

Informe Anual de Calidad del Aire de Bogotá Año 2021

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de
Bogotá - RMCAB



Unidos por un nuevo aire



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.



Estación Las Ferias

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2021

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

Bogotá D.C. 2022



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 D.C.– RMCAB



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

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

Carolina Urrutia Vásquez
Secretaría 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

Sol Yiber Beltrán Aguilera
Subdirectora de Vigilancia en Salud Pública
Secretaría Distrital de Salud

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

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

Ana Milena Hernández Quinchara
Coordinadora Técnica Sistema de Alertas
Tempranas de Bogotá – Componente Aire (SATAB)

María 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
Jhon Jairo Abella Flórez
Profesionales Especializados - Línea aire, ruido y
Radiación electromagnética
Subdirección de vigilancia en Salud Pública
Secretaría Distrital de Salud

Karem Johanna Delgado García
Medica Pediatra Epidemióloga
Componente salud ambiental
Subdirección de Vigilancia en Salud Pública
Secretaría Distrital de Salud

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –
© Junio de 2022, Bogotá - Colombia
Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad
de Aire de Bogotá D.C.
Año 2021.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. RESUMEN EJECUTIVO.....	14
3. OBJETIVOS	16
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
4. CARACTERÍSTICAS DE LA RMCAB	17
4.1. NORMATIVIDAD	21
5. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO	22
5.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS.....	22
5.2. PORCENTAJE DE DATOS VALIDADOS.....	24
6. CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS).....	27
6.1. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (PM ₁₀).....	27
6.1.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL PM ₁₀ POR ESTACIÓN.....	28
6.1.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM ₁₀ POR ESTACIÓN	31
6.1.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL PM ₁₀ POR ESTACIÓN	33
6.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS (PM _{2.5})	34
6.2.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL PM _{2.5} POR ESTACIÓN	34
6.2.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM _{2.5} POR ESTACIÓN	37
6.2.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL PM _{2.5} POR ESTACIÓN.....	39
6.3. OZONO (O ₃).....	40
6.3.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL O ₃ POR ESTACIÓN	40
6.3.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O ₃ POR ESTACIÓN	42
6.3.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL O ₃ POR ESTACIÓN	45
6.4. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO ₂)	46
6.4.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL NO ₂ POR ESTACIÓN	46
6.4.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO ₂ POR ESTACIÓN.....	49
6.4.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL NO ₂ POR ESTACIÓN.....	51
6.5. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂).....	52
6.5.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL SO ₂ POR ESTACIÓN	52

6.5.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO ₂ POR ESTACIÓN	55
6.5.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL SO ₂ POR ESTACIÓN.....	57
6.6.	MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	57
6.6.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DEL CO POR ESTACIÓN	57
6.6.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CO POR ESTACIÓN	61
6.6.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL CO POR ESTACIÓN.....	63
7.	COMPORTAMIENTO DEL BLACK CARBON	64
7.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DE BLACK CARBON (BC) POR ESTACIÓN.....	64
7.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE BLACK CARBON PROVENIENTE DE LA QUEMA DE BIOMASA.....	71
8.	INDICE DE CALIDAD DEL AIRE.....	74
8.1.	ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE - IBOCA	74
9.	METEOROLOGÍA.....	82
9.1.	PRECIPITACIÓN.....	82
9.1.1.	PROMEDIOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN	82
9.1.2.	PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN.....	83
9.1.3.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN	85
9.1.4.	COMPORTAMIENTO HISTORICO DE LA PRECIPITACIÓN	85
9.2.	TEMPERATURA.....	89
9.2.1.	COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA TEMPERATURA.....	90
9.2.2.	COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA TEMPERATURA	92
9.2.3.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA	94
9.2.4.	PROMEDIOS HISTORICOS DE TEMPERATURA	96
9.3.	VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.....	98
9.3.1.	PROMEDIOS ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO	99
9.3.2.	PROMEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO	100
9.3.3.	PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO	105
9.3.4.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VIENTO	108
9.3.5.	PROMEDIOS HISTORICOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO.....	110
9.4.	RADIACION SOLAR.....	112
9.4.1.	PROMEDIOS ANUALES DE RADIACIÓN SOLAR	112
9.4.2.	PROMEDIOS DIARIOS DE RADIACIÓN SOLAR	113
9.4.3.	PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR	115

9.4.4.	PROMEDIOS HISTÓRICOS DE RADIACIÓN SOLAR.....	116
9.5.	PRESIÓN ATMOSFÉRICA	117
9.5.1.	PROMEDIOS ANUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	117
9.5.2.	PROMEDIOS MENSUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	118
9.5.3.	PROMEDIOS DIARIOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	119
9.5.4.	PROMEDIOS ANUALES HISTORICOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA	121
9.6.	HUMEDAD	122
9.6.1.	PROMEDIOS ANUALES DE HUMEDAD.....	122
9.6.2.	PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD.....	123
9.6.3.	PROMEDIOS DIARIOS DE HUMEDAD.....	124
9.6.4.	PROMEDIOS HISTORICOS ANUALES DE HUMEDAD	126
10.	EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	127
11.	CALIDAD DEL AIRE Y SALUD.....	130
11.1.	VIGILANCIA EN SALUD AMBIENTAL.....	132
11.2.	VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA	134
11.2.1.	MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA	134
11.2.2.	MORBILIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA.....	138
11.3.	VIGILANCIA AMBIENTAL.....	147
11.3.1.	ATENCIÓN Y GESTIÓN DE QUEJAS POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE.....	159
11.3.2.	PROMOCIÓN DE LA SALUD Y PREVENCIÓN DEL RIESGO.....	161
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	165
13.	ANEXOS	168

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 Distribución de las estaciones monitoreo de contaminantes de la RMCAB – Año 2021.	19
Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB - Año 2021.....	23
Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación - Año 2021.....	23
Figura 5-3 Porcentaje de datos válidos por tipo de instrumento - Año 2021.....	25
Figura 5-4 Porcentaje de datos válidos por estación - Año 2021.....	25
Figura 6-1 Concentraciones promedio anual de PM ₁₀ – Año 2021.....	28
Figura 6-2 Distribución espacial de los promedios anuales de PM ₁₀ del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging	30
Figura 6-3. Concentraciones mensuales de PM ₁₀ por estación – Año 2021	32
Figura 6-4. Comportamiento diario de las concentraciones de PM ₁₀ – Año 2021.....	32
Figura 6-5. Comportamiento horario de las concentraciones de PM ₁₀ – Año 2021	33
Figura 6-6 Concentraciones anuales de PM ₁₀ años 2018 a 2021.....	34
Figura 6-7 Concentraciones promedio anual de PM _{2.5} – Año 2021	35
Figura 6-8 Distribución espacial de los promedios anuales de PM _{2.5} del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging	36
Figura 6-9 Concentraciones mensuales de PM _{2.5} por estación – Año 2021.....	38
Figura 6-10 Comportamiento diario de las concentraciones de PM _{2.5} – Año 2021.....	38
Figura 6-11 Comportamiento horario de las concentraciones de PM _{2.5} – Año 2021	39
Figura 6-12 Concentraciones anuales de PM _{2.5} años 2018 a 2021	40
Figura 6-13 Concentraciones promedio anual de O ₃ – Año 2021.....	41
Figura 6-14 Distribución espacial de los promedios anuales de O ₃ del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging	43
Figura 6-15 Concentraciones mensuales de O ₃ por estación – Año 2021	44
Figura 6-16 Comportamiento diario de las concentraciones de O ₃ – Año 2021.....	44
Figura 6-17 Comportamiento horario de las concentraciones de O ₃ – Año 2021	45
Figura 6-18 Concentraciones anuales de O ₃ años 2018 a 2021	46
Figura 6-19 Concentraciones promedio anual de NO ₂ – Año 2021	47
Figura 6-20 Distribución espacial de los promedios anuales de NO ₂ del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging	48
Figura 6-21 Concentraciones mensuales de NO ₂ por estación – Año 2021.....	50
Figura 6-22 Comportamiento horario de las concentraciones de NO ₂ – Año 2021	50
Figura 6-23 Comportamiento horario de las concentraciones de NO ₂ – Año 2021.....	51
Figura 6-24 Concentraciones promedio anual de NO ₂ - años 2018 a 2021	52
Figura 6-25 Concentraciones promedio anual de SO ₂ – Año 2021	53
Figura 6-26 Distribución espacial de los promedios anuales de SO ₂ del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging	54
Figura 6-27 Concentraciones mensuales de SO ₂ por estación – Año 2021.....	55
Figura 6-28 Comportamiento diario de las concentraciones de SO ₂ – Año 2021.....	56
Figura 6-29 Comportamiento horario de las concentraciones de SO ₂ – Año 2021	56
Figura 6-30 Concentraciones anuales de SO ₂ años 2018 a 2021	57
Figura 6-31 Concentraciones promedio anual de CO – Año 2021	58
Figura 6-32 Distribución espacial de los promedios anuales de CO del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging	60

