	64,3	69,0	67,8
2014	65,9	62,6	63,9	62,1	63,9	64,4	62,1	61,7	60,5	65,3	66,6	65,2
2015	60,9	62,1	64,7	62,6	62,0	63,9	61,9	60,7	57,6	59,9	64,5	58,1
2016	61,1	59,0	61,8	66,8	65,0	61,6	61,4	60,7	61,7	64,1	68,8	64,5
2017	63,5	60,2	68,7	62,1	66,5	66,5	64,2	61,9	61,0	63,8	68,9	65,2
2018	63,9	63,8	63,9	70,0	68,7	65,4	64,9	63,2	63,9	67,9	70,1	60,7
2019	62,5	63,2	66,6	67,7	65,7	64,6	59,7	60,0	61,3	63,6	66,4	63,6
2020	62,5	60,8	64,9	64,6	65,8	65,2	65,6	63,5	64,0	63,0	71,2	65,5

Promedio	63,2	63,4	65,3	66,9	66,4	64,4	63,5	62,5	62,1	65,1	68,6	64,6
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

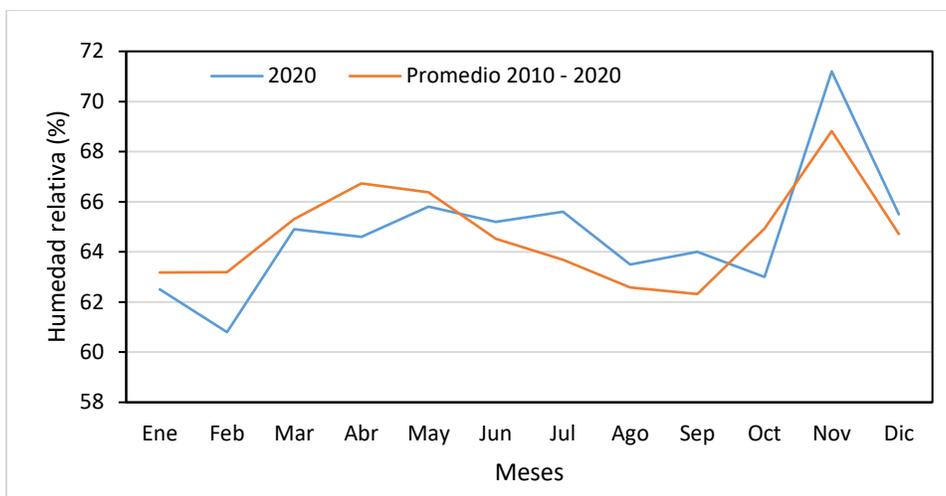


Figura 9-28 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2020 vs. Promedio mensual multianual 2010-2020

9.6.2. PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD

De acuerdo con los registros de la RMCAB, en 2020 los meses más húmedos fueron abril y noviembre como es usual que ocurra, y los más secos enero y julio.

Espacialmente, los sectores de la ciudad donde mayores cantidades de humedad se registraron fueron San Cristóbal, Guaymaral, Centro de Alto rendimiento y Fontibón.

A modo indicativo se presentan los registros de humedad de los últimos tres meses de 2020 en las estaciones Bosa, Usme, Jazmín y Ciudad Bolívar. Estos registros permitirán conocer con mayor detalle las proporciones de humedad en lugares de la ciudad, que no estaban identificados. De los registros indicativos se observan valores de humedad no registrados con antelación hacia el sector de Bosa, los cuales se irán confirmando conforme se posea una serie de datos más robusta. Esto también aplica para las otras estaciones nuevas.

Tabla 9-21. Comportamiento mensual de la humedad por estación – Año 2020

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
CDAR	65,3	65,1	68,8	67,4	67,1	67,2	67,5	65,7	67,0	65,9	73,4	68,3	67,4
FTB	65,7	63,3	67,9	67,0	67,4	67,6	68,0	65,8	66,4	64,9	73,7	68,7	67,2
GYR	66,0	65,6	66,9	68,0	69,1	68,8	68,3	67,1	68,2	66,8	72,8	68,0	68,0
KEN	57,5	54,7	61,7	63,2	63,2	62,6	63,6	61,6	61,7	61,0	69,2	64,9	62,1
LFR	60,8	59,0	62,6	62,5	63,3	62,9	63,0	60,9	62,0	60,5	68,9	63,7	62,5
MOV	56,1	55,0	59,4	58,1	59,7	58,7	58,8	56,3	57,2	56,9	65,8	57,8	58,3
SCR	68,9	65,9	69,8	69,4	72,5	71,0	72,0	69,2	68,5	67,2	77,3	69,2	70,1
TUN	59,6	58,1	62,0	61,6	64,2	62,5	63,3	61,2	61,2	60,7	68,8	63,4	62,2
BOS	N.A	77,6	88,6	84,8	83,7								
USM	N.A	69,4	80,6	71,1	73,7								

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
JAZ	N.A	67,7	81,2	73,7	74,2								
CBV	N.A	74,8	84,2	76,3	78,4								
Promedio	62,5	60,8	64,9	64,6	65,8	65,2	65,6	63,5	64,0	63,0	71,2	65,5	64,7

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo

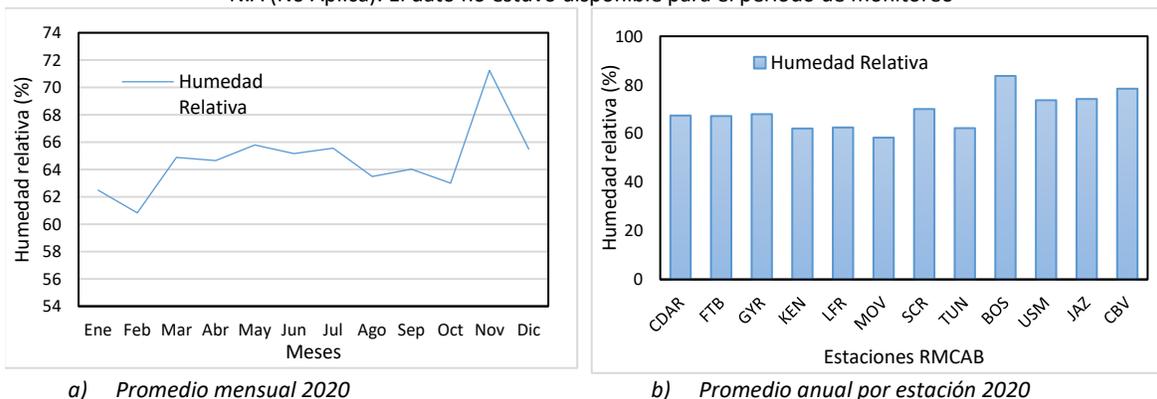


Figura 9-29 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2020: a) promedio ciudad; b) promedio por estación

9.6.3. PROMEDIOS DIARIOS DE HUMEDAD

Respecto al comportamiento diario de la humedad a lo largo del año, dada su relación inversa con la temperatura, en las horas de la madrugada y la noche es normal que la atmósfera se sature por el descenso de la temperatura, alcanzando el pico más alto de humedad conforme ocurre el pico más bajo de temperatura, es decir, entre las cinco y las seis de la madrugada. De manera contraria, conforme el aire se calienta se hace más seca y la humedad relativa disminuye como se puede apreciar en la Tabla 9-22 y Figura 9-28 a).

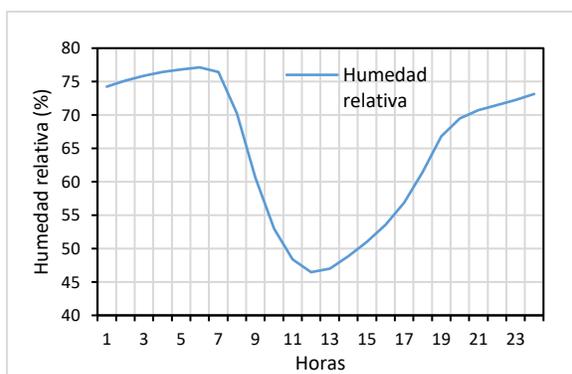
Complementariamente se presentan los registros horarios de humedad relativa de las estaciones Bosa, Usme, Jazmín y Ciudad Bolívar, que tienen una representatividad temporal de entre el 21% al 25% de datos razón por la cual sus datos son indicativos. Por tanto, es pertinente aclarar que estos valores no se incluyen dentro de los promedios horarios ni por estaciones.

En cuanto a la distribución espacial de la humedad, la estación San Cristóbal fue la que, en promedio, registró mayores cantidades de humedad durante el año 2020.

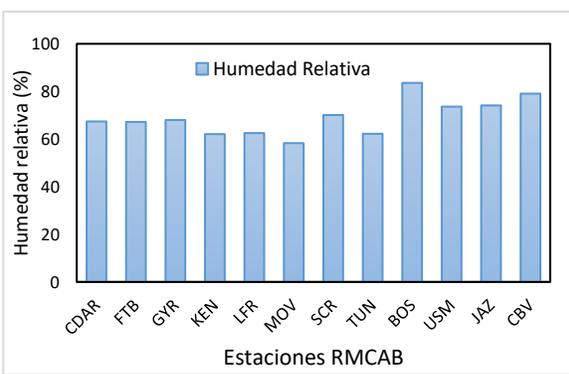
Tabla 9-22. Variación de la humedad horaria y por estaciones de la RMCAB - 2020

Hora	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MOV	SCR	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Promedio
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
1:00	79,2	77,1	79,9	70,2	71,8	64,9	78,4	72,3	92,7	84,1	83,4	87,1	74,2
2:00	80,1	78,3	80,7	71,1	72,8	65,9	79,5	72,8	93,5	84,2	84,7	88,1	75,1
3:00	81,1	79,3	81,4	71,7	73,5	66,7	80,2	73,0	93,5	84,4	85,4	88,9	75,8
4:00	81,9	80,0	81,8	72,3	74,0	67,4	80,6	73,5	93,5	84,8	86,1	88,9	76,4
5:00	82,2	80,5	82,2	72,8	74,3	67,8	80,9	73,9	94,2	84,7	86,6	87,9	76,8

Hora	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MOV	SCR	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Promedio
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
6:00	82,5	80,8	82,5	73,2	74,5	68,0	81,3	74,2	94,8	84,5	86,9	88,4	77,1
7:00	81,4	79,3	82,8	73,5	72,6	67,7	80,4	73,8	93,2	82,8	84,5	86,5	76,4
8:00	72,1	72,0	78,3	69,0	65,5	64,7	74,5	65,9	85,3	75,9	77,3	80,3	70,2
9:00	59,4	62,5	65,6	58,9	57,1	57,6	66,8	57,0	74,4	69,5	70,0	73,4	60,6
10:00	51,3	54,4	56,1	50,3	51,0	49,7	60,5	50,5	65,1	62,2	61,5	65,6	53,0
11:00	47,4	49,1	50,7	45,2	47,1	44,9	56,3	46,3	61,5	57,2	55,6	60,5	48,4
12:00	45,9	47,5	47,5	44,5	45,0	43,0	54,0	44,3	65,3	54,7	53,5	61,2	46,5
13:00	46,6	49,3	46,4	46,5	45,0	43,1	53,9	45,0	68,8	54,8	55,0	64,6	47,0
14:00	49,2	51,7	47,4	48,5	47,3	45,1	55,4	46,3	73,1	55,8	58,4	68,1	48,9
15:00	51,4	54,3	50,1	50,4	49,6	47,1	57,3	48,0	75,4	58,5	61,3	70,1	51,0
16:00	54,5	56,8	52,7	52,4	52,9	49,8	59,8	49,7	77,9	61,7	64,2	73,4	53,6
17:00	58,1	59,9	56,1	55,3	56,2	53,3	63,0	52,8	80,6	66,3	69,2	76,7	56,8
18:00	63,3	64,4	61,4	59,5	60,5	56,9	67,6	57,9	86,4	73,7	73,8	81,4	61,4
19:00	70,0	69,1	68,2	64,5	65,1	60,6	72,4	64,7	89,2	78,6	78,4	84,1	66,8
20:00	73,3	71,3	72,4	66,8	67,4	62,1	74,2	68,3	88,8	80,2	79,9	84,0	69,5
21:00	75,2	72,3	74,7	67,7	68,3	62,6	75,1	69,6	88,4	81,3	79,6	84,1	70,7
22:00	76,3	73,1	76,2	68,1	68,9	62,9	75,9	70,3	89,4	81,9	80,4	83,6	71,5
23:00	77,0	74,1	77,6	68,5	69,6	63,3	76,8	71,1	90,1	82,2	80,9	84,5	72,2
24:00	78,1	75,4	78,8	69,2	70,6	63,9	77,5	71,7	91,1	83,0	82,0	86,2	73,2
Promedio	67,4	67,2	68,0	62,1	62,5	58,3	70,1	62,2	83,6	73,6	74,1	79,1	64,7



a) Perfil horario



b) Promedio horario anual por estación

Figura 9-30. Comportamiento de la humedad relativa horaria anual – Año 2020

9.6.4. PROMEDIOS HISTÓRICOS ANUALES DE HUMEDAD

En cuanto al comportamiento histórico anual de la humedad en 2020 se presentó un ligero incremento con respecto al año anterior e idéntico a los años 2017 y 2018 como se puede observar en la Figura 9-31. Los valores registrados durante el año 2020 hacen parte de la variabilidad del elemento meteorológico en el tiempo.

Los valores presentados a nivel indicativo de humedad promedio de las estaciones Bosa, Usme, Jazmín y Ciudad Bolívar, tiene como propósito describir el comportamiento inicial de la humedad en dichas estaciones, teniendo en cuenta que es una variable meteorológica cuya variación anual no presenta cambios significativos.

Tabla 9-23. Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente.

ESTACIÓN	BOL	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MOV	SCR	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Promedio
2009	N.A	69	N.A	72	68	66	N.A	N.A	67	N.A	N.A	N.A	N.A	68
2010	N.A	71	N.A	N.A	69	67	N.A	N.A	68	N.A	N.A	N.A	N.A	69
2011	N.A	69	N.A	65	70	67	N.A	N.A	67	N.A	N.A	N.A	N.A	68
2012	N.A	66	N.A	63	66	64	64	61	64	N.A	N.A	N.A	N.A	64
2013	N.A	67	N.A	63	66	63	62	N.A	64	N.A	N.A	N.A	N.A	64
2014	N.A	67	N.A	66	65	63	60	59	63	N.A	N.A	N.A	N.A	63
2015	N.A	62	N.A	64	57	57	53	55	58	N.A	N.A	N.A	N.A	58
2016	N.A	70	N.A	69	67	64	58	59	64	N.A	N.A	N.A	N.A	64
2017	N.A	68	N.A	68	65	64	58	72	62	N.A	N.A	N.A	N.A	65
2018	N.A	67	N.A	68	64	63	59	72	63	N.A	N.A	N.A	N.A	65
2019	N.A	66	69	68	61	63	59	N.A	63	N.A	N.A	N.A	N.A	64
2020	N.A	67	67	68	62	63	58	70	62	84	74	74	78	65
Promedio	N.A	67	N.A	67	65	64	59	64	64	84	74	74	78	65

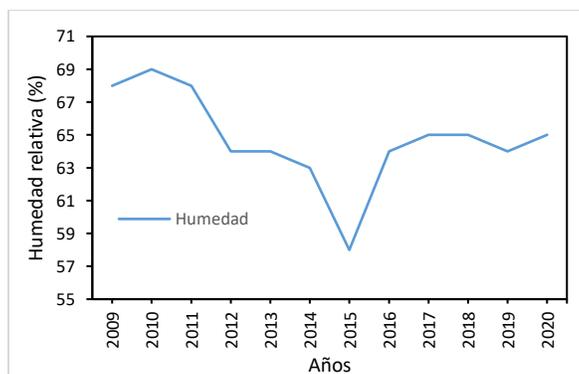


Figura 9-31. Comportamiento histórico de la humedad relativa promedio multianual

10. EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El año 2020 fue un año atípico en cuanto al comportamiento de la calidad del aire, ya que desde finales del mes de marzo cambió la dinámica de la ciudad a causa de las restricciones establecidas en la ciudad a causa del virus COVID-19. Por ello, se evidenció una reducción notable de las concentraciones en los meses de abril, mayo y junio, cuando se mantuvieron las restricciones más estrictas. Sin embargo, en el primer trimestre se registraron altas concentraciones de material particulado, por lo cual se declararon dos alertas ambientales por contaminación atmosférica en febrero y marzo de 2020. Adicionalmente se observó la influencia del transporte de arenas del Sahara en los últimos días del mes de junio, lo cual incidió en el aumento de las concentraciones de PM₁₀, y en el segundo semestre se observaron algunos episodios de contaminación por condiciones locales de la ciudad.

10.1. ALERTAS AMBIENTALES POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

En la Tabla 10-1 se presentan los periodos y documentos asociados a las alertas por contaminación atmosférica declaradas en los meses de febrero y marzo 2020. Las dos alertas fueron de categoría “amarilla”, por lo cual se establecieron acciones y restricciones en las zonas que registraron mayores niveles de contaminación durante estos meses.

Tabla 10-1. Documentos alertas contaminación atmosférica febrero, marzo y abril 2020

Evento	Fecha	Acto administrativo	Informe Técnico
Declaración de Alerta Amarilla por contaminación atmosférica en el Suroccidente de la ciudad de Bogotá	Febrero 06 de 2020	Resolución SDA No. 00346 del 06-02-2020	IT No. 00240 del 06-02-2020 2020IE27835
Finalización de la declaratoria de Alerta Amarilla por contaminación atmosférica en el Suroccidente de la ciudad de Bogotá	Febrero 17 de 2020	Resolución SDA No. 00527 del 17-02-2020	IT No. 00365 del 17-02-2020 2020IE37406
Declaración de Alerta Amarilla por contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá D.C.	Marzo 05 de 2020	Resolución SDA No. 00678 del 05-03-2020	IT No. 00514 del 05-03-2020 2020IE51958
Finalización de la alerta amarilla por contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá	Abril 03 de 2020	Resolución SDA No. 00853 del 03-04-2020	IT No. 00592 del 02-04-2020 2020IE51958

Para la alerta amarilla declarada en febrero de 2020, la Alcaldía Mayor de Bogotá emitió el Decreto 047 de febrero 06 de 2020, en el cual se definieron medidas transitorias y preventivas en materia de tránsito en las vías públicas en el Distrito Capital, con el fin de establecer las restricciones a los vehículos durante la alerta:

Restricción transitoria de vehículos de carga con año modelo superior a 10 años, entre las 05:00 a.m. a 11:59 a.m. y 05:00 p.m. a 09:59 p.m. Dicha restricción es aplicable al polígono de la zona suroccidental (localidades de Kennedy, Bosa, Puente Aranda, parte de Fontibón y de Ciudad Bolívar), que se puede observar en la Figura 10-1.

* Acciones que debe realizar la Secretaría Distrital de Salud tales como establecer la divulgación de recomendaciones a la población, seguimiento de casos de enfermedades respiratorias, y enfocar las acciones de las Instituciones prestadoras de Salud a la atención de la población vulnerable.

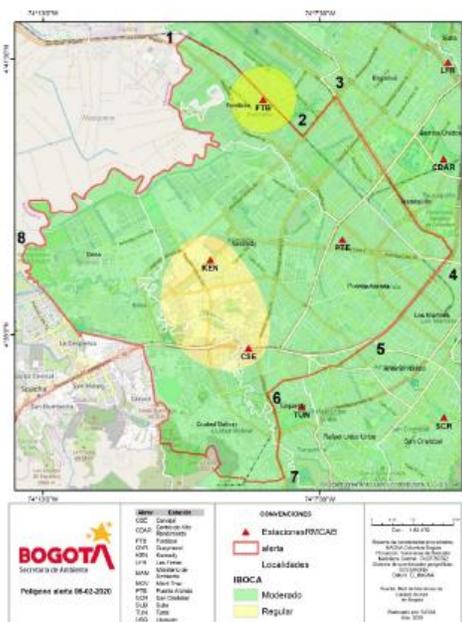
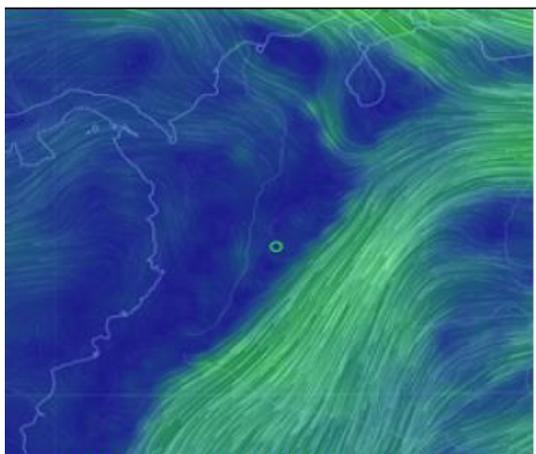


Figura 10-1 Delimitación polígono restricción vehicular en periodo de alerta amarilla – febrero 2020

En la Figura 10-2 se observa el comportamiento de los vientos en Colombia para el día 06 de febrero y el reporte de los puntos calientes para los dos días previos a la declaración de la alerta. Se evidencia que se registraron varios puntos asociados a incendios al oriente del país y en Venezuela, con lo cual los vientos, con una dirección predominante de nororiente a suroccidente, favorecieron el transporte de material particulado desde los incendios hacia la ciudad.



Vientos sinópticos en 850 hPa para Feb 06 de 2020



Puntos calientes últimas 48 horas para Feb 06 de 2020

Figura 10-2. Vientos sinópticos a 850 hPa y puntos calientes asociados a incendios por 48 horas, para febrero 06 de 2020

En la Figura 10-3 se observan las retrotrayectorias del viento y los puntos calientes para el inicio y el final de la alerta, con lo cual se observa más puntualmente el cambio en la dirección predominante de los vientos al inicio y al final de la alerta

amarilla. El día 06 de febrero las corrientes de viento transportaron el material particulado de los incendios del oriente del país e ingresaron por el sur de la ciudad. Por el contrario, el día 17 de febrero se redujeron los puntos calientes en la Orinoquía, y los vientos, aunque provenían de la misma dirección, transportaron menos material particulado, por lo cual se evidenció un mejoramiento de las condiciones de calidad del aire en la ciudad.

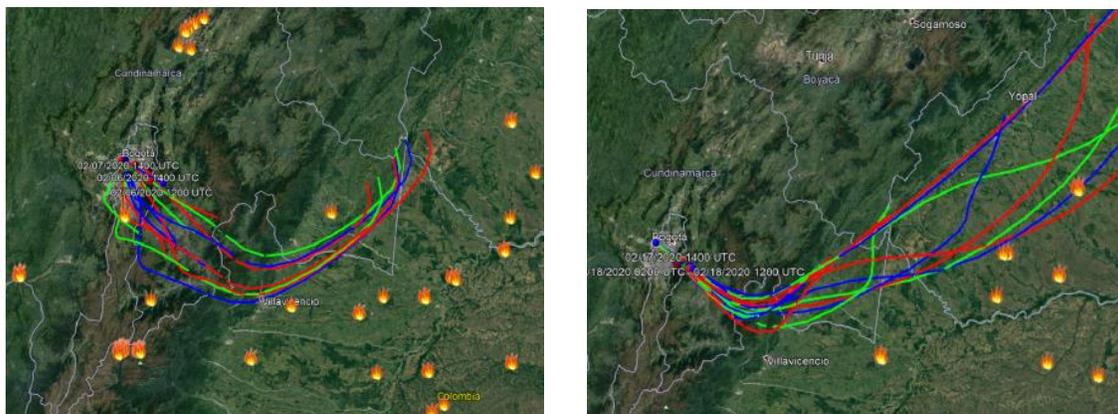


Figura 10-3. Retro trayectorias elaboradas en HySplit para los días 06 y 17 de febrero de 2020

La Figura 10-4 muestra los mapas de distribución espacial del IBOCA para los días de inicio y fin de la alerta amarilla; para el 06 de febrero se observó que las estaciones del suroccidente y el occidente de la ciudad registraban condiciones “regulares” al menos durante 48 horas. Debido a las medidas implementadas, la reducción de los incendios forestales y al cambio de las condiciones meteorológicas, principalmente cambios en dirección y aumento en la velocidad del viento, el 17 de febrero se dieron las condiciones para el levantamiento de la alerta amarilla, al registrar condiciones favorables al oriente de la ciudad y condiciones moderadas al occidente.

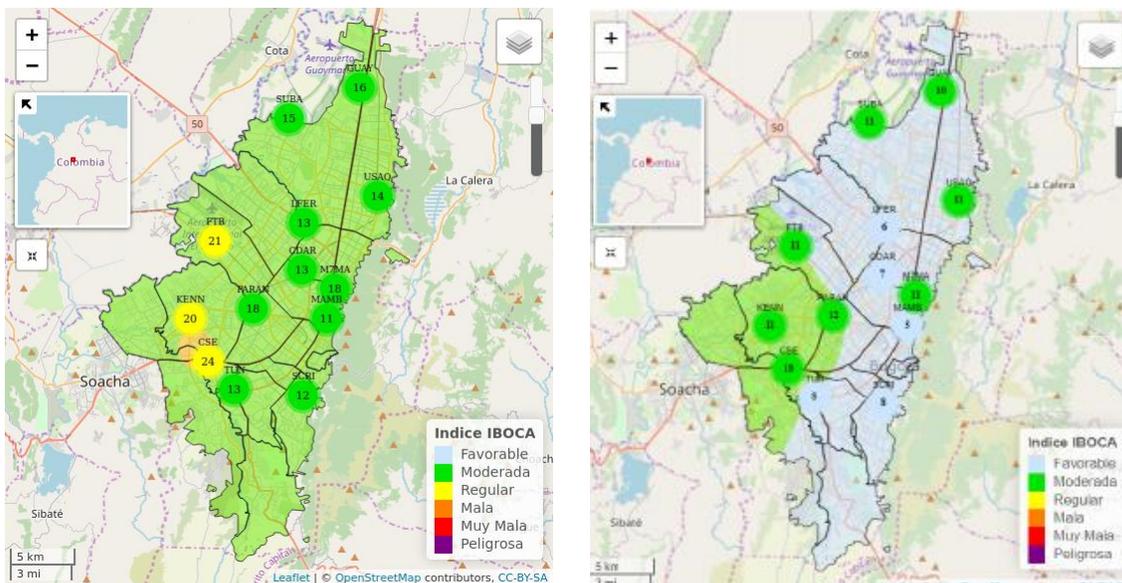


Figura 10-4. Mapas IBOCA para PM_{2.5} febrero 06 y 17 de 2020

En el mes de marzo se declaró una segunda alerta amarilla, declarada desde el día 05 de marzo de 2020, debido a que se evidenció la influencia del material particulado arrastrado por los vientos desde el oriente del país, además de que se pronosticó un deterioro de la calidad del aire en los siguientes días, por aumento en los incendios forestales y su influencia en el aumento de la concentración de material particulado.

En el acto administrativo emitido por la Secretaría Distrital de Ambiente se estableció el cese de operación de las fuentes fijas ubicadas en establecimientos industriales comerciales o de servicios que operen con combustibles sólidos (carbón, madera, biomasa, etc.) o con combustibles líquidos localizadas en la ciudad, en los horarios de 00:01 a.m. a 11:59 a.m.

Para las fuentes móviles se establecieron medidas desde la Alcaldía Mayor de Bogotá, a través del Decreto 078 de marzo 06 de 2020, en el cual se definieron las siguientes medidas transitorias y preventivas en materia de tránsito en las vías públicas en el Distrito Capital:

Tabla 10-2. Medidas transitorias y preventivas en materia de tránsito en las vías públicas de Bogotá para la alerta amarilla de marzo 2020

Vehículo	Días entre semana	Días en fin de semana	Condiciones
Vehículos automotores y motocicletas	Restricción entre 06:00 a.m. y 07:30 p.m.	Según último dígito de placa Sábado: 06:30 a.m. a 06:00 p.m. Domingo y festivo: 06:30 a.m. a 02:00 p.m.	Restricción para placas pares en día par, y para placas impares en día impar
Vehículos de carga	Horarios restricción: - 06:00 a.m. a 12:00 m. - 05:00 p.m. a 10:00 p.m.	Restricción rotativa cada fin de semana de 05:00 a.m. a 09:00 p.m.: Semana 1: sábado par y domingo impar Semana 2: sábado impar y domingo par	Aplica para vehículos con año modelo mayor a 10 años

Adicionalmente en la resolución se establecen excepciones a los vehículos que pueden circular sin restricción durante el periodo de la alerta ambiental, y también se definieron las responsabilidades de la Secretaría Distrital de Salud.

En la Figura 10-5 se observa el comportamiento de los vientos para el día 05 de marzo, y la representación del poder radiativo de los puntos calientes al oriente de Colombia y el occidente de Venezuela. Se observa una predominancia de los vientos del oriente, con lo cual se produjo un arrastre de las concentraciones de material particulado proveniente de los incendios forestales en los primeros días de marzo.

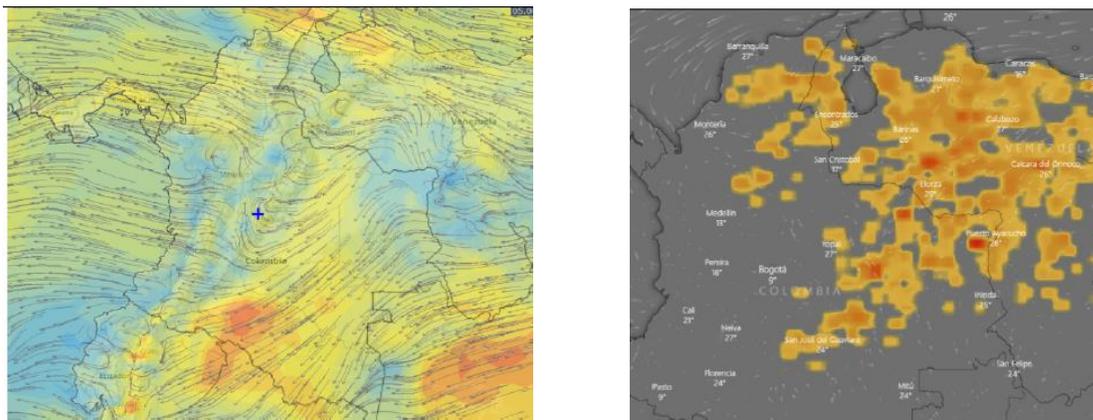


Figura 10-5. Vientos sinópticos a 850 hPa y poder radiativo de puntos calientes. Marzo 05 de 2020
Fuente: Meteoblue y Windy

Desde el día 18 de marzo, se registraron nuevos incrementos de concentración de $PM_{2.5}$, debido a la influencia de los incendios en el norte y oriente de Colombia, que arrastraron material particulado hacia el centro del país, lo cual fue evidenciado en las altas concentraciones registradas por los sistemas de monitoreo de calidad del aire en Bogotá, Medellín, Bucaramanga y Cúcuta. De acuerdo con las retro trayectorias de la dirección del viento se observa que las corrientes del viento fueron predominantes del oriente y norte de Colombia, arrastrando material particulado de las zonas con incendios activos, en la Sierra Nevada de Santa Marta, Valledupar, Vichada y Casanare.



Figura 10-6. Retro trayectorias y puntos calientes, marzo 05 y abril 02 de 2020

En la Figura 10-7 se presentan los mapas de calidad del aire para los días 05 de marzo y 02 de abril, que corresponden al inicio y al final de la alerta. Se observa que en abril hubo un mejoramiento de la calidad del aire notable respecto a las condiciones registradas a inicios de marzo, pasando de cinco estaciones en condición “regular” a siete estaciones en condición “moderada”.

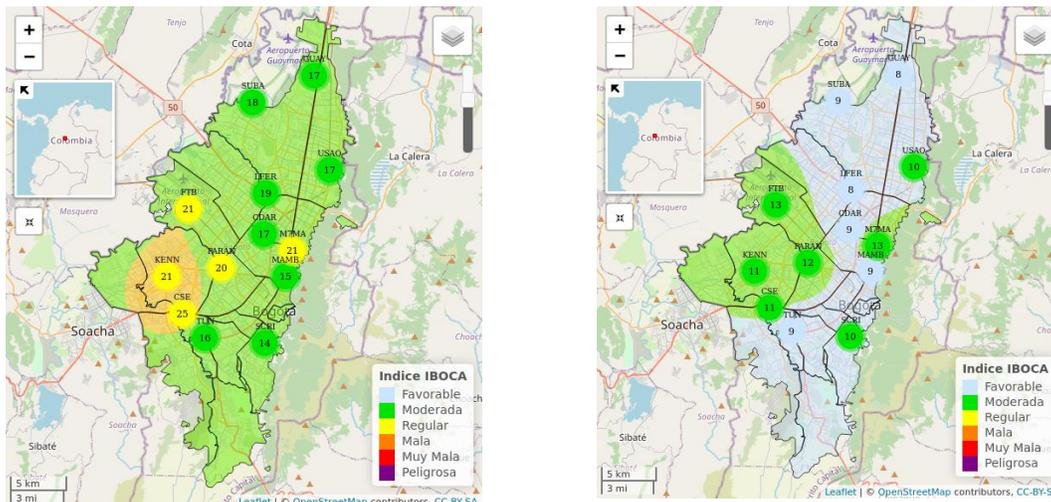


Figura 10-7. Mapas IBOCA marzo 05 y abril 02 de 2020

Dentro de los factores que favorecieron el mejoramiento de la calidad del aire, se consideran las variaciones en las condiciones meteorológicas, tales como cambio en la dirección e intensidad de los vientos, con lo cual se redujo el efecto de transporte regional de contaminantes y favorecieron a la dispersión local de los mismos. Además, se presentó menor frecuencia de fenómenos de estabilidad atmosférica e inversiones térmicas, lo que también favoreció la dispersión vertical de los contaminantes.

También se observó una disminución en el número de eventos locales y regionales de incendios respecto a los eventos registrados en la primera semana de marzo de 2020 debido a diferentes factores, tales como las condiciones meteorológicas que se presentaron en el país durante el inicio de abril, en especial, la presencia de precipitaciones en la región Orinoquía, así como la dirección e intensidad de los vientos, con lo cual se redujo el efecto de transporte regional de contaminantes y favorecieron a la dispersión local de los mismos.

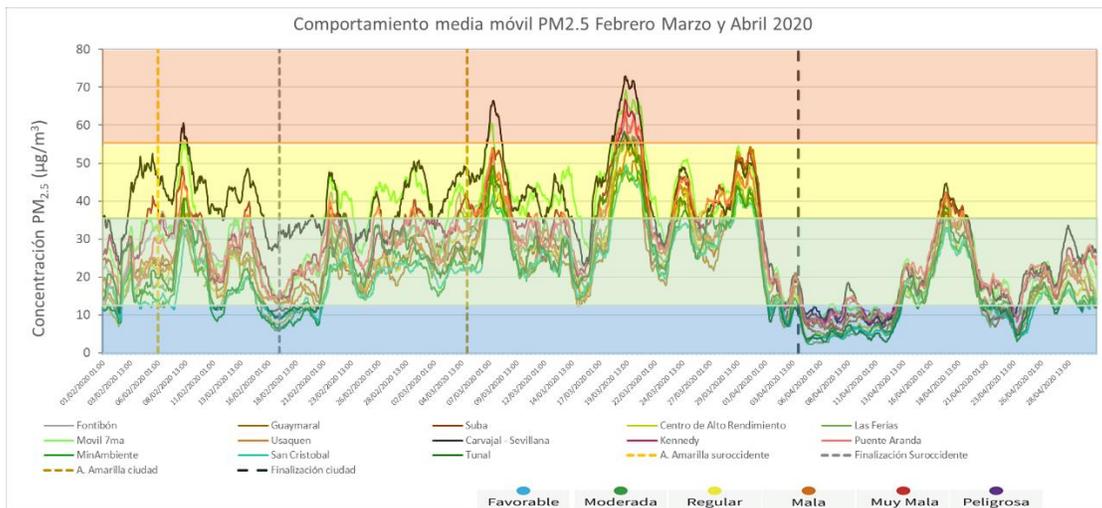


Figura 10-8. Concentraciones medias móvil 24h PM_{2.5}. Febrero - Abril 2020

En la Figura 10-8 se observan las concentraciones media móvil 24 horas para los meses de febrero, marzo y abril de 2020. En estos meses se observaron distintos comportamientos del contaminante, dada la influencia de los diferentes factores que incidieron en las variaciones de las concentraciones. En la primera alerta amarilla hasta nueve estaciones registraron la condición “regular”, siendo la estación Carvajal-Sevillana la que registró dicha condición por mayor tiempo; se registró un ligero aumento el día 14 de febrero y finalmente descendieron las concentraciones hacia el 17 de febrero, con valores menores a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por debajo del límite de la condición “moderada”. En los siguientes días después de la finalización de la alerta hubo una tendencia gradual al incremento de las concentraciones, registrando un pico el día 04 de marzo, posterior a la declaración de la segunda alerta amarilla, y a partir de este día descendieron nuevamente las concentraciones hasta el 16 de marzo. En los dos días siguientes se registró un nuevo incremento, el más alto entre febrero y abril, en el cual se registraron hasta nueve estaciones en condición “mala” en la mañana del 19 de marzo. En estos días aumentó el número de puntos calientes y por consiguiente la influencia en las concentraciones de material particulado en la ciudad, además de una reducción en la velocidad del viento.

En el marco de las restricciones por la pandemia del COVID-19, se inició un simulacro de cuarentena el día 20 de marzo, con lo cual se permitió solo el tránsito de vehículos relacionados con actividades de primera necesidad, y se restringieron varias actividades comerciales. Por ello, en los siguientes días las concentraciones disminuyeron, pero permanecieron varias estaciones en condición “regular”. Solamente hasta el 01 de abril se evidenció una reducción notable de las concentraciones, debido al inicio de la primera temporada de lluvias, lo cual contribuyó a que las concentraciones permanecieran en las condiciones “moderada” y “favorable”. Aunque la cuarentena se mantuvo durante todo el mes, se registró un aumento de las concentraciones el 18 de abril, debido a la influencia de incendios forestales que aún se registraban en Venezuela.

10.2. TRANSPORTE DE ARENAS DEL SAHARA EN JUNIO DE 2020

Desde mediados de junio de 2020, los satélites registraron una nube de aerosoles proveniente del desierto del Sahara, que se desplazó desde África, alcanzó parte del occidente de España, y se transportó a través del océano Atlántico hasta llegar al norte de Suramérica, el mar Caribe y el golfo de México.³ La nube de polvo del Sahara se evidenció por un aumento en la profundidad óptica de los aerosoles, y su llegada a los países de América y el Caribe generó un aumento en los niveles de contaminación por material particulado, además de una reducción en la visibilidad.