Figura 6-33 Concentraciones mensuales de CO por estación – Año 2021	61
Figura 6-34 Comportamiento diario de las concentraciones de CO – Año 2021	62
Figura 6-35 Comportamiento horario de las concentraciones de CO – Año 2021	63
Figura 6-36 Concentraciones anuales de CO años 2018 a 2021	63
Figura 7-1 Representatividad temporal de las mediciones de concentraciones de eBC - Año 2021	65
Figura 7-2 Gráfico de representatividad temporal de las mediciones de concentraciones de eBC – Año 2021	67
Figura 7-3 Concentraciones mensuales de eBC por estación – Año 2021	68
Figura 7-4 Comportamiento diario de las concentraciones de eBC – Año 2021	69
Figura 7-5 Comportamiento horario de las concentraciones de eBC – Año 2021	70
Figura 7-6 Concentraciones promedio anuales de Black Carbon años 2018 a 2021. (*) datos anuales incompletos.....	70
Figura 7-7 Distribución espacial de incendios activos identificados por el sensor MODIS durante el año 2021.....	72
Figura 7-8 Número de eventos o puntos calientes identificados por el sensor MODIS durante el año 2021.....	73
Figura 7-9 Concentraciones mensuales de porcentaje de Black Carbon por quema de combustibles fósiles BC(ff) vs. Quema de biomasa BC(bb) por estación – Año 2021.....	73
Figura 8-1 IBOCA por estación de monitoreo para PM ₁₀ y PM _{2.5} – Año 2021.....	76
Figura 8-2 IBOCA por mes del año para PM ₁₀ – Año 2021	77
Figura 8-3 IBOCA por mes del año para PM _{2.5} – Año 2021	78
Figura 8-4 IBOCA por estación de monitoreo para O ₃ , NO ₂ , SO ₂ y CO – Año 2021.....	79
Figura 8-5 IBOCA por mes del año para O ₃ – Año 2021	80
Figura 8-6 IBOCA por mes del año para NO ₂ – Año 2021.....	80
Figura 8-7 IBOCA por mes del año para SO ₂ – Año 2021	81
Figura 8-8 IBOCA por mes del año para CO – Año 2021	81
Figura 9-1 Comportamiento diario de la precipitación – Año 2021.....	83
Figura 9-2 Valores medios y máximos de precipitación comparados con el promedio de PM ₁₀ – Año 2021.....	84
Figura 9-3 Total acumulado por estación – Año 2021	85
Figura 9-4 Mapa de distribución espacial de la precipitación en Bogotá - Año 2021.....	86
Figura 9-5 Promedios totales anuales de precipitación por estación - 2000-2021	88
Figura 9-6 Precipitación promedio histórica mensual de los años 2000 – 2021 Vs total mensual de 2021.....	89
Figura 9-7 Comportamiento de la temperatura horaria anual 2021: a) perfil horario; b) promedio por estación	92
Figura 9-8 Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2021 Vs 2021 .	93
Figura 9-9 Temperaturas extremas absolutas - Año 2021	94
Figura 9-10 Mapa de Temperatura superficial - Año 2021	95
Figura 9-11 Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2021	98
Figura 9-12 Comportamiento mensual de la velocidad del viento (promedio 2000 – 2021) Vs. 2020 y 2021.....	99
Figura 9-13 Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2020 y 2021 Vs. Promedio 2009 – 2021.....	100

Figura 9-14 Comportamiento de la velocidad media mensual en 2020 vs. promedio mensual multianual 2000 - 2021	101
Figura 9-15 Velocidades absolutas de la velocidad del viento – Año 2021	102
Figura 9-16 Rosas de vientos consolidadas por estación – Año 2021.....	104
Figura 9-17 Comportamiento del viento promedio en diferentes fracciones de un día del año ...	107
Figura 9-18 Mapa de dirección y velocidad promedio del viento – Año 2021	109
Figura 9-19 Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en Bogotá entre 2000 y 2021.....	112
Figura 9-20 Comportamiento mensual de la radiación solar en 2020 y 2021 vs. Promedio 2009 a 2021.....	113
Figura 9-21 Cantidad de radiación solar recibida en promedio día durante 2021	114
Figura 9-22 Comportamiento mensual de la radiación - Año 2021	116
Figura 9-23 Comportamiento anual de la radiación en 2021	117
Figura 9-24 Comportamiento mensual de la presión en 2020 y 2021 frente al promedio mensual multianual 2010 – 2021	118
Figura 9-25 Comportamiento medio mensual de la presión atmosférica – Año 2021.....	119
Figura 9-26 Comportamiento del ciclo semi-diurno de la presión atmosférica - Año 2021.....	121
Figura 9-27 Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2021.....	122
Figura 9-28 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2021 vs. Promedio mensual multianual 2010 - 2021	123
Figura 9-29 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2021:	124
Figura 9-30 Comportamiento de la humedad relativa horaria en 2021:	125
Figura 9-31 Comportamiento histórico de la humedad relativa promedio multianual.....	126
Figura 10-1 Concentraciones media móvil 24h de PM2.5 - enero - abril 15 de 2021.....	128
Figura 10-2 Concentraciones media móvil 24h de PM2.5 - abril 15 - diciembre de 2021.....	129
Figura 11-1 Red Integrada de Servicios de Salud	131
Figura 11-2 Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, periodo 2017 a 2021. Base de datos SDS- información para mapeo semana 52 -2020.....	135
Figura 11-3 Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria y Neumonía en menores de 5 años en Bogotá vs Tipo de Riesgo Matriz ACRE – Año 2020	137
Figura 11-4 Morbilidad por IRA (evento 995-SIVIGILA) en la población general y menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2017 a 2021. Base de datos SIVIGILA. Vigilancia de IRA 2017-2021....	139
Figura 11-5 Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá - Año 2021.....	140
Figura 11-6 Distribución por Estrato Socioeconómico según grupos de población encuestada Bogotá - Año 2021. Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM.....	141
Figura 11-7 Distribución por el Sistema General de Seguridad Social en Salud según grupos de población encuestada Bogotá - Año 2021. Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM..	141
Figura 11-8 Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años Bogotá - Año 2021.....	144
Figura 11-9 Concentración anual y cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para PM10 Bogotá 2016-2021.....	149
Figura 11-10 Porcentaje de excedencias de PM10, respecto a la Guía-OMS, Bogotá año 2016-2021	150

Figura 11-11 Concentración promedio anual de PM10 por estación de monitoreo de la RMCAB y excedencia a la Guía-OMS y valores permisibles de la Resolución 2254 de 2019 – Año 2021	150
Figura 11-12 Concentración promedio diaria de PM10 y valor Guía-OMS y Resolución 2254 de 2019 – Año 2021	151
<i>Figura 11-13 Excedencias diarias de PM₁₀ respecto a la Guía-OMS en las estaciones de la RMCAB – Año 2021</i>	<i>152</i>
Figura 11-14 Concentración anual y cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para PM2.5 Bogotá 2016-2021.....	153
Figura 11-15 Porcentaje de excedencias de PM2.5 respecto a la Guía-OMS en Bogotá años 2016-2021.....	154
Figura 11-16 Concentración promedio anual de PM2.5 por estación de monitoreo de la RMCAB y excedencia a la Guía-OMS y valores permisibles de la Resolución 2254 de 2019 - Año 2021	154
Figura 11-17 Concentración promedio diaria de PM2.5 y valor Guía-OMS y Resolución 2254 de 2019 - Año 2021	155
Figura 11-18 Excedencias de PM2.5 con respecto a la Guía-OMS en las estaciones la RMCAB - Año 2021.....	156
Figura 11-19 Atención a quejas por contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco, Bogotá, 2020-2021	159
Figura 11-20 Distribución de quejas por contaminación del aire, olores y humo de tabaco, por Subred - Año 2021	160
<i>Figura 11-21 La contaminación atmosférica es el mayor riesgo ambiental para la salud pública mundial y se estima que el 92% de la población está expuesto al aire contaminado, lo que causa aproximadamente siete millones de muertes prematuras cada año.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 11-22 ¿Cómo podemos contribuir para respirar un aire más puro?</i>	<i>163</i>
<i>Figura 11-23 ¿Qué conoces sobre los dispositivos electrónicos de tabaco?</i>	<i>163</i>
<i>Figura 11-24 Recomendaciones para proteger nuestra salud.</i>	<i>164</i>
Figura 13-1 Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes.	168
Figura 13-2. Diagrama de cajas de concentraciones 24h de PM ₁₀ por mes y por estación en el año 2021.....	169
Figura 13-3. Diagrama de cajas de concentraciones 24h de PM _{2.5} por mes y por estación en el año 2021.....	169
Figura 13-4. Diagrama de cajas de concentraciones 24h de SO ₂ por mes y por estación en el año 2021.....	170
Figura 13-5. Diagrama de cajas de concentraciones 1h de NO ₂ por mes y por estación en el año 2021	170
Figura 13-6. Diagrama de cajas de concentraciones 8h de O ₃ por mes y por estación en el año 2021	171
Figura 13-7. Diagrama de cajas de concentraciones 8h de CO por mes y por estación en el año 2021	171