³ NASA-NOAA's Suomi NPP Satellite Analyzes Saharan Dust Aerosol Blanket. NASA, 2020.
<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-noaa-s-suomi-npp-satellite-analyzes-saharan-dust-aerosol-blanket>

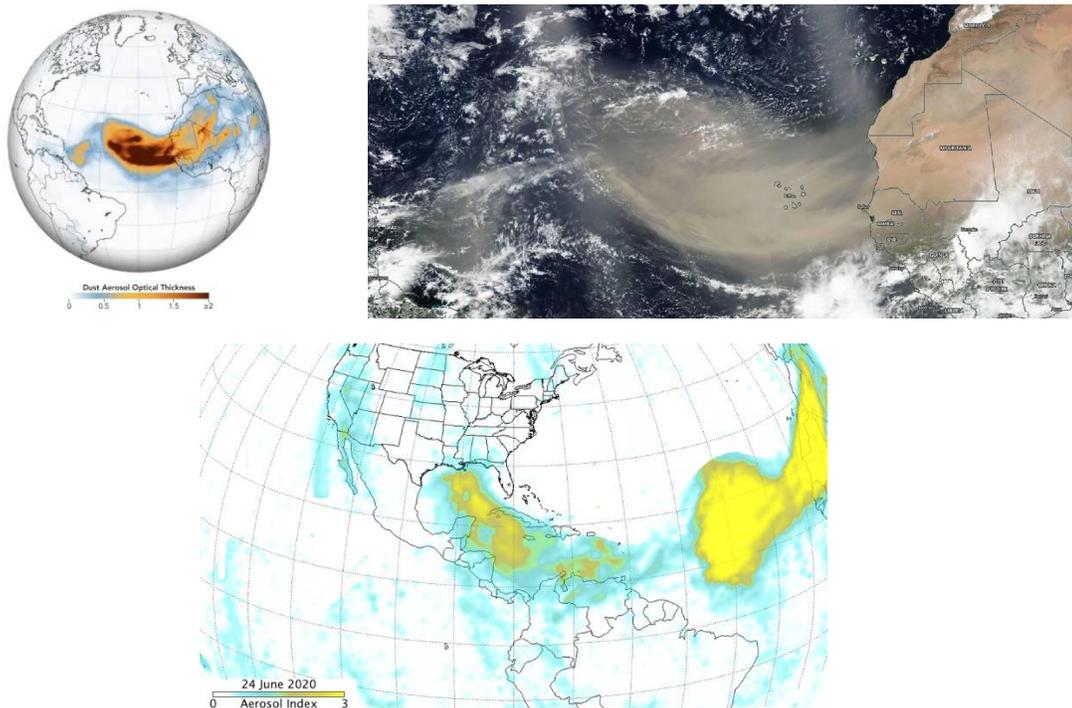


Figura 10-9. Imágenes satelitales transporte de polvo del Sahara. Fuente: NASA

En la Figura 10-10 se representan las concentraciones horarias de PM_{10} para todas las estaciones de la RMCAB para el periodo comprendido entre el 20 y el 30 de junio de 2020. En el marco de las restricciones por la pandemia del virus COVID-19, las concentraciones de contaminantes se habían reducido desde el mes de abril, además de que históricamente el mes de junio registra las concentraciones más bajas del año. Sin embargo, entre los días 23 y 26 de junio se registraron aumentos notables de concentración de material particulado, siendo las estaciones del suroccidente de la ciudad y la estación Móvil 7ma las que presentaron los niveles más altos, con registros entre 220 a $290 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la influencia de la arena del Sahara. El día 27 de junio descendieron las concentraciones nuevamente, con registros menores a los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el resto del mes.

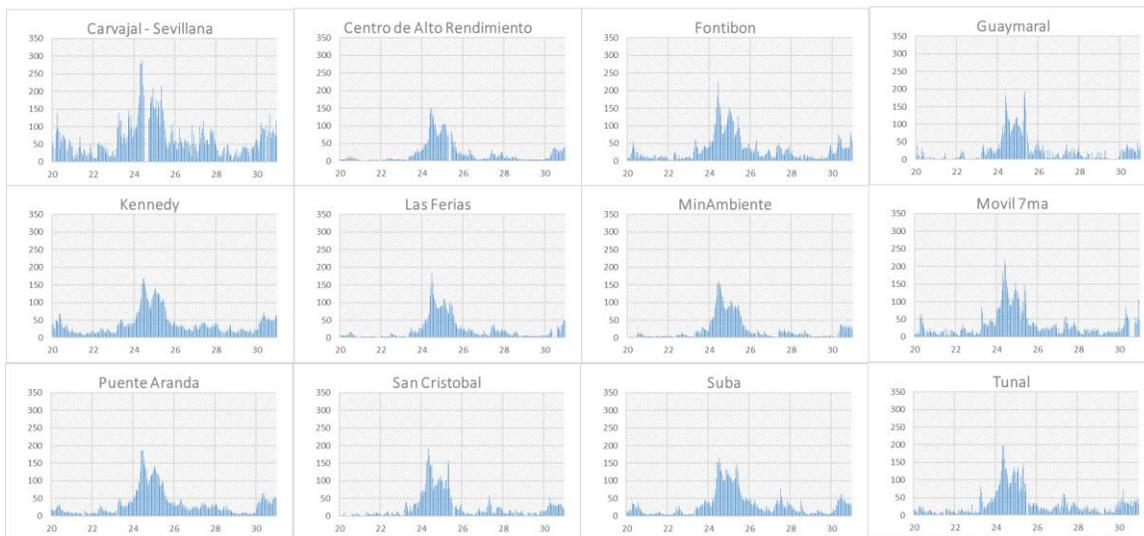


Figura 10-10. Concentraciones horarias PM_{10} Junio 20 - 30 de 2020

10.3. INFLUENCIA DE LAS RESTRICCIONES EN LA PANDEMIA DEL COVID 19

Debido al aumento de casos registrados del COVID-19 en Bogotá, como medida preventiva la administración distrital estableció la medida del Simulacro Vital, reglamentado por el Decreto 090 del 19 de marzo de 2020, en la cual se restringía la libre circulación de vehículos y personas entre el jueves 19 de marzo a las 11:59 p.m. y el lunes 23 de marzo a las 11:59 p.m. Solamente se encontraban habilitados para circular el personal de salud y los relacionados con necesidades básicas. Este simulacro coincidió con el inicio del Aislamiento Preventivo Obligatorio, que inició a nivel nacional con el Decreto 457 del 22 de marzo de 2020. Desde el inicio del simulacro vital en Bogotá se eliminaron las restricciones de pico y placa y otras medidas asociadas a la circulación de vehículos.

Debido a estas restricciones, solamente algunas fuentes de emisión se encontraban en funcionamiento en la ciudad, y se redujo en gran proporción el número de vehículos particulares y de la flota del transporte público que circulaban en las calles. Consecuentemente se evidenció una disminución notable en el aporte de emisiones de fuentes móviles, en especial en horas de la mañana. Aunque también pudo observarse que al tener menos actividad de las fuentes de emisión que en años anteriores, las concentraciones de $PM_{2.5}$ se mantenían en condición “regular” algunos días después del 20 de marzo, debido al aporte del material particulado proveniente de los incendios forestales activos al norte y oriente de Colombia.

En la Figura 10-11 se observan las concentraciones media móvil 24 horas de $PM_{2.5}$ observadas durante el periodo comprendido entre marzo 15 y diciembre 31 de 2020. En esta gráfica se observan las variaciones de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el transcurso del año, en el marco de las restricciones por la pandemia del COVID-19.

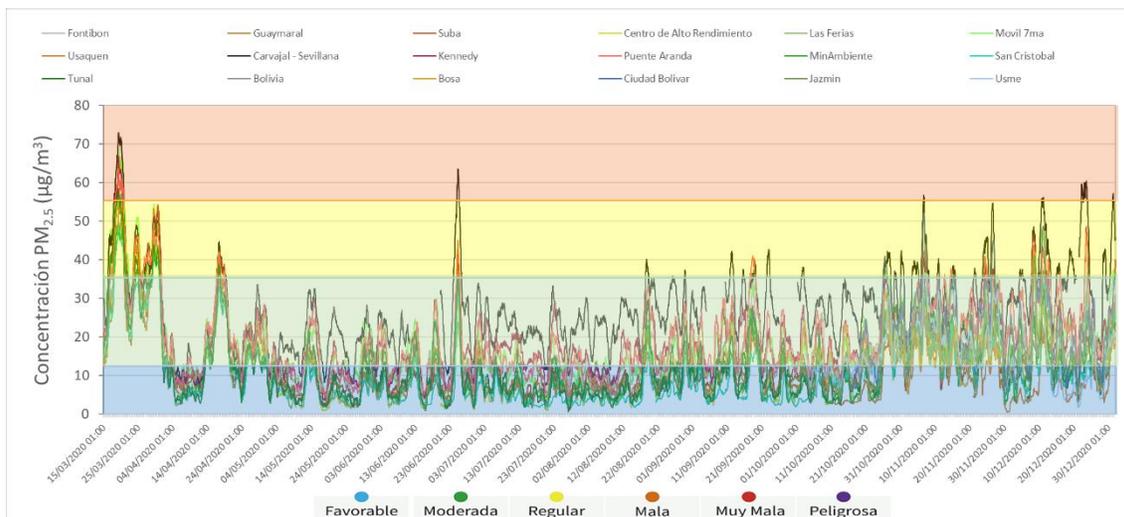


Figura 10-11. Concentraciones media móvil PM_{2.5} Marzo 15 - Diciembre 31 2020

Se observa que las concentraciones más altas durante el periodo de la cuarentena (marzo-agosto) fueron registradas a finales de junio por el transporte de arenas del Desierto del Sahara (alcanzando la condición “mala” en la estación Carvajal-Sevillana) y a finales de abril por influencia de incendios forestales en el oriente del país. El resto de los meses las concentraciones se mantuvieron principalmente en condiciones “moderada” y “favorable” hasta el mes de octubre, teniendo en cuenta que entre julio y agosto se establecieron cuarentenas por localidades, y en septiembre finalizó la etapa de aislamiento obligatorio, por lo cual hasta este mes se evidenció un retorno gradual a las actividades normales de la ciudad. Posteriormente, a finales de octubre se registraron condiciones desfavorables locales que no contribuyeron con la dispersión de concentraciones. Durante los meses de noviembre y diciembre se evidenciaron incrementos de concentraciones en relación con los meses previos, aumentando la frecuencia de datos en la condición “regular” especialmente en las estaciones del suroccidente, ya que las actividades de la ciudad funcionaron en su mayoría con normalidad, además de que aumentó el tráfico vehicular, y las condiciones meteorológicas fueron menos favorables para la dispersión de contaminantes.

10.4. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR CONDICIONES LOCALES

Durante el mes de octubre de 2020 se mantuvieron las condiciones de aislamiento voluntario tras varios meses de restricciones en el marco de las acciones para evitar los contagios por la pandemia del COVID-19. Según la Figura 10-12 en la mayor parte del mes las concentraciones se mantuvieron en las condiciones “favorable” y “moderada”, sin embargo en los últimos días del mes, desde el 27 de octubre, se observó un aumento en las concentraciones de material particulado debido a la confluencia de vientos provenientes del occidente, lo cual causó que el material particulado se mantuviera al interior de la ciudad, generando que varias estaciones se mantuvieran en condición “regular” desde el 27 de octubre.

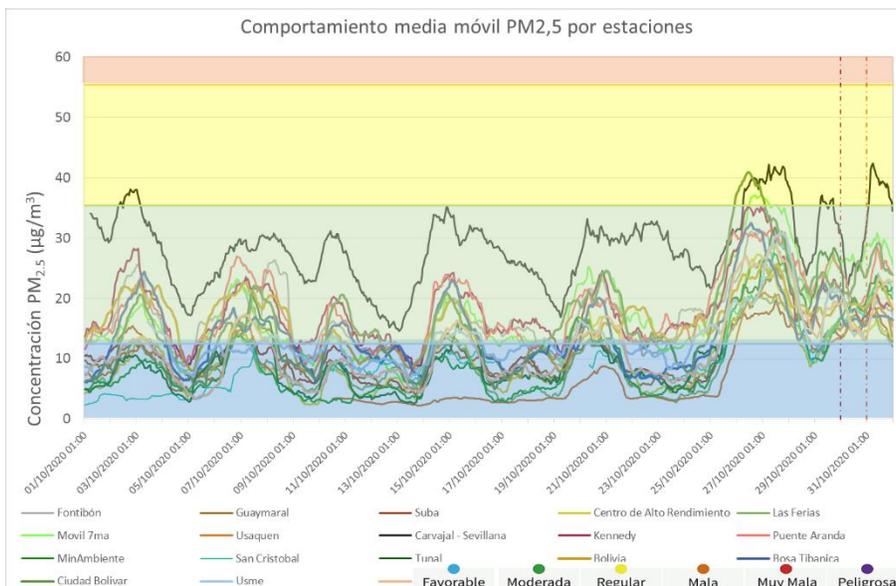


Figura 10-12. Concentraciones media móvil 24 h de PM_{2,5} octubre de 2020

11. CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) cerca de 249 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire exterior y 83 mil fueron atribuibles a la contaminación del aire por el uso de combustibles sólidos en la vivienda en las Américas en 2016. Se perciben grandes diferencias entre grupos de población y localidades geográficas, las personas que viven cerca de carreteras o áreas industriales están más expuestas a niveles elevados de contaminación ambiental exterior y las personas que usan combustibles sólidos como fuente de energía son más afectadas en espacios interiores.

La contaminación del aire ahora ocupa espacio en las agendas globales. En el año 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, la referencia a la contaminación del aire se realiza en la meta 3,9 (reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo), 7,1 (garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos) y 11,6 (reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo)⁴.

En el Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021 desde la dimensión de salud ambiental se menciona el derecho a un ambiente sano con el fin de mejorar las condiciones de salud de la población, para lo cual se establece un conjunto de políticas que promueven la calidad de vida con la participación de diferentes actores sociales. Por medio de la transformación positiva de los determinantes sanitarios, sociales y ambientales bajo el enfoque de las fuerzas motrices, se establecen relaciones entre condiciones ambientales y de salud, permitiendo a los gobiernos identificar factores determinantes de orden estructural, intermedio y proximal, así como actores y acciones sectoriales y transectoriales preventivas y correctivas.

Uno de los componentes de la dimensión de salud ambiental es el hábitat saludable que contempla varios objetivos entre ellos intervenir con enfoque diferencial de los determinantes sanitarios y ambientales de la salud relacionados con la calidad del aire, el ruido y las radiaciones electromagnéticas, los impactos del urbanismo, las condiciones de la ruralidad, las características de la movilidad, las condiciones de la vivienda y espacios públicos para ello se requiere de procesos participativos organizados alrededor de entornos cotidianos: vivienda, entornos educativos, entornos comunitarios saludables, entorno de trabajo y ecosistemas estratégicos saludables⁵.

Trabajar para reducir en un 10% la concentración de material particulado PM₁₀ y PM_{2,5} mediante la implementación del Plan de Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá 2030, “Unidos por un

¹ Organización Panamericana de la Salud Disponible en <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

² Dimensión de Salud Ambiental, Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-saludambiental.pdf>

Nuevo Aire” es la consigna, que busca trabajar por la protección de la salud de los niños, niñas y adultos mayores la población más vulnerable a los factores de contaminación⁶.

El decreto 596 de 2011 “por medio del cual se adopta la Política Distrital de salud ambiental para Bogotá, D.C. 2011-2023, tiene por objeto orientar la gestión para el mejoramiento de la salud ambiental en el territorio urbano y rural del distrito mediante el trabajo articulado entre instituciones, investigación y acción participativa entre diferentes líneas de intervención, una de estas corresponde a la Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética, que opera a través de estrategias como la Gestión de la Salud Ambiental, Entornos Ambientalmente Saludables y Vigilancia de la Salud Ambiental⁷.

La Secretaría Distrital de Salud ha venido desarrollando acciones intersectoriales desde la línea de aire, ruido y radiación electromagnética con el propósito de analizar los factores posiblemente relacionados con la presencia de sintomatología respiratoria en los grupos vulnerables como son menores de catorce años y personas mayores de 60 años, con esto se busca establecer acciones de intervención que tengan un efecto sobre estos factores con el propósito de disminuir la incidencia de los eventos posiblemente relacionados con la calidad del aire en Bogotá.

Las anteriores acciones son realizadas a través de las cuatro subredes como se observa en la Figura 11-1 que reorganizaron la oferta pública de prestación de servicios de salud de la ciudad, por medio del decreto 641 de 2016, conforme se evidencia en la Tabla 11-1.

Tabla 11-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura.

Norte	Centro Oriente	Sur Occidente	Sur
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Usaquén ▪ Chapinero ▪ Barrios Unidos ▪ Teusaquillo ▪ Engativá ▪ Suba 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Santa Fe ▪ La Candelaria ▪ Los Mártires ▪ San Cristóbal ▪ Rafael Uribe ▪ Antonio Nariño 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fontibón ▪ Puente Aranda ▪ Kennedy ▪ Bosa 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tunjuelito ▪ Ciudad Bolívar ▪ Usme

⁶ Plan de Desarrollo: Mejorar la calidad el aire 10%, prioridad para esta administración. Disponible en: http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/historial-de-noticias/-/asset_publisher/1RkX/content/plan-de-desarrollo%3A-mejorar-la-calidad-del-aire-10-prioridad-para-esta-administracion.

⁷ Secretaría Distrital de Salud. Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá, D.C. Decreto N° 566 de 2011 Disponible en: <http://www.saludcapital.gov.co/Paginas2/PoliticodeSaludambiental.aspx>



Figura 11-1. Red Integrada de Servicios de Salud

11.1. VIGILANCIA EN SALUD AMBIENTAL

La Secretaría Distrital de Salud de Bogotá desde el año 2012 realiza una vigilancia de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en grupos poblacionales vulnerables en la ciudad de Bogotá. Para realizar esta se tiene en cuenta los siguientes componentes de la vigilancia en salud pública:

- Vigilancia Epidemiológica: vigila los posibles efectos en salud en la población debido a la exposición a contaminación del aire.
- Vigilancia Sanitaria: contempla la atención de quejas presentadas por las partes interesadas respecto a la contaminación del aire.
- Vigilancia Ambiental: Contempla el monitoreo de contaminación del aire intramural y análisis y seguimiento de contaminantes por medio de fuentes secundarias como redes de calidad del aire.

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud tanto en los países desarrollados como en los países en vía de desarrollo. Se estima que la contaminación del aire causa 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año tanto en zonas urbanas como rurales, dicha mortalidad se debe a partículas muy pequeñas de 2,5 micrones que pueden llegar a causar enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer⁸.

La exposición de la población a la contaminación del aire puede ocasionar efectos fisiológicos imperceptibles hasta la muerte, los niños son un grupo especialmente vulnerable por la inmadurez del sistema respiratorio e inmune, los efectos respiratorios más reportados en la literatura son

⁸ Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire y Salud. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

aumento de síntomas y consultas de urgencias por causas respiratorias, aumento exacerbaciones asmáticas y reducción en la función pulmonar⁹.

Por otra parte, los adultos mayores se constituyen en otro grupo susceptible a la contaminación del aire debido a que se ve disminuida la función pulmonar por senectud y la presencia de otras comorbilidades como las enfermedades cardiovasculares que aumentan la vulnerabilidad a los contaminantes, cuyos efectos dependen por una parte de la concentración y tiempo de exposición y por otra de la susceptibilidad de las personas expuestas¹⁰.

Un estudio realizado en los Estados Unidos mostró que cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de elevación en PM_{10} provocan un aumento del 0,31% de mortalidad cardiopulmonar diaria a corto plazo; otro estudio similar realizado en Europa encontró con la misma elevación de PM_{10} un incremento de mortalidad cardiovascular de 0,69%. Por otra parte, los efectos relacionados con la exposición a $\text{PM}_{2,5}$ fueron observados a largo plazo en una cohorte de mujeres en los Estados Unidos donde se demostró un aumento de eventos cardiovasculares en un 24% y un 76% de muertes por causa cardiovascular por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aumento¹¹.

Algunos estudios han permitido observar el impacto de la contaminación del aire en el crecimiento del feto y bajo peso al nacer. La exposición ambiental a PM_{10} ha sido relacionada al retardo del crecimiento intrauterino, posteriormente se sugiere un efecto dañino de carácter permanente dado que el bajo peso y el retardo de crecimiento se asocia con la salud respiratoria en etapas posteriores de la vida¹².

A nivel de Bogotá se han llevado a cabo diferentes estudios principalmente en población infantil con el fin de identificar los efectos en salud dado por exposición a la contaminación del aire, a continuación se mencionan algunos de ellos: en el año 1999 Solarte et al, realizaron un estudio para determinar asociación entre las fluctuaciones de la concentración de partículas PM_{10} y la morbilidad por enfermedad respiratoria en población menor de 14 años, encontrando que el número total de consultas por enfermedad respiratoria en dicha población está asociado con la concentración de PM_{10} en los días precedentes. Un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de PM_{10} produce un aumento de por lo menos el 8 por ciento en el número de consultas por enfermedad respiratoria en los niños menores de 14 años¹³.

En 2006, Arciniegas et al, realizaron un estudio en la localidad del Puente Aranda en Bogotá donde identificaron que un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de material particulado menor a 10

⁹ Contaminación Atmosférica Efectos en la Salud Respiratoria en el niño. Dr Ubilla Carlos y Dra Yohannessen Karla. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S071684017300214>

¹⁰Contaminación aérea y sus efectos en la salud. Oyarzún G Manuel. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482010000100004

¹¹ Contaminación atmosférica, riesgo cardiovascular e hipertensión arterial. N. Soldevila Bacardit, E. Vonyoles Bargalló, J. Agudo Ugena y L.Camps Vila. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/324752458>

¹² Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y en adultos mayores. Vargas Sandra, Onatra William, Osorno Lucía, Páez Eduardo, Sáenz Orlando. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v11n1/v11n1a06.pdf>

¹³ Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. Solarte Pedro, Caicedo Mónica, Restrepo Sonia. Disponible en: https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/20110628lec.ad.articulo_estudio_ivan_solarte.pdf

micrómetros PM₁₀ ocasionaría un incremento del 4% en las consultas por ERA con un periodo de latencia de seis días en niños menores a 5 años¹⁴.

En el año 2007 Hernández et al, realizaron un estudio en el cual encontraron diferencias en el promedio de PM₁₀ en el exterior de jardines más y menos expuestos a material particulado (91µg/m³ vs. 62µg/m³), observando un aumento en la incidencia de síntomas como tos, expectoración, sibilancias, ojos rojos, fiebre, ahogo y ausentismo escolar por enfermedad respiratoria, en el grupo de niños más expuestos¹⁵.

En el año 2020 se produjo la pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2 que estamos viviendo en la actualidad la cual ocasionó una crisis sanitaria de gran magnitud, debido a su rápida expansión, lo que puso a prueba los sistemas sanitarios de todos los países. En el afán de controlarlo se establecieron cuarentenas obligadas con medidas de confinamiento severas obligando a la reducción de la actividad económica a nivel mundial, provocando beneficios para el medio ambiente específicamente en la calidad del aire y disminución en la contaminación ambiental.

Según la Organización Mundial de la Salud 4,6 millones de personas mueren por año debido a enfermedades directamente como consecuencia de la mala calidad del aire, la contaminación del aire podría exacerbar la severidad de los síntomas de la infección por COVID-19 incrementado el riesgo de mortalidad, tal como se observó en un estudio en los EEUU donde la exposición a largo plazo de PM_{2,5} con un incremento de solo 1µg/m³ se asocia con un incremento de un 8% en la tasa de mortalidad por COVID-19, estos resultados se toman con cautela ya que la publicación no ha pasado por el proceso de revisión de pares¹⁶.

11.2. VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA

Desde el año 2007 la Secretaría Distrital de Salud formuló y ejecuto un estudio epidemiológico con el fin de establecer relaciones entre la contaminación del aire intra y extramural y la enfermedad respiratoria en menores de 5 años en Bogotá. A partir de este estudio, se decidió diseñar e implementar un sistema de vigilancia epidemiológico, ambiental y sanitario del impacto en la salud por exposición a contaminación del aire, el cual se ha realizado de manera permanente, incrementando su cobertura de forma progresiva en todas las localidades de la ciudad.

La Secretaría Distrital de Salud realiza el seguimiento continuo y sistemático de las diferentes estrategias para la vigilancia de la infección respiratoria aguda de acuerdo con los procesos establecidos para la notificación, recolección y análisis de los datos; que permite generar

¹⁴ Estudio de la morbilidad en niños menores a 5 años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en una zona industrial de la ciudad de Bogotá. Disponible en:

http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892006000100002

¹⁵ Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de 5 años en tres localidades de Bogotá. Hernández Luis Jorge, Aristizábal Gustavo, Salgado Yenny, Cantor Liseth, Medina Katalina, Reyes Jesús. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0120491215300112>

¹⁶ Comprender el COVID-19 desde una perspectiva de salud pública. Aragón Ana Pérez y Lacasaña Marina. Disponible en: <https://www.easp.es/web/coronavirusysaludpublica/efecto-de-la-pandemia-de-covid-19-en-la-calidad-del-aire-impacto-en-la-salud-respiratoria/>

información oportuna, válida y confiable, y así orientar medidas de prevención, vigilancia y control en relación con el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad.

11.2.1. MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA

Las infecciones respiratorias agudas (IRA) son consideradas las principales causas de morbilidad y mortalidad en todo el mundo. La población de mayor riesgo son los niños, las personas de tercera edad y los inmunocomprometidos. Aunque las infecciones respiratorias superiores son más frecuentes, las infecciones respiratorias bajas son responsables de los cuadros más graves de influenza, neumonía y bronquiolitis y son las que más contribuyen a la mortalidad por IRA. Se estima que, en los niños menores de dos años, el 2 al 3% tuvo neumonía grave que requirió hospitalización y las tasas de mortalidad por IRA en los países en desarrollo oscilan entre 60 a 100 casos por 1.000 niños menores de 5 años¹⁷.

En el año 2020 se presentaron 9 muertes por IRA en menores de 5 años en Bogotá, comparado con los últimos 4 años se observa una disminución de casos, los años 2016 y 2019 mostraron las tasas de mortalidad más altas con 4,3 y 3,8 por 100.000 menores de 5 años, específicamente respecto al año 2019 se presentó una disminución porcentual del 60,8%. (Figura 11-2).

Con respecto a la neumonía, en el año 2020 ocurrieron 13 muertes observando una disminución porcentual del 68% comparado con el año 2019 donde se presentaron 41 muertes, teniendo en cuenta además que el promedio de la tasa de mortalidad por neumonía de los últimos 4 años fue de 7,4 por 100.000 menores de 5 años, se observa para el año 2020 una reducción significativa. La localidad que más registro defunciones en menores de 5 años por neumonía durante el año 2020 fue Kennedy con 3 casos lo que corresponde al 23,1%.

Esta reducción particular posiblemente pueda deberse a la pandemia provocada por el COVID-19 que obligo a tomar medidas como el confinamiento estricto, lo que pudo favorecer la salud de los menores quienes no fueron expuestos a la contaminación del ambiente. (Figura 11-2)

¹⁷ Enfermedad Respiratoria Aguda. Vigilancia en Salud Pública. Disponible en:
<http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Paginas/ENFERMEDADRESPIRATORIAAGUDA.aspx>



Figura 11-2. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, Periodo 2016 a 2020

La neumonía es una de las principales causas de muerte en niños menores de 5 años en el mundo, con más de 4 millones de muertes por año. También es la segunda causa principal de años de vida perdidos debido a la mortalidad prematura y una de las razones más frecuentes de hospitalización.¹⁸ En la figura 11-3 se observa el mapa con la ubicación del número máximo de casos ocurridos en las diferentes localidades de mortalidad por IRA y Neumonía en menores de 5 años, así como el tipo de Riesgo dado por el valor ACRE representados por los colores rojo y verde, identificándose que los casos se concentraron en las localidades de Kennedy, Bosa, Engativá, Suba, Ciudad Bolívar, Tunjuelito y Santa fe.

¹⁸ El impacto mundial de la enfermedad respiratoria. Disponible en:
https://www.who.int/gard/publications/The_Global_Impact_of_Respiratory_Disease_ES.pdf

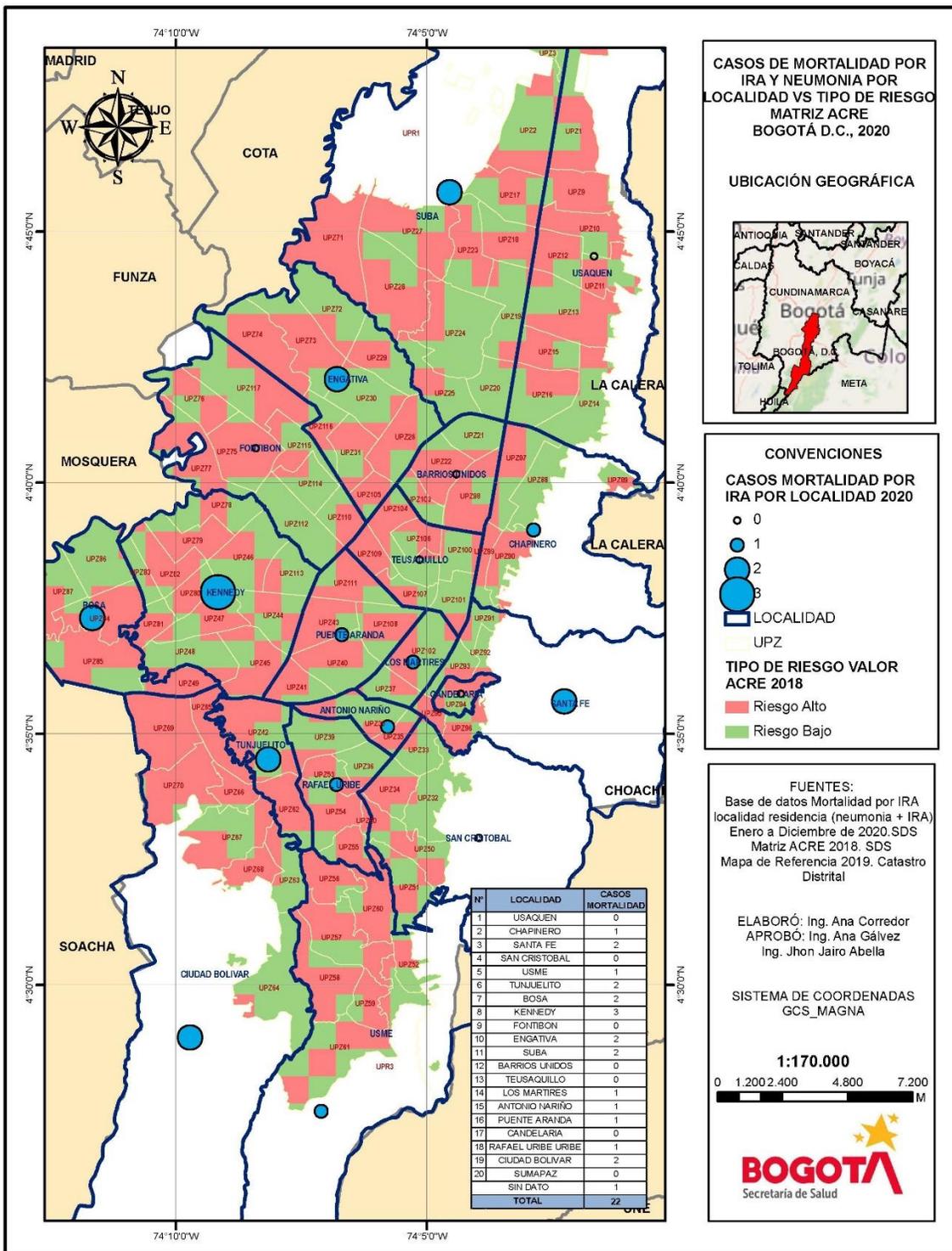


Figura 11-3. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria y Neumonía en menores de 5 años en Bogotá Vs Tipo de Riesgo Matriz ACRE, 2020

11.2.2. MORBILIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA

Según los protocolos establecidos a nivel nacional, la Secretaría Distrital de Salud viene adelantando dos esquemas de vigilancia de la IRA en Bogotá, el primero dado por los eventos de notificación obligatoria en el marco del Sistema de Vigilancia Epidemiológico SIVIGILA del distrito con base en la resolución 3518 de 2006 (morbilidad atendida) y en segunda medida la vigilancia centinela de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en Bogotá (morbilidad sentida) conforme a lo establecido en la Dimensión de Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021.

- **Morbilidad Atendida**

La infección respiratoria aguda (IRA) se puede presentar en cualquier parte de las vías respiratorias, con una evolución de 15 días, causada por virus o bacterias que entran por nariz o boca y puede afectar cualquier parte del sistema respiratorio. De acuerdo con el microorganismo que produzca la infección así serán los signos, síntomas, gravedad y tiempo que dure. Las infecciones del sistema respiratorio superior son causadas frecuentemente por virus como el virus sincitial respiratorio, parainfluenza, adenovirus, rinovirus, coronavirus y enterovirus, en general son leves y pasan rápidamente. En las infecciones del sistema respiratorio inferior también son frecuentes los virus, pero se encuentran las bacterias que causan infecciones más severas que requieren tratamiento antibiótico y pueden llegar a causar la muerte, dentro de los agentes más comunes se encuentra *streptococcus pneumoniae*, el *haemophilus influenzae* y el *staphylococcus aureus*¹⁹.

La Figura 11-4 muestra el comportamiento de la notificación por IRA (evento 995) en la población general y en menores de 5 años; durante el año 2020 en Bogotá se notificaron 1.141.625 casos de Infección Respiratoria Aguda en la población general, comparado con el año 2019 se observa una reducción de casos del 40,03%, se evidencia durante los años 2016 a 2019 una tendencia hacia el aumento de los casos en todos los grupos de edad, pero para el año 2020 hay una marcada disminución que comparado con el año inmediatamente anterior fue del 67,11%. Por otra parte 176.681 casos de esta población se presentaron en menores de 5 años lo que corresponde al 15,5%. Los casos de IRA en la población de menores de 5 años para el año 2020 mostraron una disminución porcentual del 67,11% con respecto a los casos atendidos en año 2019.

Probablemente el comportamiento de la disminución en la notificación por Infección Respiratoria Aguda en el año 2020 fue debido al confinamiento preventivo debido a la pandemia generada por el COVID-19, que además produjo una reducción en la presencia de fuentes móviles y fijas, y así mismo en la emisión por combustión hasta en un 60% comparado con el año 2019, que también pudo favorecer la disminución de casos por enfermedades respiratorias, dado por una mejora en la calidad del aire que favoreció las cifras de la morbilidad en menores de 5 años, comparando la tasa entre enero y marzo del año 2019 que fue de 10,5 con el mismo periodo año 2020 que fue de 2,1 se puede observar las mejoras en los niveles de salud.²⁰

¹⁹ Unidad de atención de Enfermedad Respiratoria Aguda Comunitaria. OPS. Disponible en: https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/UAIRAC_15062012%5B1%5D.pdf

²⁰ Calidad del aire de Bogotá, ¿de vuelta a la “mala normalidad”? El Tiempo Disponible en: <https://www.eltiempo.com/bogota/calidad-del-aire-de-bogota-de-vuelta-a-la-mala-normalidad-508622>

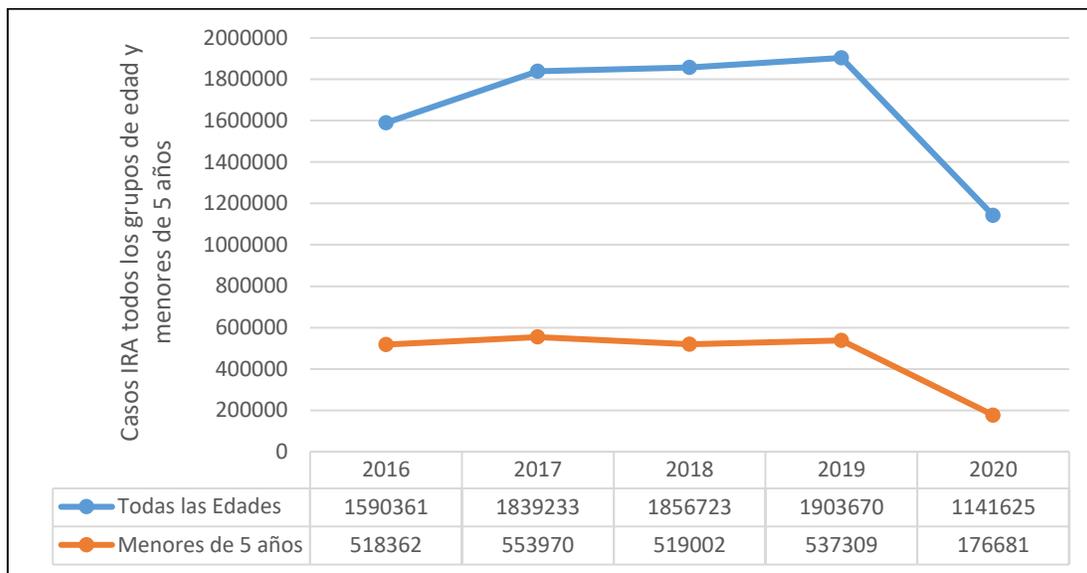


Figura 11-4. Morbilidad por IRA (evento 995-SIVIGILA) en la población general y menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2016 a 2020

Dentro de la vigilancia de la morbilidad por IRA en el Distrito Capital se cuenta con la estrategia de Salas ERA en conjunto con la Línea de Calidad del Aire, Ruido y REM (vigilancia sanitaria y ambiental) en lo que corresponde a notificación y comportamiento del evento. El propósito de una sala ERA es disminuir la morbilidad y mortalidad por ERA en niños manejando tempranamente y de manera estandarizada los casos, basados en protocolos y guías de práctica clínica.²¹

En el año 2020 se atendieron 9.213 casos en las salas ERA en Bogotá, disminuyendo en un 72,95% con respecto al año anterior (n=34.066), el primer trimestre del año fue donde se presentó la mayor asistencia con 8.689 casos, es decir el 94,31% de total, posterior a este periodo se presentó un descenso significativo en la asistencia, dado probablemente por el confinamiento al que fue sometida la población como parte de las medidas de control para evitar el contagio del virus SARS-Cov-2. La localidad donde se presentó la mayor asistencia a las Salas ERA fue Suba con un 19,55% seguido por Ciudad Bolívar con 11,06% y Engativá con 10,27%. Los menores de 1 año representaron el 31,46 % de los casos.

En la Figura 11-5 se muestran los principales diagnósticos atendidos en las Salas ERA, siendo la bronquiolitis el más frecuente con 44,51%, seguido por el Síndrome Bronco obstructivo Recurrente (SBOR), asma o equivalentes. De igual manera, el 14,74% de los casos requirió hospitalización por la complejidad del cuadro clínico. Al 30,98% de los asistentes les fueron tomados Rayos X.