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA.....	18
Tabla 4-2 Estaciones monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas – Año 2021	20
Tabla 4-3 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en el aire. Resolución 2254 de 2017 del MADS.....	21
Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por estación y parámetro – Año 2021	23
Tabla 5-2 Porcentaje de datos validados por estación y parámetro - Año 2021.....	26
Tabla 6-1 Estadísticas de las concentraciones anuales de PM ₁₀ – Año 2021.....	29
Tabla 6-2 Estadísticas de las concentraciones anuales de PM _{2.5} – Año 2021	35
Tabla 6-3 Estadísticas de las concentraciones anuales de O ₃ – Año 2021	41
Tabla 6-4 Estadísticas de las concentraciones anuales de NO ₂ – Año 2021	47
Tabla 6-5 Estadísticas de las concentraciones anuales de SO ₂ – Año 2021	53
Tabla 6-6 Estadísticas de las concentraciones anuales de CO – Año 2021	58
Tabla 7-1 Resumen estadístico de las concentraciones de diarias de eBC (µg/m ³) - Año 2021.	66
Tabla 8-1 Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 868 de 2021.....	75
Tabla 9-1 Distribución de las lluvias – Año 2021.....	83
Tabla 9-2 Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad – Año 2021.....	84
Tabla 9-3 Promedio de los acumulados de precipitación por estación años 2000 – 2021.....	87
Tabla 9-4 Precipitación promedio histórica mensuales años 2000 – 2021.....	88
Tabla 9-5 Comportamiento de la temperatura horaria - Año 2021.....	91
Tabla 9-6 Promedio mensual de temperatura multianual 2000 – 2021.....	92
Tabla 9-7 Temperaturas extremas - Año 2021.....	94
Tabla 9-8 Promedios de temperatura media anual de los años 2000 a 2021	97
Tabla 9-9 Promedio multianual por estación de los años 2000 – 2021.....	99
Tabla 9-10 Comportamiento de los promedios mensuales multianuales de los vientos en el periodo 2000 – 2021.....	101
Tabla 9-11 Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día	105
Tabla 9-12 Comportamiento histórico de la velocidad del viento entre 2000 - 2021	111
Tabla 9-13 Cantidad de energía recibida durante el día – Año 2021.....	114
Tabla 9-14 Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m ²) – Año 2021	115
Tabla 9-15 Radiación solar acumulada anual en GW-año/m ² periodo 2009 – 2021.....	116
Tabla 9-16 Comportamiento de la presión media mensual multianual 2010 – 2021.....	118
Tabla 9-17 Comportamiento promedio mensual de la presión - Año 2021	119
Tabla 9-18 Variación de la presión horaria – Año 2021	120
Tabla 9-19 Comportamiento multianual de la presión atmosférica en la ciudad 2009 – 2021.....	121
Tabla 9-20 Comportamiento de la humedad mensual multianual 2010 - 2021	123
Tabla 9-21 Comportamiento mensual de la humedad por estación – Año 2021	124
Tabla 9-22 Variación de la humedad horaria - Año 2021	125
Tabla 9-23 Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente – Año 2021	126
Tabla 11-1 Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura ...	131
Tabla 11-2 Prevalencia de síntomas respiratorios en menores de 5 años y 5 a 14 años Bogotá - Año 2021.....	142

Tabla 11-3 Factores relacionados con la presencia de Sibilancias, tos sin gripa y síntomas sin gripa en el último año en menores de 5 años Bogotá – Año 2021	145
Tabla 11-4 Factores relacionados con la presencia de tos, síntomas sin gripa y sibilancias en los niños de 5 a 14 años Bogotá - Año 2021	146
Tabla 11-5 Factores relacionados con la presencia de Sibilancias y por tos en adultos mayores de 60 años Bogotá - Año 2021	147
Tabla 11-6 Porcentaje de excedencias de PM_{10} para concentraciones diarias por estación de la RMCAB, respecto a la Guía y Objetivos Intermedios de la OMS – Año 2021	152
Tabla 11-7 Porcentaje de excedencias del contaminante $PM_{2.5}$ con respecto a la guía OMS y los Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3) – Año 2021	156
Tabla 11-8 Monitoreos intramurales por localidad - Año 2021	158
Tabla 11-9 Monitoreos intramurales material particulado por localidad – Año 2021	158
Tabla 11-10 Infografías temáticas de la línea de aire ruido y radiación electromagnética – Año 2021	161
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°C y 760 mm Hg ..	172
Tabla 13-2 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA	173
Tabla 13-3 Procedimientos Internos para la operación y calibración de equipos de la RMCAB	174

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 posterior almacenamiento 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 2021 la RMCAB estuvo conformada por veinte (20) estaciones monitoreo de las cuales dieciocho (18) son fijas y dos (2) son móviles. 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}), gases contaminantes (SO₂, NO₂, CO, O₃) y Black Carbon, así como de las variables meteorológicas de Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica.

Así mismo, 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 2021, las tendencias temporales (resolución mensual, semanal y horaria), 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 (PM₁₀ y PM_{2.5})

Las concentraciones promedio anual de PM₁₀ y PM_{2.5} durante el 2021 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 PM₁₀ y PM_{2.5}, con 68.5 µg/m³ y 34.6 µg/m³, las cuales sobrepasaron el nivel máximo permisible para un tiempo de exposición anual. Se registraron en total 165 excedencias de PM₁₀ y 156 excedencias de PM_{2.5}. Con respecto a años anteriores, las concentraciones de material particulado del año 2021 fueron ligeramente menores, aunque en estaciones como Carvajal - Sevillana y Puente Aranda aumentaron las concentraciones respecto a 2020. En general, se observó que las concentraciones se mantuvieron similares al año anterior, ya que la temporada de mayor contaminación, que corresponde al primer trimestre del año, tuvo influencia del fenómeno de la Niña, con precipitaciones en el mes de febrero, que influyeron en la reducción de contaminantes. Sin embargo, el mes de diciembre tuvo las concentraciones más altas en la mayoría de las estaciones, por la reactivación de varias fuentes de emisión, y aumento del tráfico vehicular.

Comportamiento de la concentración de ozono (O₃)

Las concentraciones más altas de O₃ se observaron en el nororiente de la ciudad, y las áreas de influencia de Fontibón y Kennedy; mientras que las concentraciones más bajas se observaron al suroccidente de la ciudad, en las estaciones Carvajal – Sevillana y Kennedy. El promedio anual más alto se evidenció en Usaquén, con 32.693 µg/m³, y el menor promedio se registró en Carvajal – Sevillana con 13.481 µg/m³. En total se registraron 75 excedencias a la norma 8 horas, de las cuales se registraron 38 en Kennedy. En relación con los promedios de años anteriores, los promedios anuales de 2021 se redujeron, aunque se mantienen las concentraciones altas en el occidente y norte de la ciudad. Las variaciones de los precursores de ozono, y la reducción de la radiación solar al inicio del año, pudo influir en la reducción de las concentraciones durante el 2021.

Comportamiento de la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂)

Las concentraciones más altas de NO₂ se registraron en las estaciones Kennedy y Bolivia, con 37.6 y 37.1 µg/m³ respectivamente. Dichos niveles estuvieron por debajo del nivel máximo permisible para un tiempo de exposición anual, el cual no ha tenido excedencias en los últimos cuatro años, y tampoco se observaron excedencias a la norma horaria en 2021. El comportamiento de las concentraciones de NO₂ fue similar al del material particulado, con valores altos en el segundo semestre del año, principalmente en las estaciones que se ubican cerca de vías principales, como la Autopista Sur y Avenida Boyacá. Respecto a años anteriores, en varias estaciones se observó un aumento de la concentración en 2021, posiblemente asociado al aumento de la actividad en la ciudad y el incremento de los vehículos que circulan en la ciudad.

Comportamiento de la concentración de dióxido de azufre (SO₂)

La estación Carvajal - Sevillana registró el promedio anual más alto en el 2021 con 15.6 µg/m³, mientras que en la estación Usaquén se registró el valor más bajo con 2.1 µg/m³, además se registraron 104 excedencias a la norma horaria y 2 excedencias a la norma diaria, en la estación Carvajal - Sevillana. Con ello, las concentraciones más altas de SO₂ se mantienen al suroccidente de la ciudad, y las más bajas en el nororiente. Durante el año, las concentraciones más altas se observaron en mayo y diciembre. En las estaciones Carvajal - Sevillana y Tunal hubo un aumento de concentración en relación con el 2020, y en Ciudad Bolívar y Usme también se observaron concentraciones de mayor magnitud en comparación con las demás estaciones antiguas, por lo cual son predominantes las altas concentraciones de SO₂ al sur de la ciudad, asociadas posiblemente al uso del diésel como combustible.

Comportamiento de la concentración de monóxido de carbono (CO)

Para el año 2021, los promedios anuales de las estaciones Carvajal - Sevillana y Puente Aranda fueron los más altos de la ciudad, con 2138.0 y 1131.8 µg/m³ respectivamente, con lo cual predominan las altas concentraciones de CO al suroccidente de la ciudad, mientras que el menor promedio se observó en Colina con 484.0 µg/m³. Se registraron 46 excedencias a la norma 8 horas en la estación Puente Aranda. El primer trimestre del año registró los promedios mensuales más altos en la mayoría de las estaciones, por la influencia de los incendios forestales que se registraron al oriente del país. En varias estaciones se registró un aumento del promedio anual en comparación con los años anteriores, siendo el más notable el del Carvajal – Sevillana, que registró el promedio más alto de CO en los últimos cuatro años.

Nota:

Este informe “Informe anual de calidad del aire 2021”, se encuentra vinculado como anexo al resumen ejecutivo del proceso No. 5476410 del Sistema de Información Ambiental FOREST de la Secretaría Distrital de Ambiente.

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 monitoreo de calidad del aire.
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire relacionados en 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 veinte (20) estaciones monitoreo de las cuales dieciocho (18) son fijas, y dos (2) son móviles.

Durante el año 2021 se realizó la instalación de dos (2) estaciones adicionales para el monitoreo de la calidad del aire en la ciudad, Colina y Móvil Fontibón, las cuales iniciaron el monitoreo oficialmente en enero y marzo de 2021 respectivamente. Adicionalmente durante el año se pusieron en línea analizadores de NO₂, SO₂ y CO en otras estaciones, con lo cual se aumentó la cobertura de medición de parámetros en la ciudad.

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 encuentran 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 tal 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).

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

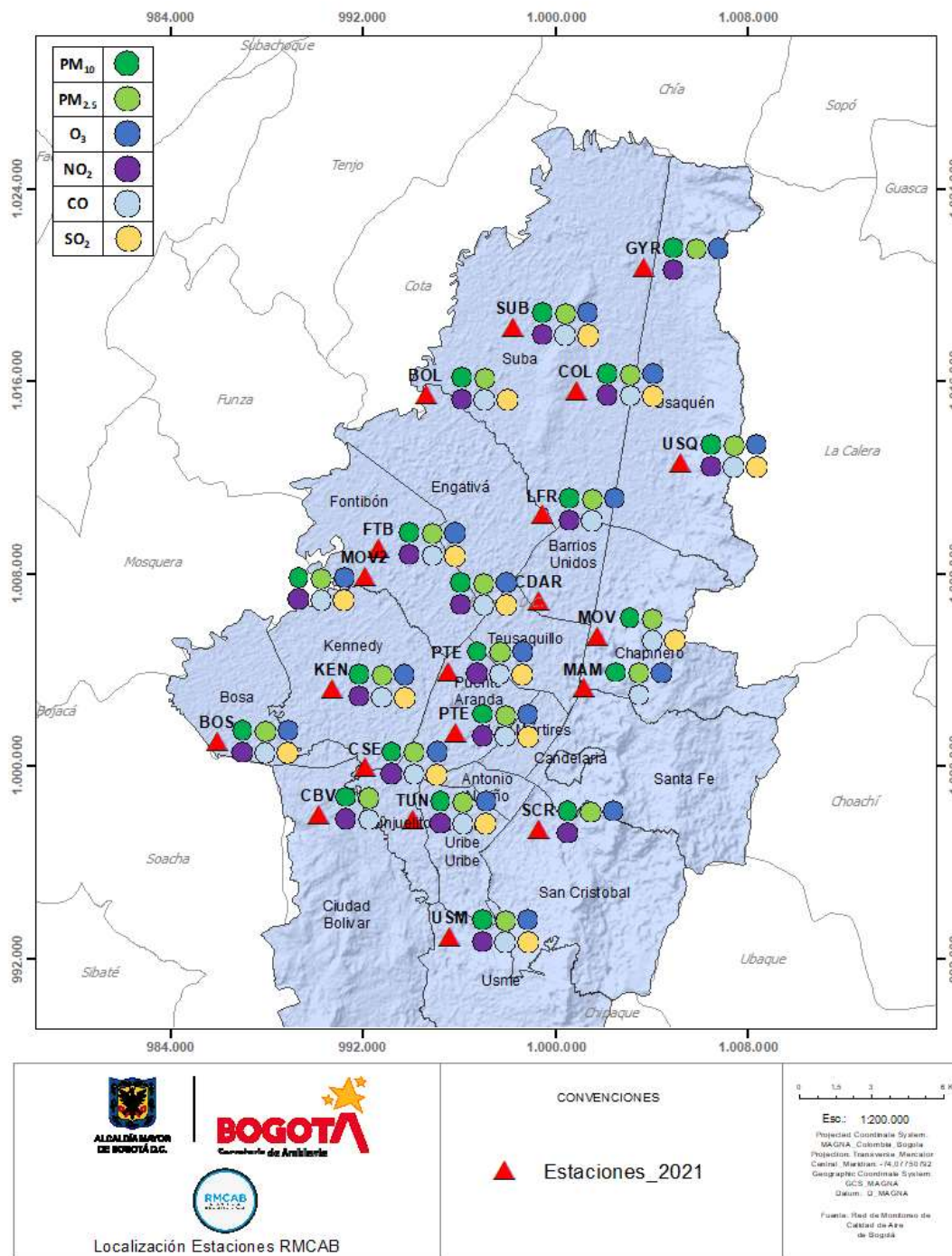


Figura 4-1 Distribución de las estaciones monitoreo de contaminantes de la RMCAB – Año 2021

Tabla 4-2 Estaciones monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas – Año 2021

Nombre Estación	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 _x	CO	SO ₂	BC	V. Viento	D. Viento	Temperatura	Precipitación	R. Solar	H. Relativa	Presión Atm.
Guaymaral	GYR	4°47'01.5"N	74°02'38.9"W	2580	0	Suba	Sub urbana	De fondo	Autopista Norte # 205-59	X	X	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°44'08.9"N	74°07'33.2"W	2574	0	Engativá	Sub urbana	De fondo	Avenida Calle 80 # 121-98	X	X	X	X	X	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	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°38'42.7"N	74°03'41.6"W	2583	0	Chapinero	Urbana	De tráfico	Carrera 7 con calle 60	X	X	X	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				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		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°35'45.0"N	74°08'54.6"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	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
Colina	COL	4°44'13.9"N	74°04'10.1"W	2555	0	Suba	Urbana	De fondo	Avenida Boyacá No 142A-55	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X
Móvil Fontibón	MOV2	4°40'04.8"N	74°08'54.6"W	2547	0	Fontibón	Urbana	Tráfico / Industrial	Cra. 98 #16 B 50	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X

4.1. **NORMATIVIDAD**

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 4-3 (en la Resolución 2254 de 2017 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 2021, iniciando con la determinación del porcentaje de datos capturados, y finalizando con la presentación del porcentaje de datos validados, cada parte se diferencia 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 agrupados por parámetro medido en la RMCAB para el año 2021, la captura de datos de todos los parámetros fue mayor al 75%, lo que indica que se tuvo un buen porcentaje de captura de datos por parámetro en el año. Los parámetros que reportaron los porcentajes más bajos fueron humedad relativa, presión barométrica, radiación solar y precipitación, esto se atribuye a que se instalaron nuevos sensores en algunas de las estaciones.

En la estación Puente Aranda se instalaron sensores nuevos, uno (1) de humedad relativa que se puso en línea el 01 de diciembre 2021, uno (1) de presión barométrica y uno (1) de radiación solar que fueron puestos en línea el 12 de noviembre de 2021. En la estación Fontibón se instalaron dos (2) nuevos sensores, uno (1) de presión barométrica y uno (1) de precipitación, los cuales fueron puestos en línea el 14 de julio y el 09 de julio de 2021 respectivamente.

En las estaciones Guaymaral y San Cristóbal se instalaron dos (2) nuevos analizadores de CO y en la estación MinAmbiente se instaló un analizador de NO₂, los tres (3) analizadores fueron puestos en línea el 01 de junio del 2021. Por último, en la estación Bolivia se instaló un (1) sensor nuevo de precipitación el cual se puso en línea el 16 de julio de 2022 y un analizador de Ozono el cual fue puesto en línea el 01 de agosto de 2021. Por otro lado, se tuvo que sacar de línea el sensor de precipitación de la estación Kennedy el 01 de abril de 2021, debido a una falla de operación y de comunicación.

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 80%, exceptuando las estaciones Puente Aranda y Bosa. Cabe aclarar que la estación Bosa quedó fuera de operación el 19 de agosto por inconvenientes de vandalismo con la estación y por esta razón el porcentaje de datos capturados fue del 62%, en cuanto a Puente Aranda, el 20 de agosto de 2021 se presentó una sobrecarga eléctrica debido a la caída de un rayo, por lo cual, se dañaron las tarjetas de algunos equipos en la estación, por esta razón, el porcentaje de captura de datos fue del 68%.

En la estación Bolivia el porcentaje de captura de datos fue del 83% debido a que (tal como se mencionó anteriormente) durante el año 2021 se instalaron el sensor de precipitación (julio) y el analizador de ozono (agosto), lo cual genera una reducción en el promedio porcentual de la estación.