²¹ Guía de promoción atención en enfermedad respiratoria aguda (ERA). Disponible en: <http://www.saludcapital.gov.co/Documents/Guia%20de%20Atenci%C3%B3n%20ERA.pdf>

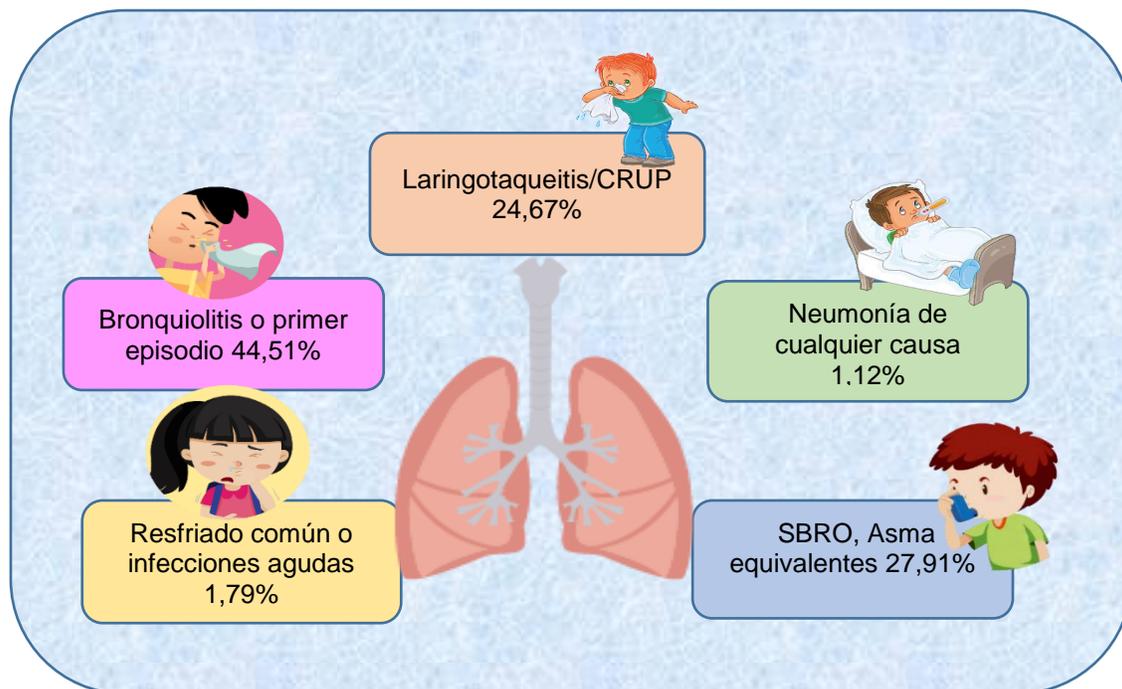


Figura 11-5. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2020

- **Morbilidad Sentida**

El Sistema de vigilancia epidemiológica, ambiental y sanitaria de los efectos en salud por la exposición a contaminación del aire por material particulado, mensualmente realiza el monitoreo de eventos respiratorios en población vulnerable en escolares (0-14 años) y personas mayores de 60 años, por medio de la aplicación de una encuesta de prevalencia de sintomatología respiratoria y factores asociados a contaminación del aire.

En el año 2020 se aplicaron 10.289 encuestas de prevalencia de sintomatología respiratoria a población vulnerable, de las cuales el 32,34% fueron aplicadas a menores de 5 años, 45,87% a niños de 5 a 14 años, y 21,79% a personas mayores de 60 años. En la población menor de 14 años se aplicaron 8.047 encuestas, el 51,29% correspondió al sexo masculino. En los adultos mayores predominó el sexo femenino con el 69,18%.

Con relación a la distribución del estrato socioeconómico de la población encuestada predominó el estrato 2 en las tres poblaciones, seguido por el estrato socioeconómico 3, como se puede observar en la Figura 11-6.

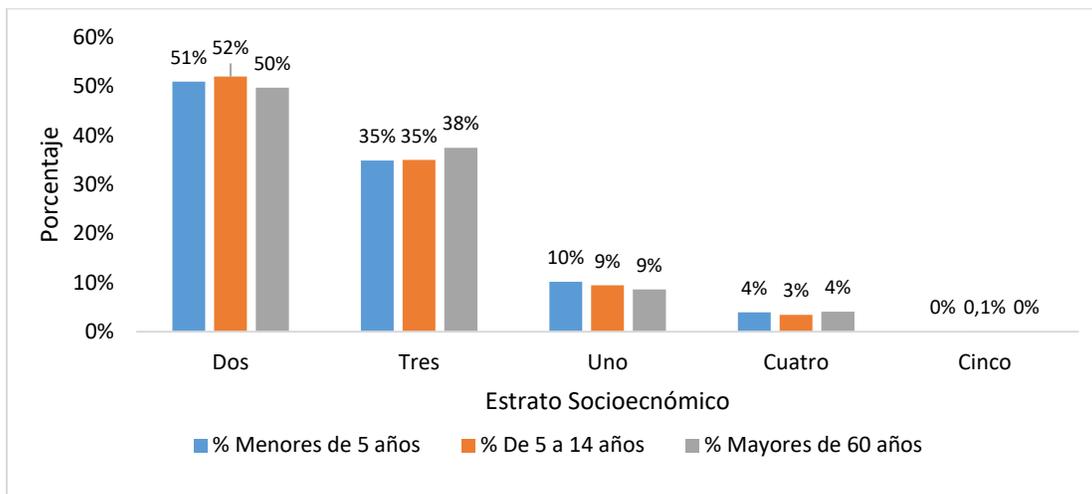


Figura 11-6. Distribución por Estrato Socioeconómico según grupos de población encuestada. Bogotá 2020

Con respecto a la distribución de la población encuestada según el Sistema de Seguridad Social en Salud, predominó el régimen contributivo en las tres poblaciones siendo más alto en los menores de 5 años con el 72%, seguido por el régimen subsidiado con predominio en los adultos mayores de 60 años con el 40%, como se observa en la Figura 11-7.

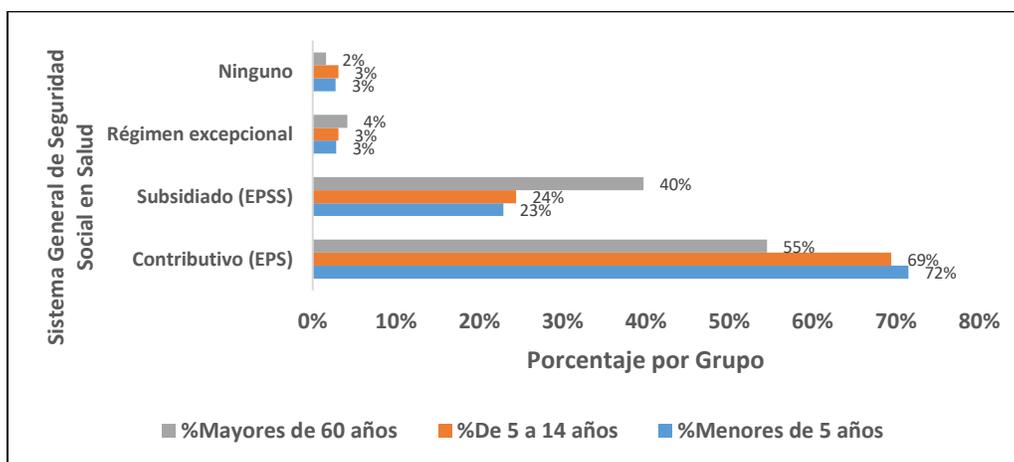


Figura 11-7. Distribución por el Sistema General de Seguridad Social en Salud según grupos de población encuestada. Bogotá 2020

En el marco de la vigilancia de los efectos en salud por contaminación del aire se identifican síntomas trazadores *sibilancias* (ruidos en el pecho) y *tos* (seca diferente de gripa) que son objeto de seguimiento a través del comportamiento de indicadores. De tal manera se calculan indicadores de impacto de la enfermedad respiratoria como *despertar por tos*, *ausentismo escolar* y *ausentismo laboral* del cuidador del niño.

En la Tabla 11-2 se muestra la prevalencia de la sintomatología respiratoria de los menores de 14 años, donde se puede observar que la prevalencia del síntoma “Tos seca sin gripa en el último año” fue mayor en los niños de 5 a 14 años con 8,71%, mientras que la proporción de los demás síntomas

como sibilancias en el último año, despertar por tos, ausentismo escolar y ausentismo laboral fue mayor en los menores de 5 años.

Tabla 11-2. Prevalencia de síntomas respiratorios en menores de 5 años y 5 a 14 años.

Síntomas	Menores de 5 años (n=3327)		Niños de 5 a 14 años (n= 4720)		Total menores de 14 años (n=8047)	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%
Sibilancia en el último año	172	5,17%	74	1,57%	246	3,06%
Tos seca sin gripa en el último año	133	4,00%	411	8,71%	544	6,76%
Despertar por tos	66	1,98%	92	1,95%	158	1,96%
Ausentismo escolar	65	5,16%	122	2,60%	187	2,32%
*Ausentismo laboral	99	2,98%	49	1,04%	148	1,84%

*Ausentismo laboral del padre o cuidador del niño

La presencia de otros síntomas en los menores como por ejemplo mocos y nariz tapada cuando no tienen gripa fue de 12,11% en los menores de 5 años y de 9,17% en los niños de 5 a 14 años, el mayor número de estos síntomas se presentó durante el primer trimestre del año 2020.

En los adultos mayores, el síntoma “Sibilancia en el último mes” alcanzó una proporción del 3,66% (82/2.242) y el indicador de impacto despertar por tos fue de 3,93% (88/2.242).

Por otra parte, la vigilancia realiza seguimiento al consumo de tabaco en los hogares y a la exposición al humo de tabaco, como factor intramural relacionado con la presencia de enfermedad respiratoria y cardiovascular.

La Figura 11-8 presenta la prevalencia por exposición al humo de tabaco, encontrando que el 3,09% de los menores de 14 años se encuentran expuestos al tabaquismo pasivo en sus hogares, lo que aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias como asma y bronquiolitis influyendo tanto en la frecuencia de la enfermedad como en su gravedad, también se ha asociado causalmente la exposición al humo de tabaco con el incremento del riesgo de muerte súbita inexplicable del lactante y sus capacidades de desarrollo neurológicas (alteraciones cognitivas). A largo plazo se pueden presentar otros problemas de adicción, déficit de atención y retrasos escolares²².

El 1,23% de los niños estuvieron expuestos al tabaco durante la gestación; la exposición al tabaco en el útero se asocia con un menor crecimiento fetal, una disminución en el peso al nacer y un incremento significativo de nacimientos con bajo peso. Los menores expuestos nacen con una disminución en la función pulmonar, riesgo aumentado de asma, bronquitis y sibilancias. También puede provocar sobrepeso u obesidad y aumento de peso rápido en la infancia, lo que eleva el riesgo de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2 en la adultez temprana²³.

En los adultos mayores se obtuvo una prevalencia de tabaquismo pesado (más de 10 paquetes de cigarrillos por año) de 11,95% este indicador es utilizado para calcular el riesgo de desarrollar cáncer

²² Tabaquismo pasivo en el niño. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1245178914672723>

²³ Efectos fetales y posnatales del tabaquismo durante el embarazo. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152019000200068

de pulmón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y diabetes tipo II. En el caso de Colombia durante los últimos 6 años el país pasó de 12,9% del consumo al 9,8%, anualmente mueren 34.800 personas por enfermedades atribuibles al consumo de tabaco²⁴. Las enfermedades relacionadas con el consumo de tabaco representan un costo directo anual al sistema de salud de más de 4,5 billones de pesos, la recaudación del impuesto por la venta de cigarrillos cubre solamente un 10% de este gasto²⁵.



Figura 11-8. Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años

Por medio del análisis de regresión logística binaria se pudo identificar factores de riesgo relacionados con la presencia de síntomas respiratorios como sibilancias en el último año y tos sin gripa en el último año dado por exposición a contaminación intramural y extramural.

- **Menores de 5 años**

La Tabla 11-3 muestra los resultados del análisis realizado por regresión logística binaria, donde se identifican factores de riesgo como la edad, antecedentes de enfermedad respiratoria en los menores y en los padres para la presencia de “Sibilancias en el último año”.

El síntoma de “Tos sin gripa en el último año” mostró relación estadística con malnutrición, antecedentes de enfermedad respiratoria, tabaquismo pasivo, permanencia de ventanas cerradas, humedad en la vivienda y presencia de mascotas.

²⁴ Colombia mantiene tendencia a la baja en consumo de tabaco. Minsalud. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-mantiene-tendencia-a-la-baja-en-consumo-de-tabaco.aspx>

²⁵ Hoja informativa: Que entre colores y sabores el tabaco no te enamore. Disponible en: <https://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/Hoja%20informativa%20tabaco%202019.pdf>

Tabla 11-3. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias y tos sin gripa en el último año en menores de 5 años .

Menores de 5 años			
Sibilancias en el Último año			
Variables	p valor	Exp (β) OR	IC 95%
Edad (Entre 2 a 12 meses)	0	8,201	3,829-17,56
Dx Enfermedad de bronquios/pulmones	0,016	3,434	1,254-9,41
Dx Padres con Enfermedad Respiratoria	0,061	1,607	0,979-2,639
Tos sin gripa Último Año			
Variables	p valor	Exp (β) OR	IC 95%
Controles Prenatales	0,034	1,826	1,048-3,183
Dx Malnutrición	0,005	2,735	1,348-5,549
Dx de Enfermedad bronquios/pulmones	0,000	3,452	2,411-4,942
Tabaquismo Pasivo	0,012	2,646	1,237-5,657
Permanencia Ventanas	0,004	1,745	1,198-2,542
Humedad en la vivienda	0,001	2,053	1,358-3,103
Presencia de Mascotas	0,018	1,563	1,080-2,263

- **Niños de 5 a 14 años**

En los niños de 5 a 14 el análisis por regresión logística binaria permitió identificar que antecedentes como diagnóstico de asma y congestión nasal son factores de riesgo para la presencia de Sibilancias en el último año. Antecedentes como bajo peso al nacer y la malnutrición, factores intradomiciliarios como el consumo de tabaco en el hogar, la permanencia de las ventanas cerradas y el funcionamiento de un negocio en la vivienda y extradomiciliarios como la circulación de tráfico pesado cerca de la vivienda de los menores son factores de riesgo para que se produzca el síntoma de tos sin gripa en el último año, tabla 11-4.

Por otra parte, el tener un diagnóstico de enfermedad de Asma aumenta la probabilidad de despertar por tos.

Tabla 11-4. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias, tos sin gripa y despertar por tos en los niños de 5 a 14 años.

Niños de 5 a 14 años			
Sibilancias Último Año			
Variables	p valor	Exp (β) OR	IC 95%
Dx Asma	0,000	5,505	3,104-9,763
Congestión Nasal	0,000	6,882	2,852-16,610
Tos sin gripa Último año			
Variables	p valor	Exp (β) OR	IC 95%
Bajo peso al nacer	0,035	1,579	1,034-2,411
Dx Malnutrición	0,02	1,993	1,117-3,556
Tabaquismo Pasivo	0,031	1,704	1,051-2,763
Dx Padres Enf Respiratoria	0,016	2,127	1,150-3,933

Tipo de Vivienda	0,004	1,847	1,217-2,805
Permanencia de ventanas cerradas	0,002	1,567	1,186-2,070
Humedad en la vivienda	0,000	2,013	1,497-2,708
Funciona Negocio	0,007	1,648	1,146-2,368
Tráfico Cercano	0,000	1,479	1,198-1,826
Despertar por tos			
Variables	p valor	Exp (β) OR	IC 95%
Dx Asma	0,033	2,213	1,066-4,596

- **Mayores de 60 años**

En los adultos mayores de 60 años el análisis de regresión logística binaria permitió identificar que el haber fumado en algún momento de la vida es un factor de riesgo para presencia del síntoma Sibilancias en el último mes y la exposición a tóxicos para la presencia del síntoma Despierta por Tos, además de tener antecedentes de enfermedades respiratorias como la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica, como se observa en la tabla 11-5.

Tabla 11-5. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias y despertar por tos en adultos mayores de 60 años.

Adulto Mayor de 60 años			
Sibilancias Último Mes			
Variables	p valor	Exp (β) OR	IC 95%
Dx EPOC	0,004	2,267	1,307-3,932
Fumo en algún momento de su vida	0,013	1,961	1,154-3,333
Despierta por Tos			
Dx EPOC	0,000	4,318	2,511-7,426
Exposición a tóxicos	0,043	1,571	1,015-2,431

De los resultados anteriores se puede concluir que la exposición a diferentes factores de riesgo tanto intramurales como extramurales por parte de población vulnerable a la contaminación del aire, así como al humo de cigarrillo y antecedentes propios, provocan la presencia de síntomas relacionados con problemas respiratorios y cardiovasculares.

11.3. VIGILANCIA AMBIENTAL

La Secretaría Distrital de Salud realiza el análisis de los niveles de calidad del aire en la ciudad de Bogotá y las excedencias presentadas con base en la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de Salud – OMS y los Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3); con base en los datos reportados por la Red Monitoreo Calidad de Aire de Bogotá -RMCAB.

- **Calidad del aire extramural**

Las guías de calidad del aire de la OMS tienen como objetivo dar orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud, con valores de concentración guía de contaminantes como PM₁₀ y PM_{2.5} promedio diarios (24 horas) y anuales recomendados para disminuir la exposición y los posibles efectos a la salud causados por la contaminación del aire en la

población, por tal motivo se realiza el análisis a las excedencias presentadas con respecto a los valores guía dados por la OMS²⁶.

- **Material particulado PM₁₀ en Bogotá 2020**

En cuanto a excedencias diarias durante el año 2020 para PM₁₀, teniendo en cuenta la guía establecida por la OMS de (50µg/m³) para exposiciones de 24 horas, en Bogotá se reportaron 770 excedencias, en 13 estaciones de monitoreo, siendo las estaciones de Carvajal-Sevillana (240), Kennedy (102), Móvil 7ma (96) y Tunal (84), las que registraron el mayor porcentaje de excedencias para periodo analizado, mientras que las estaciones con menos excedencias fueron Centro Alto Rendimiento (10), MinAmbiente (10), Guaymaral (8) y Usaqué (8), teniendo en cuenta que en esta última entre el 16 de abril y el 8 de octubre no contó con registro de concentraciones; en la (figura 11-9), se puede observar el número de excedencias según el análisis del total de los promedios diarios reportados de PM₁₀.

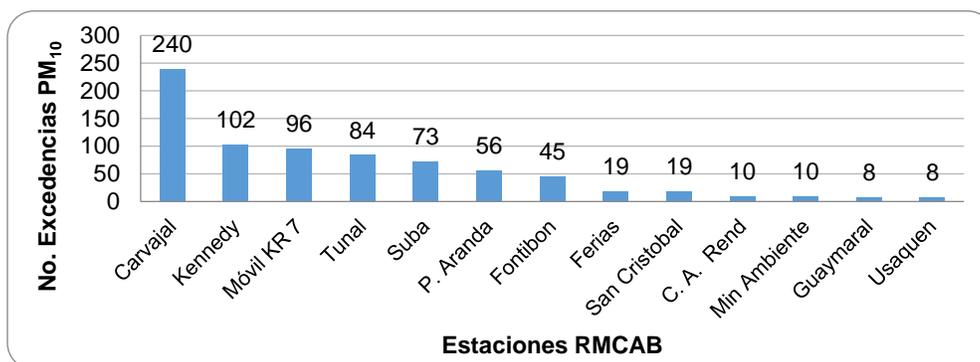


Figura 11-9. Número de excedencias anuales, de PM₁₀ con respecto a la guía OMS en las estaciones de la RMCAB 2020

Con respecto a las concentraciones de PM₁₀ promedio anuales, se tiene que las concentraciones más altas se presentaron en las estaciones de Carvajal (64,3µg/m³), Kennedy (41,0µg/m³), Móvil Kr7 (39,8µg/m³) y Tunal (36,5µg/m³), mientras que las estaciones que reportaron menor concentración promedio anual fueron Ferias (23,6µg/m³), Usaqué (21,9µg/m³), Centro A. Rendimiento (21,4µg/m³) y Min. Ambiente (21,1µg/m³); Finalmente se tiene que el mes de marzo presentó las concentraciones promedio mensual más altas, como la estación Carvajal con 87,8µg/m³, mientras que el mes de mayo registró las concentraciones promedio mensual más bajas, siendo la estación de Guaymaral con 10,1µg/m³, la que presentó la menor concentración y la estación Carvajal durante el mes de mayo presentó el valor más alto con 44,8µg/m³; frente a los valores máximos permisibles de la Guía-OMS de 20µg/m³, ninguna estación se encontró por debajo del promedio anual, siendo la estación del Centro de Alto Rendimiento y Min. Ambiente las más cercanas, al valor guía, igualmente respecto al valor permisible establecido en la Resolución 2254 de 2017 de 50µg/m³, la estación Carvajal se encontró por encima del valor referencia, como se muestra en la Figura 11-10.