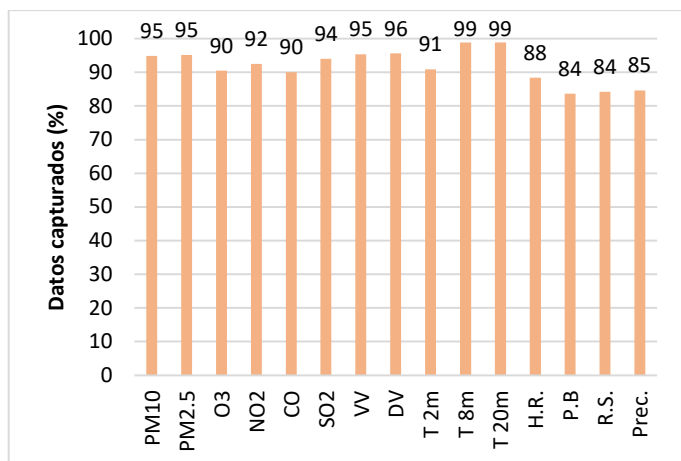


Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB - Año 2021

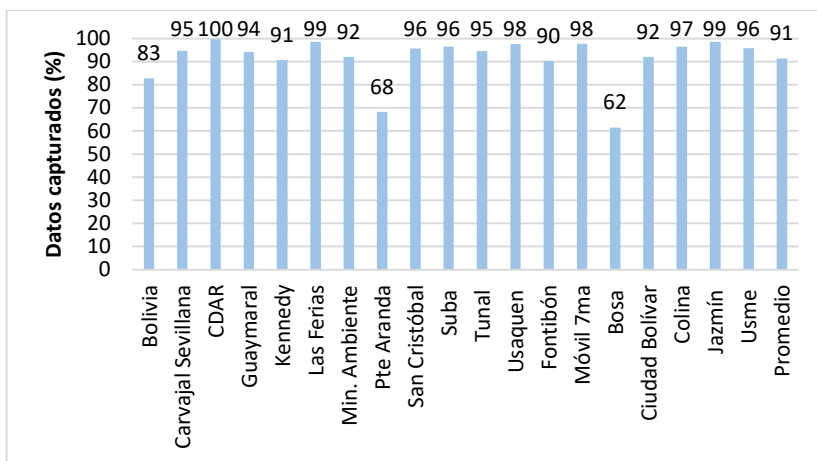


Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación - Año 2021

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 tipo de 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 2021 fue del 91%.

Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por estación y parámetro – Año 2021

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	99	99	44	93	99	99									46	83
Carvajal - Sevillana	92	89	78	98	93	100	100	100	100						100	95
CDAR	100	100	99	99	99	99	100	100	100			100		100	100	100
Guaymaral	95	98	95	94	56		95	96	99	99	99	99	99	99	97	94
Kennedy	96	96	96	97	88	96	97	97	97			97		97	34	91
Las Ferias	99	99	99	99	88		100	100	100			100	100		100	99
MinAmbiente	99	98	99	42	99		100	100							100	92
Puente Aranda	83	95	97	97	97	98	74	74	73			8	13	13	63	68
San Cristóbal	98	98	99	99	57		100	100	100			100		100	100	96
Suba	95	97	97	95	97	91	98	98	98						98	96
Tunal	99	100	96	99	99	99	97	97	45			99	99	99	100	95
Usaquén	97	86	99	99	99	98	100	100	100						100	98
Fontibón	100	98	96	96	99	99	100	100	100			100	47		48	90

Estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B.	R.S.	Prec.	Prom.
Móvil 7ma	98	97		98	83		100	100	100			100	100	100	100	98
Bosa	63	63	63	61	62	52	62	61	63			63	63	63		62
Ciudad Bolívar	99	98	98	99	99	98	98	100	88			88	100	41		92
Colina	96	99	98	97	98	93	97	99	91			91	99	99		97
Jazmín	98	98	99	96	98	97	99	100	100			100	100	100		99
Usme	98	100	76	99	98	99	99	99	92			92	99	99		96
Promedio	95	95	90	92	90	94	95	96	91	99	99	88	84	84	85	91

5.2. PORCENTAJE DE DATOS VALIDADOS

La validación manual busca validar o invalidar manualmente los datos que han pasado por la validación automática de los equipos y software, pero que aun así presentaron 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 validos de la RMCAB para el año 2021 fue del 88% 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 validos 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 validados y datos disponibles fue baja. El parámetro con el porcentaje de datos validados más bajo fue el SO₂ (81%), debido a que a lo largo del año los analizadores de algunas estaciones presentaron fallos que requirieron reparación y se tuvieron que invalidar algunos periodos de datos, sin embargo, cumple con el porcentaje mínimo recomendado (75%). Para las variables de temperatura a 8 y 20 metros el porcentaje de representatividad fue el más alto (99%), debido a que se monitorea en la estación Guaymaral y dichos sensores no presentaron inconvenientes relevantes para invalidación de datos.

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 varía significativamente en las estaciones Bosa, Colina, Usaquén y Móvil 7ma. En Bosa, además de la salida de operación de la estación, se invalidaron la mayoría de los datos de SO₂ en los meses en los que estuvo activo el monitoreo, por inconvenientes con el analizador, al final este se sacó de línea y se envió a reparación por garantía con el fabricante.

De la misma manera pasó en la estación Colina, se invalidaron los datos de SO₂ monitoreados en el año ya que se encontraron fallos en el analizador y se envió a reparación por garantía, sin embargo, este parámetro entró en línea hasta el mes de marzo, por lo que contó con menos datos disponibles para su invalidación. También el porcentaje de datos válidos baja en Colina, debido a que el parámetro de O₃ entró en línea en mayo y la variable de radiación solar en febrero, razón por la cual no se cuenta con datos disponibles para estos antes de su puesta en línea.

En la estación Usaquén el porcentaje disminuyó, debido a que los equipos de material particulado presentaron algunas fallas entre marzo y julio y los datos tuvieron que ser invalidados. Por último, en la estación Móvil 7ma el equipo de CO presentó algunas fallas a lo largo del año por lo que se invalidaron varios periodos de datos.

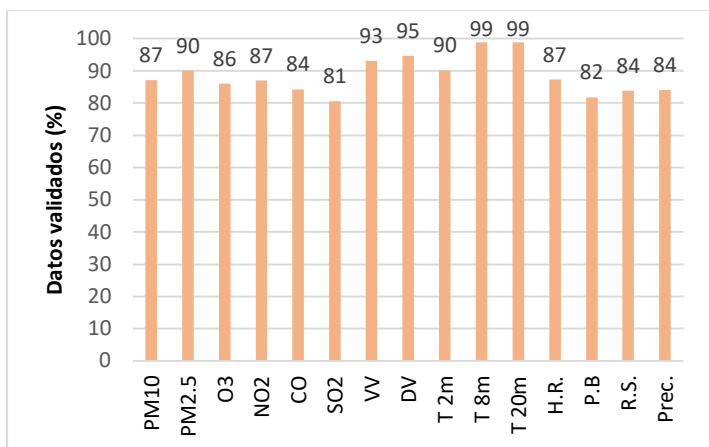


Figura 5-3 Porcentaje de datos válidos por tipo de instrumento - Año 2021

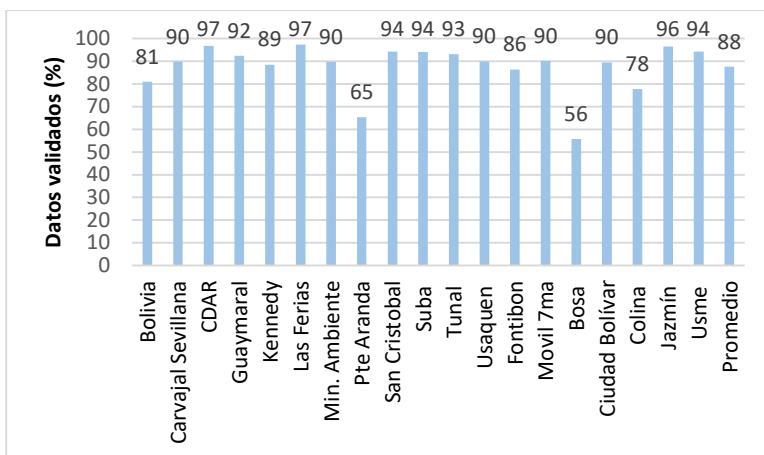


Figura 5-4 Porcentaje de datos válidos por estación - Año 2021

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 del año 2021 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 2021 fue del 88%.

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 2021

Tabla 5-2 Porcentaje de datos validados por estación y parámetro - Año 2021

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	98	99	41	90	99	94									46	81
Carvajal - Sevillana	86	85	77	64	92	98	97	100	100						100	90
CDAR	90	98	97	99	99	80	100	100	100			100		100	100	97
Guaymaral	89	98	94	89	57		81	96	99	99	99	99	99	99	98	92
Kennedy	92	95	90	97	83	94	97	97	97			97		97	24	89
Las Ferias	90	97	99	97	87		100	100	100			100	100		100	97
MinAmbiente	87	98	98	42	94		99	100							100	90
Puente Aranda	77	91	97	96	96	97	63	63	71			8	13	13	63	65
San Cristóbal	93	96	98	97	57		95	100	100			100		100	100	94
Suba	92	95	96	94	94	80	97	98	98						98	94
Tunal	98	95	96	87	99	99	97	97	45			99	99	99	100	93
Usaquén	56	55	99	97	99	95	99	99	100						100	90
Fontibón	92	91	90	85	93	91	100	100	100			100	47		48	86
Móvil 7ma	90	96		89	19		100	100	100			100	100	100	100	90
Bosa	58	58	58	56	58	8	62	61	63			63	63	63		56
Ciudad Bolívar	96	97	91	98	98	97	98	100	88			87	86	39		90
Colina	76	77	60	84	82	0	94	96	87			87	96	96		78
Jazmín	97	97	98	94	98	96	97	100	94			90	97	100		96
Usme	97	93	70	98	97	98	99	99	91			91	99	99		94
Promedio	87	90	86	87	84	81	93	95	90	99	99	87	82	84	84	88

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 2021. 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 concentraciones de 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 monitoreo de la RMCAB, se usan las siguientes siglas:

Estación	Guaymaral	Usaquén	Suba	Bolivia	Las Ferias	Centro de Alto Rendimiento	Móvil Fontibón
Sigla	GYR	USQ	SUB	BOL	LFR	CDAR	MOV2
Estación	MinAmbiente	Móvil 7ma	Fontibón	Puente Aranda	Jazmín	Kennedy	Colina
Sigla	MAM	MOV	FTB	PTE	JAZ	KEN	COL
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 la RMCAB durante el 2021, 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, al suroccidente de la ciudad, excedió el valor de la norma anual (50 µg/m³), con un promedio de 68,5 µg/m³, siendo además la concentración más alta registrada en la ciudad. Por otro lado, las concentraciones promedio más bajas se registraron en las estaciones MinAmbiente y San Cristóbal, en la zona central y suroriental de la ciudad, con 19,7 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 119 registros, seguida de la estación Móvil Fontibón con 16 excedencias, Kennedy y Ciudad Bolívar con 10 excedencias cada una. Las estaciones Bosa, Colina y Usaquén registraron menos del 75% de datos válidos en el 2021; en Bosa se suspendió el monitoreo desde agosto de 2021 para todos los parámetros, en Colina se inició el monitoreo del parámetro hasta abril de 2021, pero se invalidaron también algunos datos en julio, septiembre, octubre y noviembre debido a comportamiento atípico del parámetro; en Usaquén también se invalidaron varios datos por comportamiento atípico en varios meses del año y no estuvo en funcionamiento durante unos días del mes de abril.

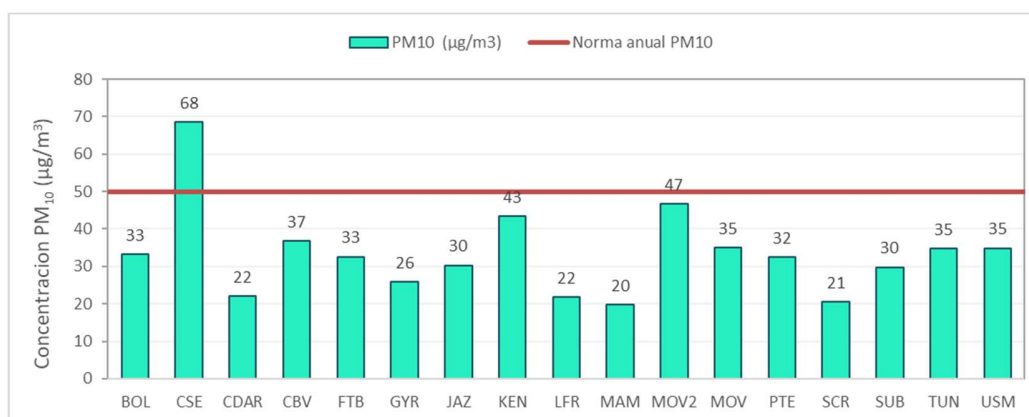


Figura 6-1 Concentraciones promedio anual de PM₁₀ – Año 2021

Tabla 6-1 Estadísticas de las concentraciones anuales de PM₁₀ – Año 2021

Estación	Prom. anual PM ₁₀ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced. 24h
Norma anual: 50 µg/m ³ Norma diaria: 75 µg/m ³				
BOL	33,2	99%	84,3	4
BOS*	31,0	57%	68,1	0
CSE	68,5	86%	127,0	119
CDAR	22,1	89%	52,3	0
CBV	36,8	96%	98,1	10
COL*	17,5	71%	42,5	0
FTB	32,6	90%	66,5	0
GYR	25,9	89%	54,8	0
JAZ	30,3	96%	71,1	0
KEN	43,5	92%	82,4	10

Estación	Prom. anual PM ₁₀ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced. 24h
Norma anual: 50 µg/m ³ Norma diaria: 75 µg/m ³				
LFR	21,8	91%	47,8	0
MAM	19,7	88%	46,7	0
MOV2	46,7	76%	119,9	16
MOV	35,0	89%	75,1	1
PTE	32,4	77%	69,0	0
SCR	20,6	96%	50,6	0
SUB	29,8	89%	66,0	0
TUN	34,8	98%	85,0	5
USQ	19,5	57%	44,4	0
USM	34,9	98%	73,2	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 2021, 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 las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, siendo la zona de influencia cercana a la estación Carvajal - Sevillana la que registró las concentraciones más altas, con un rango de concentraciones entre 47 y 68 µg/m³. Las concentraciones más bajas se registraron hacia el centro, norte y oriente de la ciudad, en las localidades San Cristóbal, Santa Fe, Antonio Nariño, Los Mártires, Teusaquillo, y parte de Suba y Engativá, con concentraciones entre 20 y 30 µg/m³.

Al igual que en años anteriores, la zona suroccidente registra las concentraciones más altas en la ciudad, y se evidencia una reducción de las concentraciones hacia el centro de la ciudad. Con la puesta en funcionamiento de las nuevas estaciones, se puede evidenciar que en Fontibón también se registran concentraciones moderadas de material particulado, principalmente en la zona que limita con la localidad de Kennedy. En la estación Jazmín se registraron concentraciones similares a las de Puente Aranda, en donde se registraron menores concentraciones que en las demás estaciones del suroccidente. En la estación Bolivia se observan concentraciones similares a las de Suba y Fontibón y en el mismo rango de valores se observan los registros de Usme.