²⁶ Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre Actualización mundial 2005. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

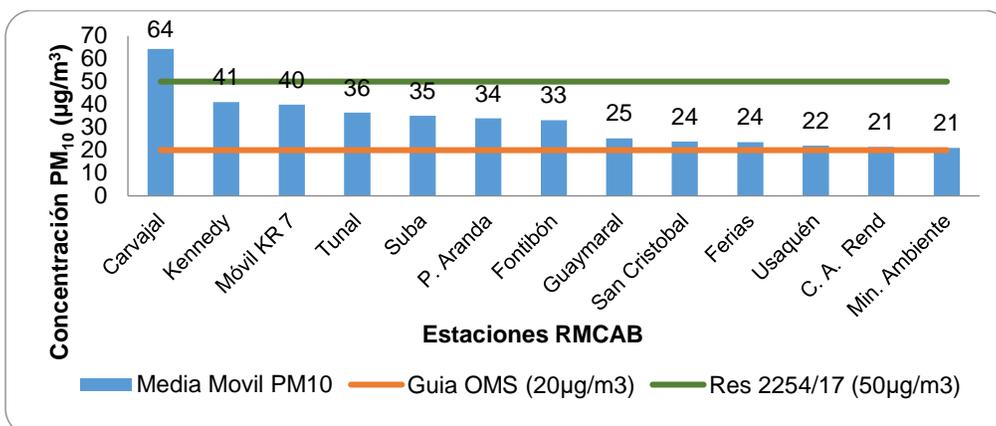


Figura 11-10. Concentración promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS y Res. 2254/17 de material particulado PM10 en Bogotá enero – diciembre 2020

En la Tabla 11-6, se puede observar, el porcentaje de excedencias respecto a los objetivos intermedio de la Guía OMS para concentraciones de 24 horas, por lo que se tiene respecto al OI-1 que ninguna estación presentó excedencias y por tanto todas las estaciones cumplieron con dicho objetivo, respecto al OI-2 el 85% (11/13) de las estaciones cumplieron con dicho objetivo, siendo la estación de Carvajal y móvil Kr 7 las que presentaron excedencias del 8% y 1% respectivamente, siguiendo con el OI-3 el 31% (4/13) de las estaciones cumplieron con el objetivo, las excedencias se encontraron entre el 1% y el 29%, siendo la estación de Carvajal (29%) la que mayor porcentaje presentó y solo las estaciones de Guaymaral, Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Min. Ambiente, cumplieron con el objetivo, cabe recordar que la estación de Usaquén no contó con registró entre abril y octubre, y respecto al GCA-OMS, las excedencias se encontraron entre el 2% y 70%, y ninguna estación se encontró por debajo del nivel Guía de la OMS de 50µg/m³

Tabla 11-6. Porcentaje de excedencias en concentraciones promedio de 24 horas (enero – diciembre) de PM10, respecto a la guía OMS y Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3) por estación – Año 2020

PM ₁₀ EXCEDENCIAS OMS ENE A DIC 2020	GYR	USQ	MOV	SUB	CDAR	LFR	CSE	KEN	FTB	PTE	TUN	SCR	MAM
% CON RESPECTO AL OI-1 150µg/m ³	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% CON RESPECTO AL OI-2 100µg/m ³	0%	0%	1%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% CON RESPECTO AL OI-3 75µg/m ³	0%	0%	3%	3%	0%	1%	29%	2%	1%	1%	2%	1%	0%
% CON RESPECTO A LA GUÍA OMS 50µg/m ³	2%	5%	27%	20%	3%	6%	70%	28%	13%	16%	23%	5%	3%

En la Figura 11-11, se observan las barras azules muestran cuál es el nivel de concentración de material particulado en los últimos 5 años, en Bogotá. La línea azul representa la concentración mínima de material particulado que debería tener la ciudad según la OMS en la Guía de Calidad de aire y la línea amarilla corresponde a la meta a 2030 establecido en la resolución 2254 de 2017; La

figura refleja que frente al objetivo intermedio 1 (OI-1), se viene dando cumplimiento, así como el objetivo 2, sin embargo, tanto para el objetivo 3 y el valor guía de la OMS no se ha dado cumplimiento, no obstante se observa una reducción gradual de la concentración media anual a partir del año 2017, y para el año 2020 se observa la menor concentración aproximándose a cumplir el objetivo 3.

El ideal de la OMS es que las ciudades presenten una concentración promedio anual de a de 20 microgramos de material particulado PM₁₀ por metro cúbico de aire.

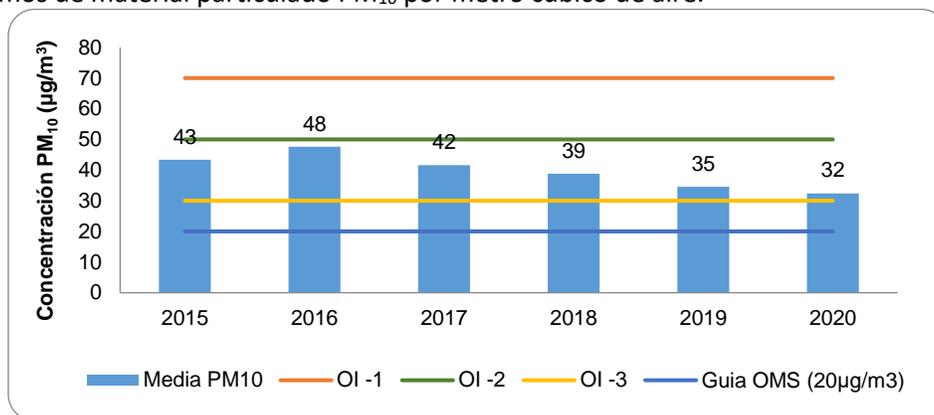


Figura 11-11. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM₁₀ Bogotá 2015-2020.

Continuando con el análisis a la exposición aguda, es decir concentración en 24 horas, la temporalidad de las excedencias diarias del material particulado (PM₁₀) en Bogotá, y teniendo en cuenta los años 2015 a 2020, como se observa en la figura 11-12, de forma histórica se presenta un pico de excedencias; el primero en los meses de febrero y marzo y un leve aumento en las concentraciones entre octubre y noviembre, evidenciando que los niveles más bajos en el año se presentan en junio y julio. De igual forma se observa que a partir del mes de abril el número de excedencias se redujo frente a los años anteriores.

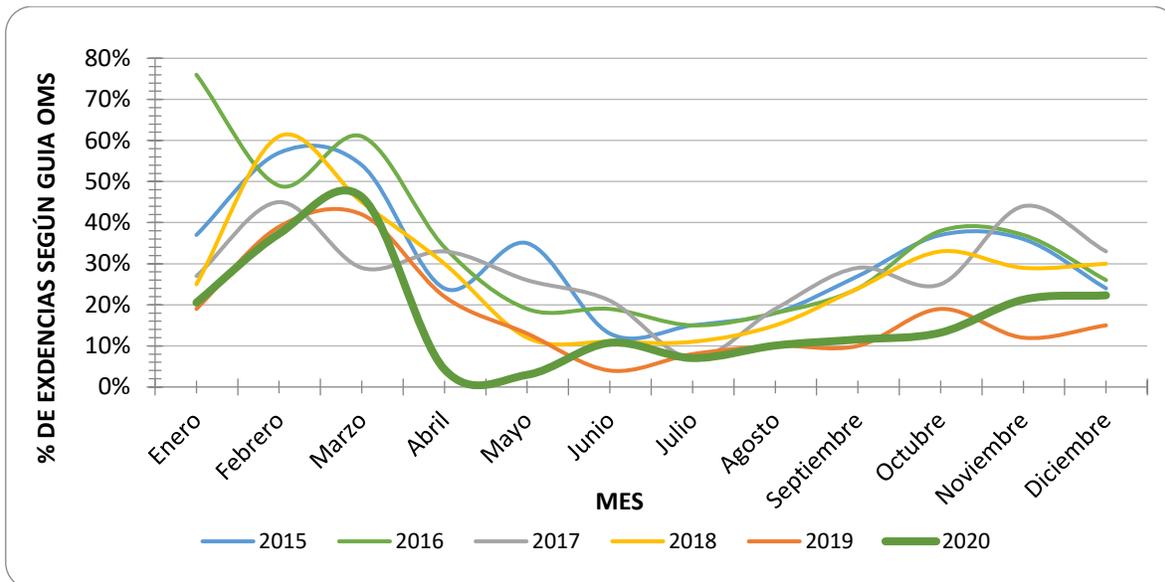


Figura 11-12. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2020

- **Material Particulado PM_{2.5}**

Del mismo modo se presentaron excedencias diarias de PM_{2.5}, con un total de 957, siendo las estaciones de Carvajal (179), Kennedy (108), Móvil 7ma (103) y Fontibón (94), las que presentaron mayor número de excedencias con respecto a la guía establecida por la OMS de (25µg/m³) para 24 horas), como se observa en la figura 11-13; Las estaciones que registraron menos excedencias a diciembre, fueron Usaquén (44), Guaymaral (38), Min. Ambiente (35) y San Cristóbal (31).

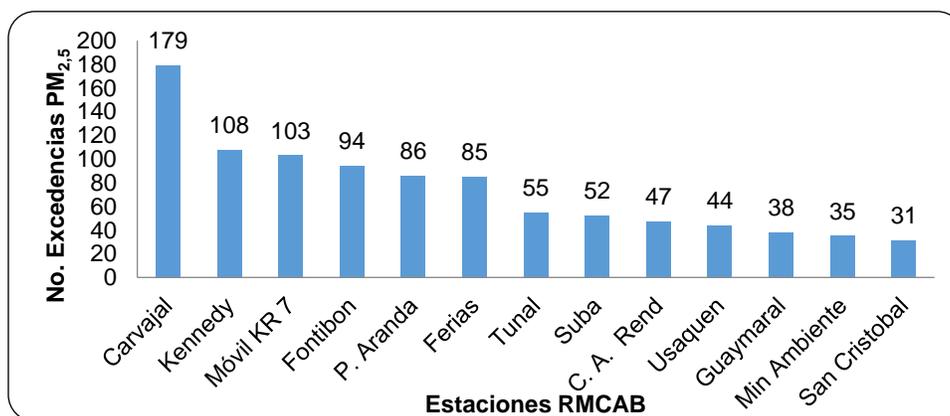


Figura 11-13. Comportamiento anual (enero – diciembre) de excedencias del contaminante PM2.5 con respecto a la guía OMS en las estaciones de la RMCAB 2020

Al igual que el PM₁₀, el PM_{2.5} durante este periodo las concentraciones promedio anuales más altas se presentaron en la estación Carvajal-Sevillana (26,8µg/m³), Kennedy (21,0µg/m³) y Fontibón (20,5µg/m³), mientras que las estaciones con menores concentración promedio anuales fueron,

Tunal (13,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), MinAmbiente (12,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y San Cristóbal (11,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); Por otra parte se tiene que el primer trimestre del año se presentaron las concentraciones más altas, siendo el mes de marzo donde se registraron las concentraciones promedio mensual más altas, como en la estación Carvajal con 43,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el mes de mayo se registraron las concentraciones más bajas como en la estación San Cristóbal con 5,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la estación Carvajal-Sevillana registro 17,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo las más alta durante el mes de mayo; en este sentido se tiene que frente a al valor guía de la Resolución 2254 de 2017 de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, solo la estación Carvajal se encontró por encima de dicho valor y frente al valor de la guía-OMS de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ninguna estación se encontró por debajo siendo la estación San Cristóbal la más próxima a cumplir con este valor guía. Figura 11-14.

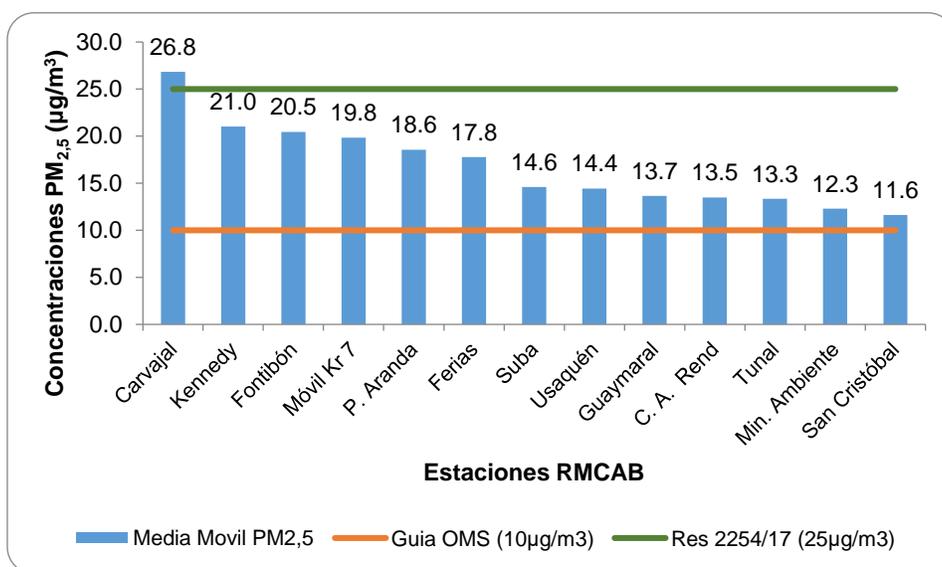


Figura 11-14. Concentración promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS y Res. 2254/17 de material particulado PM_{2.5} en Bogotá, enero a diciembre 2020.

Según la guía de la OMS en el seguimiento a los valores guía para la media de 24 horas esté protegerá frente a niveles máximos de contaminación que de otra manera determinarían un exceso sustancial de morbilidad o de mortalidad en la población expuesta, por tal razón se realiza el análisis al comportamiento de las concentraciones horarias de los contaminantes PM₁₀ y PM_{2.5}, para cada estación de monitoreo de la RMCAB y a partir del número de excedencias presentadas se conoce el porcentaje de incumplimiento con respecto a cada uno de los valores guía de la OMS.

En la Figura 11-7, se observa el porcentaje de excedencias de contaminante PM_{2.5} frente a cada objetivo intermedio establecido en la Guía de Calidad de aire de la OMS (GCA-OMS); Frente al OI-1, todas las estaciones se encontraron por debajo de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y por tanto cumplieron con este objetivo, respecto al OI-2 el 31% (4/13) de las estaciones cumplieron con el objetivo, las cuales fueron Guaymaral, Usaquén, San Cristóbal y Min. Ambiente, mientras las demás estaciones presentaron excedencias entre 1% y el 4%, respecto al O-I3 las excedencias estuvieron entre el 2% y el 20% y ninguna estación cumplió con este objetivo, de igual manera respecto al valor de GCA-OMS, todas las estaciones presentaron excedencias, las cuales se

encontraron entre el 9% y 51%, siendo la estación Carvajal la que mayor porcentaje de excedencias presentó durante el año 2020.

Tabla 11-7. Porcentaje de excedencias diarias (enero – diciembre) del contaminante $PM_{2.5}$ con respecto a la guía OMS y los Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3) por estación de la RMCAB 2020.

PM _{2.5} EXCEDENCIAS OMS ENE A DIC 2020	GYR	USQ	MOV	SUB	CDAR	FER	CVS	KEN	FON	PTE	TUN	SCR	MAM
% CON RESPECTO AL OI-1 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% CON RESPECTO AL OI-2 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0%	0%	2%	1%	1%	1%	4%	2%	2%	1%	1%	0%	0%
% CON RESPECTO AL OI-3 37,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3%	3%	11%	3%	3%	4%	20%	9%	7%	8%	3%	2%	2%
% CON RESPECTO A LA GUÍA OMS 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10%	12%	29%	14%	13%	26%	51%	31%	26%	23%	15%	9%	9%

Por otra parte teniendo en cuenta la concentración promedio anual para Bogotá, de material particulado $PM_{2.5}$, entre 2015 y 2019 se observa una concentración promedio de 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que para el año 2020 la concentración media anual fue de 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en este sentido se observa un cumplimiento frente a los objetivos intermedios de la OMS 1 y 2, ahora bien frente al objetivo 3, la ciudad se encuentra muy cerca de cumplir dicho objetivo de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual se establece como objetivo para el año 2030 en la resolución 2254 de 2017; por otra parte es importante que la ciudad siga trabajando para cumplir los objetivos y lograr reducir la concentración promedio anual al nivel recomendable en la Guía OMS de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cabe anotar que esta fracción de material particulado es una de las que más incidencia tiene en la salud, Figura 11-15.

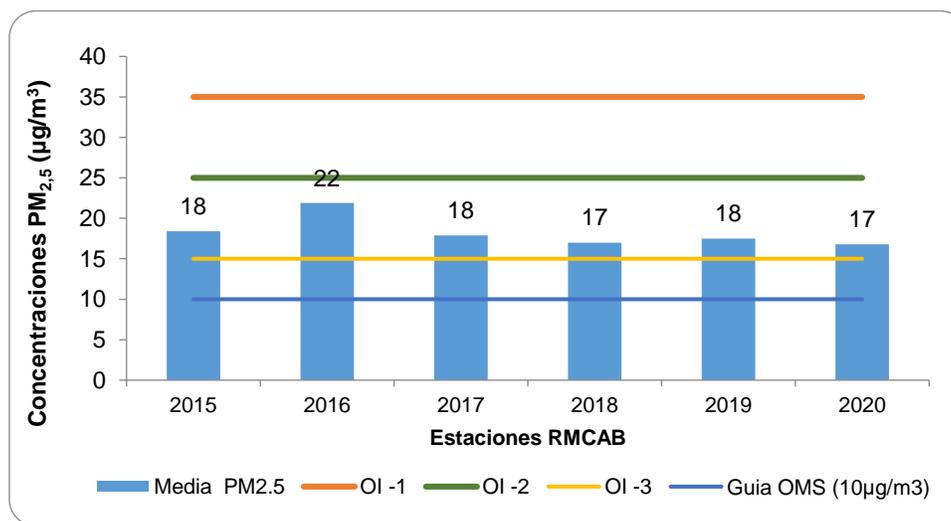


Figura 11-15. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado $PM_{2.5}$ Bogotá 2015-2020

Tomando como línea base los datos históricos y comparándolos frente los diferentes objetivos establecidos por la OMS, para el caso del material particulado $PM_{2.5}$ para el año 2020 se observa que entre el mes de febrero y marzo se presentaron excedencias por encima respecto a los años anteriores, sin embargo, a partir del mes de abril se observa

una reducción de excedencias hasta el mes de octubre, mientras que a partir del mes de noviembre presenta un pequeño incremento, es importante tener en cuenta que a partir de la cuarta semana del mes de marzo tanto la ciudad como el país inicio las cuarentenas a causa de la pandemia por COVID-19, que llevaron al cese de actividades industriales comerciales, de transporte entre otras. Figura 11-16.

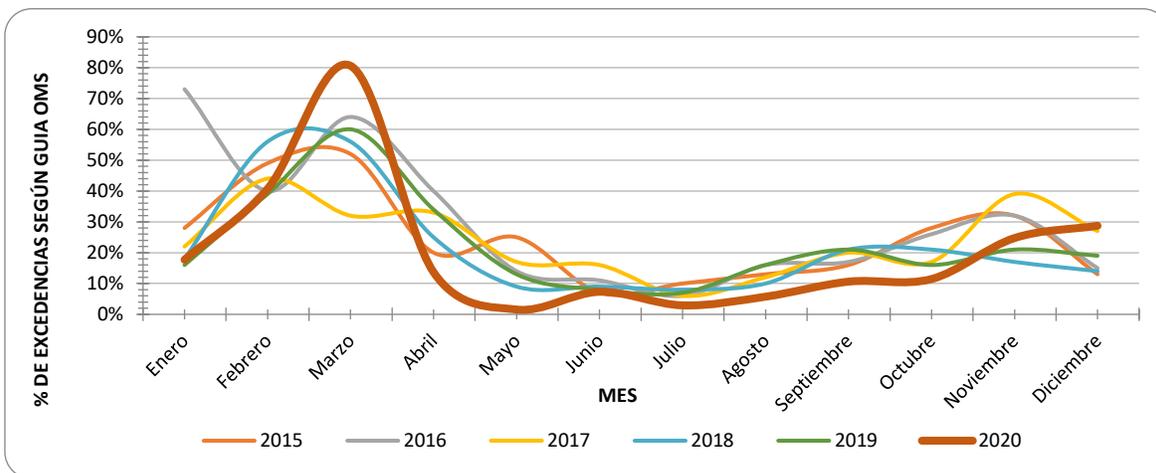


Figura 11-16. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado $PM_{2.5}$ respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2020

- **Calidad del aire intramural**

En el marco de las intervenciones o actividades realizadas por la línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética de la Secretaría Distrital de Salud a través de las cuatro Subredes Integradas de Servicios de Salud con las que cuenta el Distrito Capital (Norte, Centro Oriente, Sur Occidente y Sur), se encuentra la ejecución de monitoreos intramurales empleando equipos de medición para determinados contaminantes. Esta actividad se viene desarrollando desde el primer semestre del año 2018, inicialmente como una prueba piloto y posteriormente como parte de la vigilancia epidemiológica, ambiental y sanitaria de la línea.

Durante 2020 se llevaron a cabo, 27 monitoreos intramurales en 16 localidades de la ciudad 3 de ellos relacionados con fuentes generadoras de olores ofensivos, en cercanía a fuentes fijas o móviles de emisiones atmosféricas como industrias, fabricas, cementerios, relleno sanitario o sitios de disposición inadecuada de residuos sólidos, industria de metal mecánica, o mecánica automotriz. Tabla 11-8.

En los diferentes puntos de monitoreo, son realizados en instituciones como IPS, instituciones educativas, propiedad horizontal, establecimientos comerciales, entre otros, en los que de manera simultánea se realiza medición de gases y material particulado.

Tabla 11-8. Monitoreos intramurales por localidad, enero a diciembre 2020, Bogotá.

Localidad	Contaminación del aire	Olores ofensivos
Usaquén	1	
Chapinero	1	
Barrios Unidos	1	
Engativá	2	
Suba	2	
Santafé	1	
Mártires	1	
Antonio Nariño	1	
Rafael Uribe	2	
Usme	1	
Tunjuelito		1
Ciudad Bolívar	3	
Bosa	2	1
Kennedy	2	
Puente Aranda	1	
Fontibón	3	1
Bogotá	24	3

Cabe mencionar que en Colombia no existen valores de referencia o límites máximos permisibles normativos para contaminantes en espacios interiores; por ende, es necesario remitirse a guías, normas, estudios y demás información relacionada con este tema que haya sido desarrollada en otros países para el respectivo análisis. La Organización Mundial de la Salud en 2010, desarrolló unos lineamientos o guía para la calidad del aire interior que incluye un total de nueve contaminantes (Benceno, Monóxido de Carbono, Formaldehído, Naftaleno, Dióxido de Nitrógeno, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Radón, Tricloroetileno, Tetracloroetileno); en ese documento no aparecen valores de referencia para material particulado ni tampoco para sulfuro de hidrogeno.

El monitoreo de la contaminación del aire interior y exterior puede indicar una posible exposición humana a contaminantes del aire. Las exposiciones individuales y de la población a los contaminantes del aire dependen de muchos factores, como el tiempo que se pasa al aire libre y en interiores, la permeabilidad de las estructuras de las viviendas y la movilidad dentro de una comunidad²⁷.

Por tanto, a continuación, se presenta los resultados de la intervención realizada en la localidad de Fontibón que hace parte de los monitoreos intramurales que fueron programados para el periodo 2020 en las diferentes Subredes siguiendo el cronograma establecido, con el fin de medir las concentraciones de material particulado (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, partículas respirables y partículas totales) y sulfuro de hidrogeno (H₂S)²⁸.

- **Punto de monitoreo salón comunal – Fontibón**

²⁷ Community-based exposure estimate for hydrogen sulfide. Inserra, Steven. 2, 2002, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, Vol. 12, págs. 124 - 129.

²⁸ Secretaría Distrital de Salud. Informe monitoreo intramural de material particulado y sulfuro de hidrogeno localidad de Fontibón. Bogotá: s.n., 2020.

El Salón Comunal La Cabaña se encuentra ubicado en la KR 100 23G 18 de la localidad de Fontibón. El Jardín Cementerio Fontibón se encuentra a una distancia de 158 metros aproximadamente de este salón. Como otras fuentes potenciales se encuentran vías por donde transitan vehículos de diferentes tipos (fuentes móviles).

El monitor de partículas DustTrak DRX Pro se instaló al interior del Salón Comunal, el equipo monitorea material particulado (PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , partículas respirables y partículas totales), como se muestra en el siguiente registro fotográfico (Imagen 11-17).



Figura 11-17. Punto de monitoreo Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre 2020

El equipo se instaló desde el día 16 de septiembre al 19 de octubre de 2020, obteniendo un total de 795 registros horarios y 34 registros promedios diarios para cada variable arrojada por el equipo, según la metodología establecida en el Protocolo de monitoreo intramural para calidad del aire de la línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética, teniendo en cuenta las condiciones y tipo de intervención, en cuanto a los resultados de los promedios diarios teniendo en cuenta todos los tamaños de partícula monitoreados por el equipo se presentaron concentraciones promedio diarias entre $7,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $53,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así mismo las partículas monitoreadas presentaron un comportamiento similar, exceptuando el día 23 de septiembre.

Al comparar los valores de PM_{10} y $PM_{2.5}$ estos presentan un comportamiento similar para los promedios de 24 horas como se muestra en la figura 11-18. Sin embargo, se aclara que en el día 23 de septiembre se presentaron valores atípicos que afectaron el promedio diario ostensiblemente; en los días 16 de septiembre y 19 de octubre, los registros horarios no cumplen con la representatividad de datos referente al 75% (18 registros/día), puesto que corresponden a los días de instalación y retiro de los equipos de medición. En estos 2 días se cuenta con 14 y 13 registros respectivamente, por lo tanto, no es objetiva la comparación para promedios diarios.

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB
INFORME ANUAL

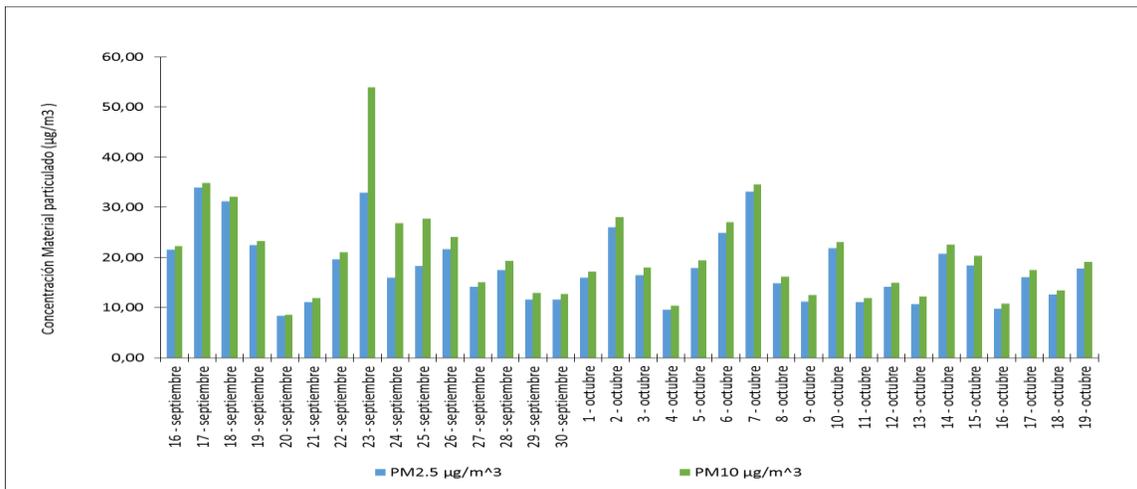


Figura 11-18. Comportamiento promedio diario material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}. Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre - octubre 2020

En el comportamiento horario de PM_{2.5} y PM₁₀ durante el tiempo de monitoreo se evidenció un incremento en los valores de concentración a partir de las 4:00 am, presentando un primer pico a las 6:00 am, con valores de 23,67 µg/m³ y 24,82 µg/m³ para PM_{2.5} y PM₁₀ respectivamente; un segundo pico se presenta para PM₁₀ sobre las 9:00 am con un valor promedio horario de 27,21 µg/m³.

En horas de la noche, se presenta el pico de contaminación más elevado sobre las 8:00 pm en donde las concentraciones promedio fueron de 23,21 µg/m³ y 24,55 µg/m³ para PM_{2.5} y PM₁₀ respectivamente. Después de presentarse este último pico, las concentraciones medias tienden a disminuir sus valores hacia la media noche como lo muestra la Figura 11-19.

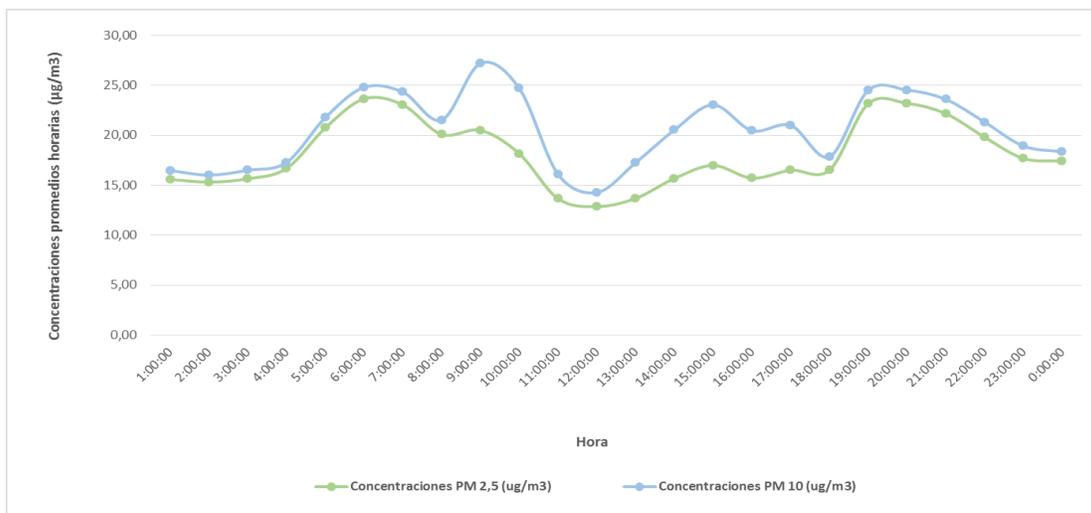


Figura 11-19. Comportamiento promedio horario material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}. Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre - octubre 2020

En términos generales, se puede afirmar que el comportamiento horario es fluctuante, se da claridad que estos registros por ser promedios aritméticos se pueden ver afectados por valores atípicos, como los registros obtenidos el día 23 de septiembre entre la 1:40 p.m. y las 5:40 p.m.

Como se mencionó en la introducción de este apartado, en Colombia no existen límites normativos para contaminantes en espacios interiores. Así en base a la guía y estándares de la EPA – Estándar Nacional de Calidad del Aire Ambiental, CA – Norma de calidad del aire ambiente de California, los registros presentan un comportamiento similar a los niveles encontrados comúnmente en interiores para PM₁₀ con valores promedios diarios entre 8,58 µg/m³ y 34,88 µg/m³; para PM_{2.5} si se presentan valores por encima de las directrices referenciadas en algunos días con concentraciones promedio diarias entre 8,38 µg/m³ y 33,96 µg/m³.

- **Monitoreo intramural sulfuro de hidrógeno**

El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, inflamable y extremadamente peligroso con olor a "huevo podrido". Se presenta de forma natural en petróleo crudo y gas natural, y puede ser producido por la descomposición de materia orgánica y desechos humanos/animales (por ejemplo, aguas residuales domésticas). Es más pesado que el aire y puede acumularse en áreas bajas y cerradas, pobremente ventiladas, como sótanos, bocas de registros, bóvedas subterráneas para líneas de alcantarillado y teléfonos/eléctricas. Según el New Jersey Department of Health el umbral de olor para este gas es de 0.008 a 0.1 ppm (No se puede percibir el olor del sulfuro de hidrógeno en concentraciones superiores a 100 ppm). Con el fin de contextualizar los efectos en salud por la exposición a este gas odorífero, se presentan en la tabla 11-9 las relaciones dosis – efecto:

Tabla 11-9. Sulfuro de hidrógeno: relaciones establecidas de dosis-efecto

Concentración de Sulfuro de Hidrógeno		Efecto
mg/m ³	ppm	
1400 - 2800	1000 - 2000	Colapso inmediato con parálisis de respiración
750 - 1400	530 – 1000	Estimulación fuerte al Sistema Nervioso Central, hiperpnea seguida de paro respiratorio
450 - 750	320 - 530	Edema pulmonar con riesgo de muerte
210 - 350	150 – 250	Pérdida de sentido olfativo
70 - 140	50 – 100	Daño grave en los ojos
15 - 30	10 - 20	Umbral para irritación en ojos

Fuente: OMS, 1981; Nordiska expert gruppen f6r gransvardes dokumentation, 1982; citados por OMS - Oficina Regional para Europa, 2000.

En el marco de la Resolución 1229 de 2013 mediante la cual se establece el Modelo de Inspección, Vigilancia y Control Sanitario y de acuerdo con la Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C 2011-2023; la Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética incorporó dentro de sus actividades o intervenciones el monitoreo intramural de contaminantes, incluidos aquellos relacionados con la generación de olores ofensivos. El ToxiRAE Pro (configuración H₂S) es uno de los equipos empleados para la vigilancia de este tipo de contaminación a nivel intramural; su uso en esta intervención es para determinar la presencia y posible afectación de este gas odorífero en inmediaciones al Jardín Cementerio Fontibón por el funcionamiento de los hornos crematorios.

Durante el periodo monitoreado (16 de septiembre al 19 de octubre) las concentraciones registradas por el equipo ToxiRAE Pro fueron iguales a cero.

Se puede concluir a partir de los monitoreos realizados, que el sulfuro de hidrógeno no está relacionado con las emisiones generadas por el funcionamiento y operación de los hornos crematorios, lo cual se puede corroborar al revisar los estándares de emisiones admisibles para estas unidades en la normatividad nacional vigente. En el monitoreo intramural de este gas odorífero realizado al interior del Salón Comunal cercano a los hornos crematorios del Jardín Cementerio Fontibón, se registraron concentraciones promedio iguales a cero para este contaminante en el periodo de tiempo establecido; lo cual es acorde a las referencias bibliográficas y normativas de las emisiones asociadas a este tipo de actividad.

Sin embargo, no se debe descartar que se hayan presentado concentraciones bajas de sulfuro de hidrógeno teniendo en cuenta que de acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante sobre el sensor que posee el equipo ToxiRAE Pro, la resolución de este no permite detectar concentraciones de este gas odorífero por debajo de 1 ppm. Es importante mencionar que como se indicó anteriormente, este umbral de olor para este gas es muy bajo (0.008 a 0.1 ppm), por ende, es perceptible por el sistema olfativo en concentraciones bajas que, si bien no están asociadas bibliográficamente a efectos en salud, pueden generar molestias en los receptores sensibles.

En cuanto a las mediciones intramurales de material particulado realizadas, se evidencian registros promedio horarios para $PM_{2.5}$ entre $12,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $23,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para PM_{10} entre $14,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $27,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, variando su comportamiento según el día de la semana en el periodo de 4:00 a.m. a 8:00 p.m.

El análisis de las concentraciones de contaminantes en interiores se dificulta en la medida que en la actualidad no se cuenta con normatividad en el país que permita comparar niveles máximos permisibles con los datos obtenidos durante la ejecución de este tipo de intervenciones. No obstante, la Secretaría Distrital de Salud y las cuatro Subredes Integradas de Servicios de Salud que operan en la ciudad, pretenden visibilizar la importancia de una reglamentación en este ámbito y de analizar la exposición a contaminantes en espacios interiores y los posibles efectos en salud.

11.4. VIGILANCIA SANITARIA

La vigilancia sanitaria contempla la atención a quejas y solicitudes presentadas por la comunidad por temas relacionados con contaminación del aire, olores ofensivos o humo de tabaco, haciendo un reconocimiento y atención a estas solicitudes que pueden generar afectaciones en la salud de las personas. Debido a la pandemia relacionada al Coronavirus SARS-Cov-2, y teniendo en cuenta las medidas de prevención para la disminución de propagación de aislamiento y distanciamiento social, la actividad de aplicación de encuestas de percepción en la atención de quejas fue suspendida desde el mes de abril lo que se refleja en la disminución de quejas durante este periodo y se retoma a partir del mes de septiembre.

Durante el 2020 como se puede ver en la Figura 11-20, se atendieron un total de 103 quejas en Bogotá, 52 peticiones relacionadas a olores ofensivos, 28 por contaminación del aire y 23 por humo

de tabaco, de las cuales en la Subred Sur Occidente se presentaron el mayor número de quejas (38), seguido por la Subred Norte (37), la Subred Sur (16) y la Subred Centro Oriente (12); las localidades que más reportaron quejas fueron Kennedy (17) y Usaquén (9).

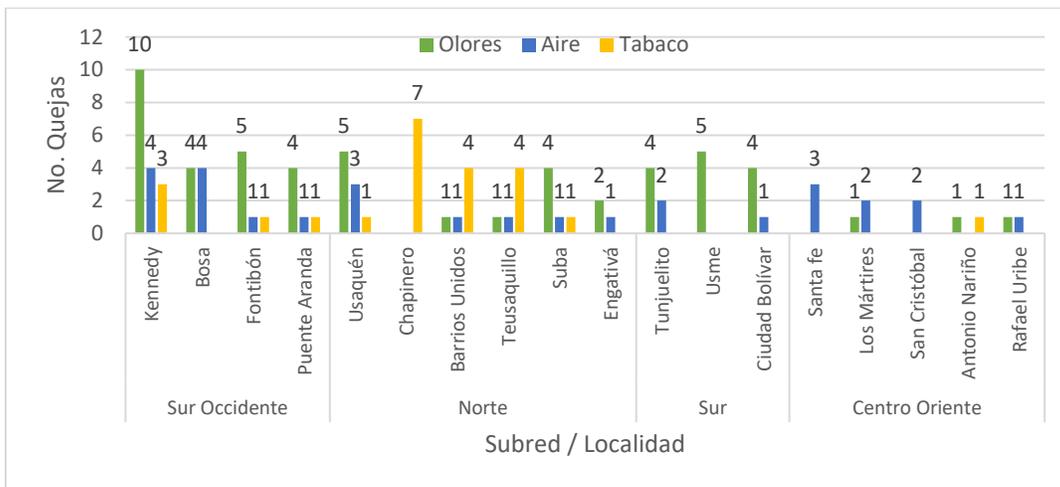


Figura 11-20. Atención a quejas por contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco en las localidades del distrito, enero –diciembre 2020.

Como se observa en la figura 11-21 el mayor porcentaje de quejas corresponde a quejas por olores ofensivos un 50%, principalmente en la zona sur occidental y en especial la localidad de Kennedy (10) y le sigue Fontibón (5), Usme (5) y Usaquén (5), fueron las localidades con mayor reporte de quejas por este motivo, en cuanto a quejas por calidad de aire corresponde al 27% de las quejas y fueron las localidades de Kennedy (4), Bosa (4) Usaquén (3) y Santafé (3) las que presentaron el mayor número de quejas por contaminación del aire y el 22% restante corresponde a quejas por humo de tabaco, siendo la localidad de Chapinero (7) la que presentó el mayor número de quejas



Figura 11-21. Distribución de quejas por contaminación del Aire, Olores y humo de tabaco, por Subred enero-diciembre 2020.

11.5. MOVILIZACIÓN SOCIAL

Como un componente importante del proceso de salud ambiental se encuentra las actividades de información, educación y comunicación del riesgo por la exposición a contaminación del aire a nivel intramuros (disminución de intoxicaciones por monóxido de carbono y del consumo de tabaco) y extramural, que van encaminadas al cambio de comportamiento, actitudes y prácticas de la comunidad y cuidados en salud.