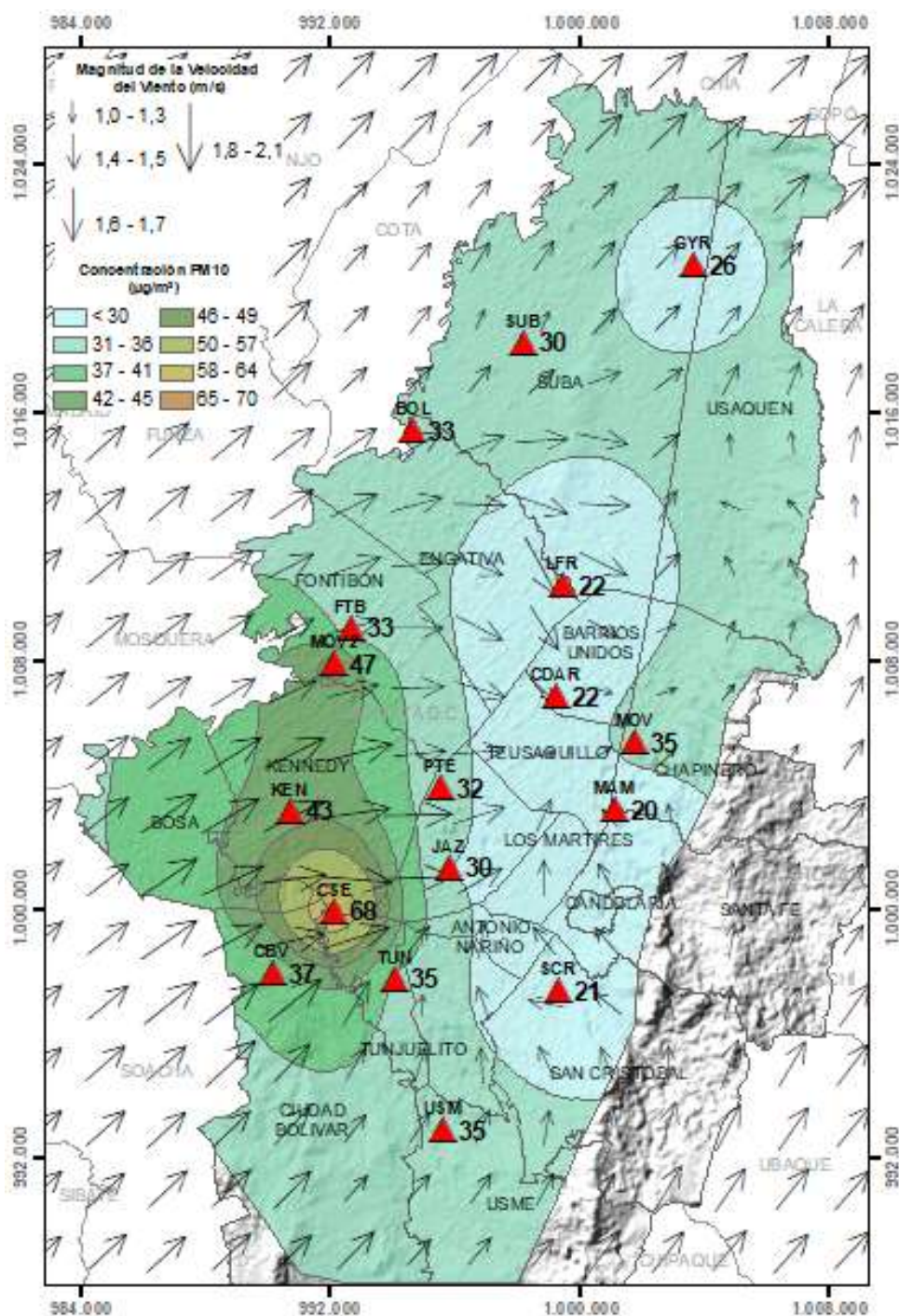


Figura 6-2 Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging

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 para 2021. Se observa que en la mayoría de las estaciones las concentraciones de PM₁₀ fueron más altas en el segundo semestre del año; en el sur de la ciudad (Usme, Ciudad Bolívar, Jazmín y Tunal) las concentraciones más elevadas se evidenciaron en el cuarto trimestre del año, principalmente en noviembre. En la zona suroccidental se registraron las concentraciones más elevadas en noviembre y diciembre, aunque la estación Carvajal – Sevillana tuvo registros notablemente más altos que las demás estaciones, con incrementos desde septiembre hasta noviembre.

Se destaca también en la zona centro-oriental en la estación Móvil 7ma, la cual fue la única que registró concentraciones más altas de PM₁₀ en el primer trimestre del año en comparación al último trimestre, ya que tuvo el promedio más alto en marzo. Sin embargo, en general se observó que en la ciudad se incrementaron las concentraciones durante el primer trimestre, luego se redujeron gradualmente hasta junio y julio, mes en el que se observaron las concentraciones más bajas, y después se fueron incrementando gradualmente hasta final de año. Este comportamiento puede estar asociado a que en el primer semestre del año se mantuvieron algunas de las restricciones por los efectos de la emergencia sanitaria por COVID-19, mientras que en el segundo semestre se fueron eliminando las restricciones y con el retorno de las actividades presenciales hubo un aumento del tráfico, lo cual incidió en el incremento de las concentraciones del cuarto trimestre del año.

En la Figura 6-4 se evidencia el comportamiento del contaminante PM₁₀ durante una semana típica del año 2021 para cada estación de monitoreo, se observa un comportamiento creciente conforme pasa la semana; las menores concentraciones se observan los lunes, y aumentan gradualmente hasta el jueves, ya que, en varias estaciones, especialmente al sur de la ciudad, hubo ligeras disminuciones los viernes. Finalmente se incrementan las concentraciones los sábados, y disminuyen en los domingos. La mayor variación de la concentración en la semana se observó en la zona suroccidental, pasando de concentraciones cercanas a 20 µg/m³ los lunes hasta 80 µg/m³ los sábados.

En la Figura 6-5 se observa la variación horaria de las concentraciones de PM₁₀ en un día promedio para el año 2021. 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, después se incrementan las concentraciones desde las 7 a.m. y se alcanza el pico más alto entre las 8 y las 9 a.m. Después se reducen gradualmente hacia el mediodía, y durante la tarde y noche se mantuvieron estables en la mayoría de las estaciones. En las estaciones del suroccidente de la ciudad se evidenció un aumento ligero de las concentraciones desde las 8 p.m., aunque en la estación Carvajal - Sevillana este aumento fue más notable, con otro pico de concentración hacia las 10 de la noche. Por otro lado, la estación Móvil Fontibón tuvo el comportamiento más atípico, ya que después del pico de la mañana y descenso de las concentraciones hacia las 10 a.m., se observó otro aumento de concentraciones gradual hasta las 3 p.m. que después se redujo lentamente hasta el final del día. En las estaciones con tendencias atípicas hay una influencia notable del comportamiento del tráfico en las vías principales de la ciudad, como lo son la Autopista Sur y la Calle 13, en las cuales circula además tráfico pesado.