A diciembre de 2020, se realizaron 12 talleres de comunicación social del riesgo, como se observa en la figura 11-22, en las temáticas de contaminación del aire y exposición a humo de tabaco así como 1 jornada de profundización el día sin Carro y Moto en las que se logró sensibilizar a 1.049 personas, siendo 770 de ellas intervenidas en la jornada del día sin carro y sin moto desarrollado en el mes de febrero 2020.

Siguiendo las recomendaciones de aislamiento y distanciamiento social a causa del COVID-19, las actividades de comunicación social del riesgo quedaron suspendidas desde el mes de abril, sin embargo, se realizaron infografías comunicativas dentro del marco del día mundial sin Tabaco y el día del medio ambiente.



10 talleres y 1 jornada de profundización por contaminación del aire con 1004 participantes.



2 talleres en ambientes libre de humo de tabaco.
Participaron 45 personas.

Figura 11-22. Acciones de Movilización y comunicación social del riesgo en el distrito enero –diciembre 2020

Las jornadas de profundización son principalmente actividades de carácter educativo que pretenden impactar el mayor número de personas en una jornada de un día por localidad, brindando información importante sobre un tema específico o de interés para el mes o el día en que se realiza la actividad, sin embargo como se mencionó anteriormente producto de las medidas para disminuir la propagación del COVID-19, no se programaron actividades que requirieran aglomeración de personas, no obstante se realizaron infografías socializadas a través de redes sociales y publicadas en la página web de la Secretaría de Salud.

- **Jornada del día sin carro y sin moto 2020**

El jueves 6 de febrero, se inició la jornada con la actividad principal la cual conto con el apoyo de varios equipos de las Subredes Integradas de Salud, y la coordinación logística del equipo de Espacio público, en donde se realizó una figura de pulmones en el parque Distrital Simón Bolívar acompañada del mensaje: “Aire limpio para los pulmones de Bogotá”.



Figura 11-23. “Aire limpio para los pulmones de Bogotá”.

Así mismo la línea de aire, ruido y radiación electromagnética dentro del marco del día sin carro y moto en Bogotá, realizó actividades pedagógicas, donde participaron **770** personas en **8** puntos de la ciudad, de los cuales 1 corresponde a una institución educativa. Predominó el sexo femenino con **53%** mujeres (408) y el grupo de edad de 27 a 59 años.

La localidad más concurrida fue Santa Fe con **122** personas. La población está de acuerdo que el flujo vehicular es una fuente de mayor contaminación. De igual manera el **86%** respondió que el día sin carro y sin moto promueve la actividad física en sus diferentes formas. El **64%** realizan actividad física al aire libre y adoptan recomendaciones como hidratación frecuente y uso de ropa cómoda. El uso diario de bicicleta y no realizar quemas de material incluyendo el consumo de cigarrillo fueron las respuestas más frecuentes para disminuir la contaminación del aire. Así mismo el **43%** (332 personas) de la población respondió que la movilidad disminuyó 1 hora aproximadamente; Es necesaria la frecuente divulgación del IBOCA para que los ciudadanos tengan acceso a la información relacionada con la calidad del aire y sus respectivas recomendaciones (Figura 11-24).



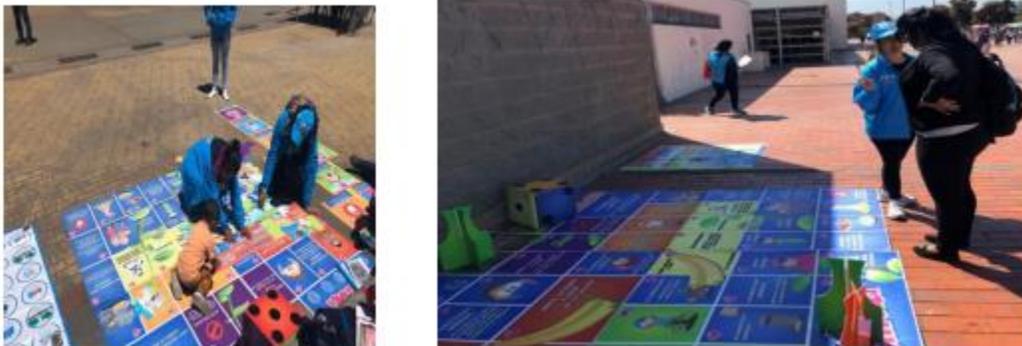
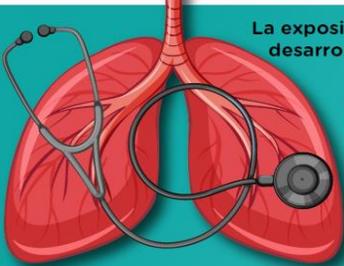


Figura 11-24. Registro Fotográfico de las acciones de movilización y comunicación social del riesgo en el distrito febrero 6 de 2020

CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y COVID-19

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud.



La exposición crónica a estas partículas aumenta el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares respiratorias y cáncer de pulmón (1).

Diversos estudios sostienen que los pacientes con afecciones pulmonares y cardíacas crónicas causadas por la exposición a la contaminación del aire, son menos capaces de combatir las infecciones pulmonares incluyendo COVID-19 y tienen más probabilidades de morir (2).

Las personas que han vivido durante décadas en una ciudad con altos niveles de contaminación por partículas finas como (PM_{2.5}) tienen un 15% más probabilidad de morir por COVID-19 que quienes viven en lugares con mejor calidad de aire (3)

El SARS-CoV-2 que causa la enfermedad COVID-19 es capaz de unirse a partículas atmosféricas, pero no se mantiene viable por más de 3 horas, sin embargo, en ambientes cerrados (como habitaciones) estas gotas portadoras podrían concentrarse o depositarse sobre las superficies (4)






! Olores ofensivos, un contaminante invisible ¡

Figura 11-25. Infografías prevención de olores ofensivos y COVID 19

Amplíe esta información en el siguiente enlace <https://drive.google.com/file/d/1ks8RCT890-HIG5EewyfN9mM5iXLZDeYi/edit>

La exposición a olores desagradables, se constituye un tipo de contaminación atmosférica proveniente del desarrollo de actividades industriales y humanas que liberan moléculas odoríferas al medio ambiente, que se caracterizan por ser volátiles, lo cual resulta en una calidad del aire no óptimo para el ser humano, afectando en algunas ocasiones su salud.

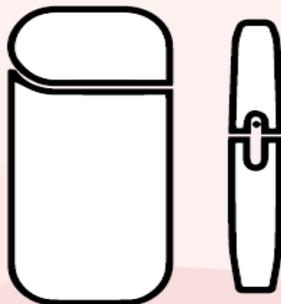
Conoce como prevenir los olores ofensivos ingresando al siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1-3gxlvmU3JxpZvo9jIwAZ_MfIQxj_Rrr/edit



El uso de aparatos electrónicos tiene mayor incidencia cada día, es así como, surgen nuevos dispositivos que buscan reemplazar el tradicional cigarrillo o tabaco, algunos de ellos son conocidos como productos de tabaco y sistemas electrónicos con o sin dispensación de nicotina y similares.

Productos de Tabaco Calentado (PTC)



Los PTC exponen a los consumidores a emisiones tóxicas, muchas de las cuales provocan cáncer, y actualmente no se dispone de suficientes datos para concluir que sean menos perjudiciales que los cigarrillos convencionales.

Un ejemplo claro son los IQOS, el consumidor inhala el aerosol por succión o aspiración.

Estos aerosoles, que suelen ser aromatizados, contienen nicotina (sustancia adictiva) y aditivos no contenidos en el tabaco.

Sistemas Electrónicos de Administración de Nicotina (SEAN) y Sin Nicotina (SESN)- Cigarrillos Electrónicos

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización Panamericana de la Salud. OPS. [En línea] [Citado el: marzo de 31 de 2021.] <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>.
2. Minsalud. Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021. Dimensión Salud Ambiental.
3. Secretaría Distrital de Ambiente. Plan de Desarrollo: Mejorar la calidad del aire 10 %, prioridad para esta Administración. [En línea] http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/historial-de-noticias/-/asset_publisher/1RkX/content/plan-de-desarrollo%3A-mejorar-la-calidad-del-aire-10-prioridad-para-esta-administracion#:~:text=in%20your%20browser.-,El%20Plan%20de%20Desarrollo%20contempla%20u.
4. Secretaría de Salud. Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá, D.C. Decreto N° 566 de 2011. [En línea] [Citado el: 5 de abril de 2021.]
5. Organización Mundial de la Salud. Calidad del Aire y Salud. [En línea] [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
6. Contaminación Atmosférica Efectos en la Salud Respiratoria en el niño. Dr Ubilla, Carlos y Dra Yohannessen, Karla. 1, Santiago de Chile: s.n., 2017, Rev.Med.Clin.Condes, Vol. 28, págs. 111-118.
7. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. Oyarzun G, Manuel. 26, Santiago de Chile: s.n., 2010, págs. 16-25.
8. Contaminación atmosférica, riesgo cardiovascular e hipertensión arterial. Soldevilla, Nuria, y otros. 4, 2018, Hipertensión y riesgo vascular, Vol. 35, págs. 177-184.
9. Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y adultos mayores. Vargas, Sandra, y otros. 1, Bogotá: s.n., 2008, Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica, Vol. 11, págs. 31-45.
10. Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en menores de 14 años en Bogotá. Drs Solarte, Pedro Iván, Caicedo, Mónica y Restrepo, Sonia. 2, Revista Médica Sanitas, Vol. 5.
11. Estudio de la morbilidad en niños menores a cinco años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en una zona industrial de la ciudad de Bogotá. Arciniegas, Angela, y otros. Bogotá: 3, 2006, Rev.ActaNova, Vol. 2.
12. Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidades de Bogotá. Hernández, Luis Jorge, y otros. 2, Bogotá: s.n., junio de 2012, Pediatría, Vol. 45, págs. 124-138.
13. Pérez Aragón, Ana y Lacasaña, Marina. Efecto de la pandemia de COVID-19 en la calidad del aire: Impacto en la salud respiratoria. [En línea] 22 de mayo de 2020. <https://www.easp.es/web/coronavirusysaludpublica/efecto-de-la-pandemia-de-covid-19-en-la-calidad-del-aire-impacto-en-la-salud-respiratoria/>.
14. Salud Capital. Vigilancia en Salud Pública. Enfermedad Respiratoria Aguda. [En línea] <http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Paginas/ENFERMEDADRESPIRATORI AAGUDA.aspx>.
15. Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales. El impacto mundial de la enfermedad respiratoria. México: s.n., 2017.

16. OPS. Unidad de Atención de Enfermedad Respiratoria Aguda Comunitaria UAERAC/UAIRAC. BOGOTÁ: s.n., 2012.
17. Puentes, Ana. Calidad del aire de Bogotá, ¿de vuelta a la mala normalidad? EL TIEMPO. 18 de junio de 2020.
18. Secretaría Distrital de Salud. Guía de promoción y atención en Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA). BOGOTÁ: s.n., 2019.
19. Tabaquismo Pasivo en el niño. Labbé, A y Labbé, J. P. 2, junio de 2014, EMC Pediatría, Vol. 49, págs. 1-9.
20. Efectos fetales y posnatales del tabaquismo durante el embarazo. Chinchilla Araya, Tamara y Durán Monje, Maria del Pilar. 2, San José Costa Rica: s.n., Sep-Dic de 2020, Med. leg. Costa Rica, Vol. 36.
21. Minsalud. Colombia mantiene tendencia a la baja en consumo de tabaco. [En línea] 13 de octubre de 2020. <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-mantiene-tendencia-a-la-baja-en-consumo-de-tabaco.aspx>.
22. Instituto Nacional de Cancerología. Hoja Informativa: Que entre colores y sabores el tabaco no te enamore. [En línea] 2020. <https://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/Hoja%20informativa%20tabaco%202020.pdf>.
23. Organización Mundial de la Salud. Guías de Calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. 2005.
24. Community-based exposure estimate for hydrogen sulfide. Inserra, Steven, y otros. 124-129, 24 de abril de 2002, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, Vol. 12, págs. 124-129.
25. Secretaría Distrital de Salud. Informe monitoreo intramural de material particulado y sulfuro de hidrógeno localidad de Fontibón. [En línea] 2020.
26. Organización Mundial de la Salud. Datos y cifras 26 de julio de 2020. [En línea] [Citado el: 26 de Julio de 2020.] <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/tobacco>.
27. Granda-Orive, J.I. de. El tabaco de tercera mano. [En línea] [Citado el: 26 de septiembre de 2020.] https://www.revistadepatologiaspiratoria.org/descargas/PR_23-1_24-30.p.

13. ANEXOS

A. Lectura de gráficos de *cajas*

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico *cajas*.

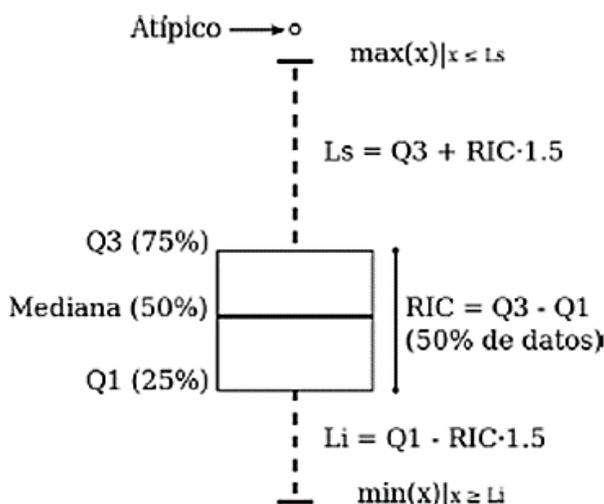


Figura 13-1. Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q₁**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q₃**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **L_i**, límite inferior, corresponde a $Q_1 - (RIC \times 1.5)$, donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ($Q_3 - Q_1$). **L_s**, límite superior, corresponde a $Q_3 + (RIC \times 1.5)$, donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ($Q_3 - Q_1$). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m^3 y $\mu g/m^3$, respectivamente:

Tabla 13-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y $\mu g/m^3$) estarán en condiciones de referencia correspondientes a $25^\circ C$ y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1144,9	ppm a $\mu g/m^3$
SO ₂	2,6186	ppb a $\mu g/m^3$
NO ₂	1,8804	ppb a $\mu g/m^3$
O ₃	1,9620	ppb a $\mu g/m^3$

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de 760 mm Hg y a una temperatura de $25^\circ C$, que son las condiciones de referencia según los términos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire.

El factor de conversión se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Conversión [ppb o ppm]} = \frac{M * P}{\bar{R} * T} * \frac{1}{1000} \left[\frac{\mu g}{m^3} \text{ o } \frac{mg}{m^3} \right]$$

Donde:

M: masa molar del gas contaminante [g/mol]

P: presión atmosférica [Pa]

\bar{R} : constante universal de los gases ideales = $8,314472 \frac{Pa \cdot m^3}{mol \cdot K}$

T: temperatura absoluta [K]

C. Normativa y métodos de referencia

La elaboración de informes de calidad del aire se realiza teniendo en cuenta uno de los componentes de la misionalidad de la Secretaría Distrital de Ambiente, como autoridad ambiental del Distrito Capital. Además, se tiene en cuenta lo establecido en la norma NTC ISO/IEC 17025:2017 con respecto a la elaboración de los reportes del laboratorio, y teniendo en cuenta que los informes de calidad del aire de la RMCAB se elaboran con base en los procedimientos asociados a las funciones del Laboratorio Ambiental de la Secretaría Distrital de Ambiente, los cuales se incluyen dentro de del proceso de apoyo de la SDA denominado “Metrología, Monitoreo y Modelación”.

La obtención de los datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas se realiza a través de los registros en tiempo real de los equipos de monitoreo y sensores meteorológicos, cuyo funcionamiento y operatividad son verificados mediante la realización de mantenimientos preventivos y correctivos por parte del equipo de campo de la RMCAB, programados periódicamente mediante un software destinado para este fin. Adicionalmente se realizan periódicamente las calibraciones y verificaciones de los equipos de monitoreo, con el fin de garantizar que la medición de los equipos se realice de acuerdo con los estándares establecidos en los métodos de medición.

Los métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB se encuentran descritos en la lista de métodos de referencia y equivalentes designados, publicada en diciembre de 2020 (EPA, 2020). Los métodos de referencia se encuentran establecidos en el Título 40 del CFR (*Code of Federal Regulations*), los cuales están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos. Para cada contaminante se encuentra definido un método de referencia específico, de acuerdo con el método equivalente por el cual funciona cada monitor, lo cual se encuentra establecido en los apéndices de la Parte 50 del Título 40 del CFR (LII, 2020). (Tabla 13-2)

Tabla 13-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método equivalente automatizado EPA	Apéndice Parte 50 del CFR
PM ₁₀	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122	J
		EQPM-0404-151	
PM _{2.5}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0308-170	L
		EQPM-1013-211	
O ₃	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087	D
		EQOA-0193-091	
NO ₂	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074	F
		RFNA-1194-099	
		RFNA-0118-249	
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088	C
		RFCA-0981-054	
		RFCA-1093-093	
		RFCA-0915-228	
SO ₂	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100	A-1
		EQSA-0486-060	

D. Declaraciones

Se declara que los resultados relacionados en el presente informe anual de calidad del aire corresponden únicamente a los parámetros y variables monitoreadas por los analizadores y sensores en las estaciones de la RMCAB, adicionalmente los resultados del informe sólo están relacionados con ítems ensayados y/o comprobados metrológicamente.

Las concentraciones y resultados presentados en este informe de calidad del aire y en la página web se encuentran a condiciones de referencia, con el fin de que sean comparables con los niveles establecidos por la normatividad vigente.

La identificación de las contribuciones a la incertidumbre de la medición de los equipos y su evaluación se registra en el formato interno PA10-PR03-F12 de acuerdo con lo establecido en el instructivo interno PA10-PR03-INS8, y no se reporta en los informes periódicos de calidad del aire, minimizando cualquier posibilidad de interpretaciones equívocas o de uso incorrecto.

El análisis realizado en el presente informe mensual corresponde a los datos recolectados por la Red de Monitoreo de Calidad el Aire de Bogotá – RMCAB durante el período comprendido entre el 01 de enero y el 31 de diciembre de 2020.

Este informe fue elaborado con base en el modelo de los informes periódicos de la RMCAB establecido en el procedimiento interno PA10-PR04 Análisis de datos, generación y publicación de informes de calidad del aire de Bogotá. Adicionalmente para la validación de los datos se tiene en cuenta lo definido en el procedimiento interno PA10-PR05- Revisión y Validación de datos de la RMCAB. Cabe resaltar que los procesos de monitoreo de contaminantes y de estimación de la incertidumbre en la RMCAB se realizan bajo los siguientes procedimientos internos, para los cuales se utiliza la última versión vigente cargada el aplicativo interno de la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA "Isolucion".

Tabla 13-3. Procedimientos Internos para la operación y calibración de equipos de la RMCAB

Código Procedimiento Interno	Nombre del Procedimiento Interno
PA10-PR02	Operación de la Red de Monitoreo y Calidad del Aire de Bogotá
PA10-PR06	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación analizadores, monitores de partículas y sensores meteorológicos
PA10-PR03	Aseguramiento de Calidad de los Resultados emitidos por el Laboratorio Ambiental SDA Formato PA10-PR03-F12 - Cálculo de Incertidumbre RMCAB

Adicionalmente, la versión original de este informe fue firmada por el Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, Ing. Hugo Enrique Sáenz Pulido, y cuenta con la denominación y consecutivo “Informe Técnico No. 02495”, firmado el 09 de julio de 2021, mediante el radicado SDA 2021IE39396, con el cual se aprueba y se autoriza su publicación en la página web de la RMCAB.

FIN DEL INFORME