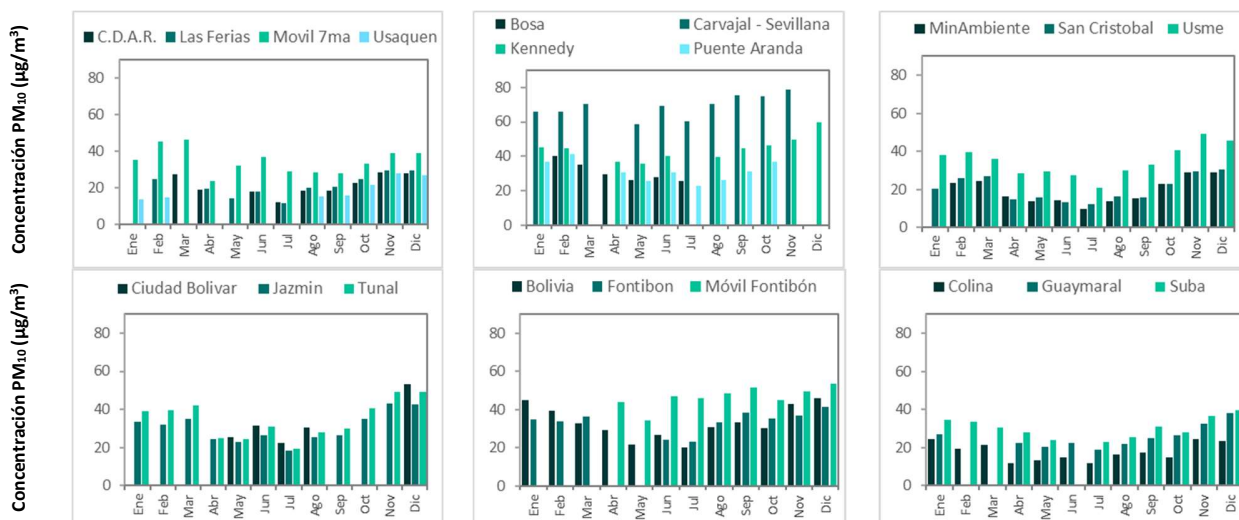


Figura 6-3. Concentraciones mensuales de PM_{10} por estación – Año 2021

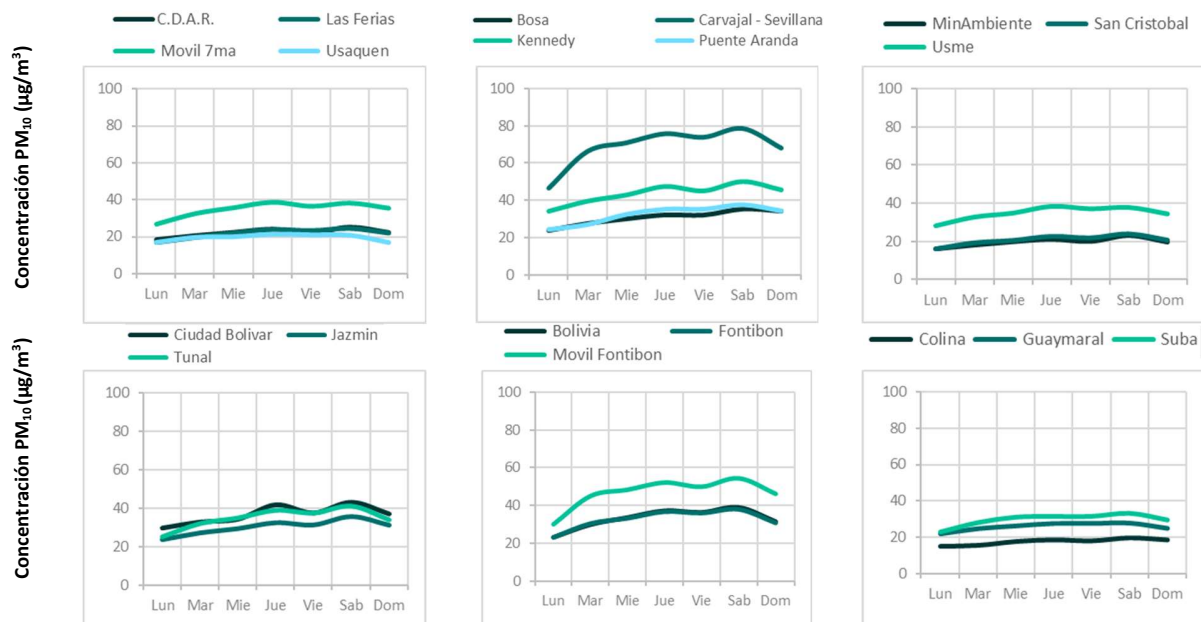


Figura 6-4. Comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} – Año 2021

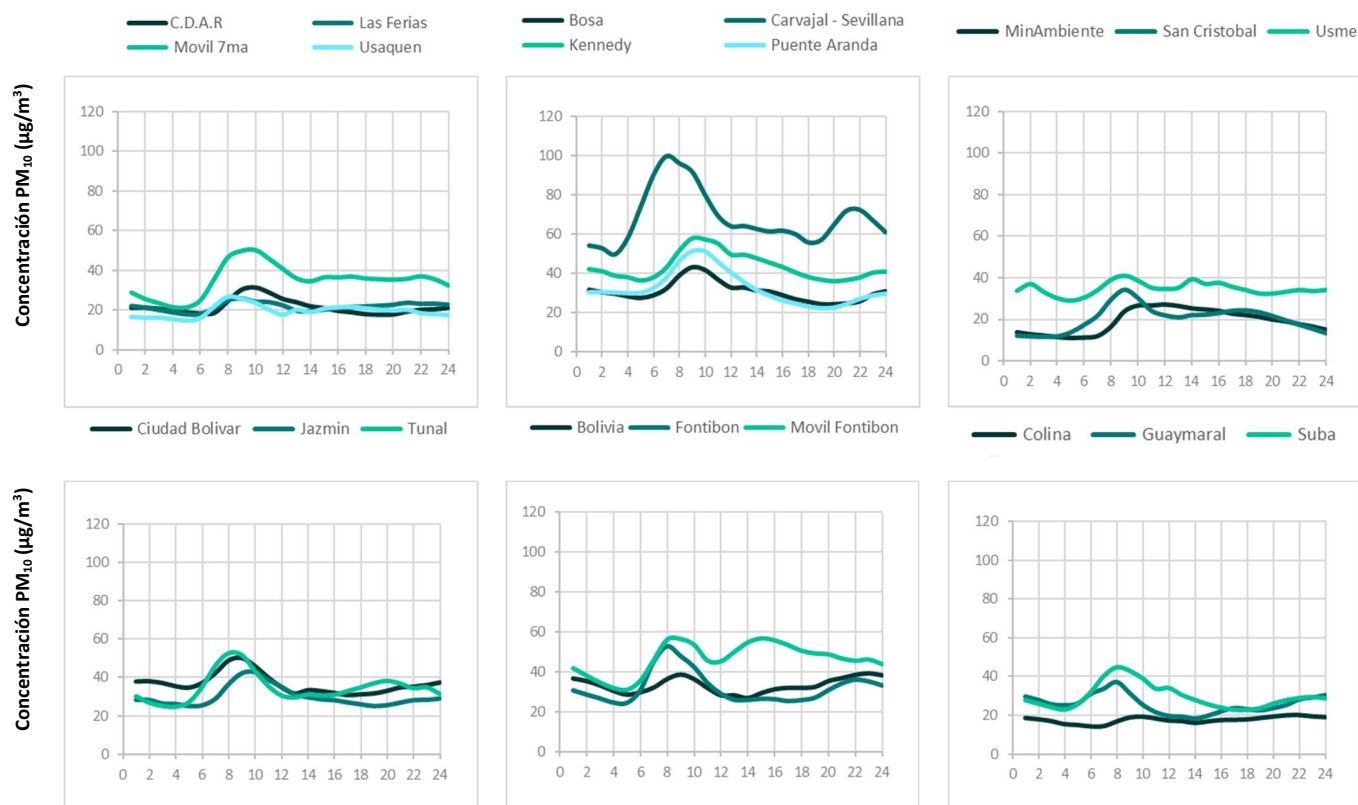


Figura 6-5. Comportamiento horario de las concentraciones de PM_{10} – Año 2021

6.1.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL PM_{10} POR ESTACIÓN

Los promedios anuales de concentración de PM_{10} para los años 2018 a 2021 se muestran en la Figura 6-6, en la mayoría de las estaciones se observa una tendencia a la reducción de las concentraciones con el paso de los años, solamente Carvajal - Sevillana sobrepasó el nivel máximo permisible ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para los últimos cuatro años, además de registrar el promedio anual más alto para todas las estaciones del 2018. Cabe resaltar que, en las estaciones del suroccidente de la ciudad, (Carvajal - Sevillana y Kennedy) se registraron promedios anuales en 2021 más altos que en el año anterior, con lo cual Carvajal - Sevillana aumentó en $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el promedio anual, posiblemente porque en esta zona se observó con mayor intensidad el efecto de la reactivación de la ciudad.

Por otro lado, la estación Centro de Alto Rendimiento ha registrado los promedios anuales más bajos en la ciudad para los últimos cuatro años, y MinAmbiente en los dos últimos años, siendo el promedio de 2021 en esta estación el más bajo de los cuatro años en la ciudad, con $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, en relación con los promedios de 2021 de las nuevas estaciones, en Móvil Fontibón y Ciudad Bolívar se registraron promedios más altos que los observados en los últimos cuatro años en otras estaciones cercanas como Fontibón o Tunal, con lo cual se pueden identificar otros sectores de la ciudad que registran altas concentraciones de material particulado.

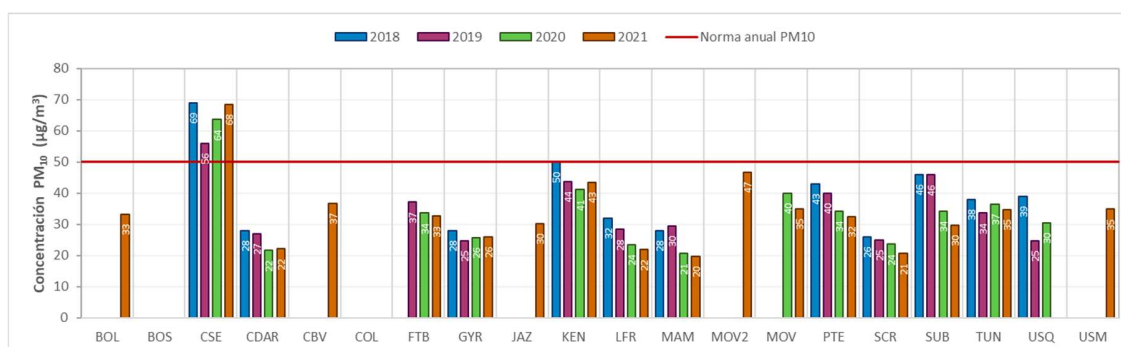


Figura 6-6 Concentraciones anuales de PM₁₀ años 2018 a 2021

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 2021, 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 34,6 µg/m³, hacia el suroccidente de la ciudad, mientras que la concentración anual más baja se evidenció en Usme, con 10,9 µg/m³ en la zona sur.

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 120 datos, seguida de las estaciones Ciudad Bolívar y Puente Aranda con 10 excedencias cada una.

Los monitores de PM_{2.5} de las estaciones Bosa, Colina, Móvil Fontibón y Usaquén registraron menos del 75% de datos válidos durante el año 2021; Bosa suspendió la operación de todos los parámetros en agosto de 2021, por lo cual no cuenta con datos para los meses de septiembre a diciembre, Colina y Móvil Fontibón empezaron su funcionamiento en el segundo trimestre del año, además se invalidaron varios datos atípicos en Colina, Usaquén no registró datos debido a que no estuvo en funcionamiento el monitor entre marzo y julio de 2021. Debido a lo expuesto, los promedios estimados son indicativos, ya que solo representan una parte del comportamiento del contaminante durante el año.

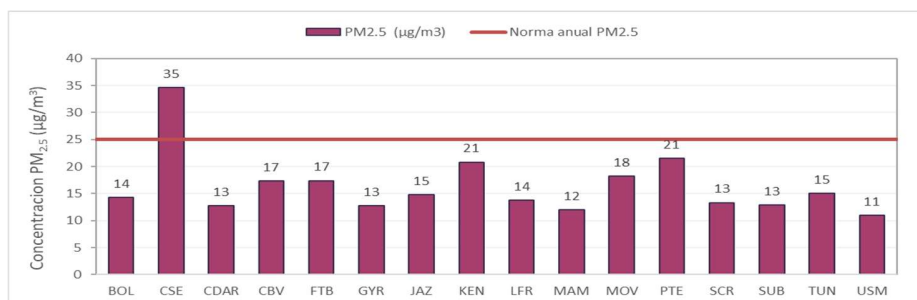


Figura 6-7 Concentraciones promedio anual de PM_{2.5} – Año 2021

Tabla 6-2 Estadísticas de las concentraciones anuales de PM_{2.5} – Año 2021

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	14,3	100%	34,7	0
BOS*	12,6	57%	34,1	0
CSE	34,6	84%	66,7	120
CDAR	12,7	95%	36,0	0
CBV	17,3	97%	51,6	10
COL*	7,8	73%	24,1	0
FTB	17,4	89%	36,5	0
GYR	12,8	97%	30,8	0
JAZ	14,7	96%	38,7	2
KEN	20,8	94%	44,0	6

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	13,8	94%	34,6	0
MAM	11,9	98%	30,8	0
MOV2*	18,3	72%	39,4	1
MOV	18,2	94%	44,5	7
PTE	21,5	86%	45,0	10
SCR	13,3	81%	35,7	0
SUB	12,9	93%	32,8	0
TUN	15,0	85%	36,2	0
USQ*	10,9	55%	27,8	0
USM	10,9	93%	31,6	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 2021, 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 las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con concentraciones superiores a 21 µg/m³. Las concentraciones más bajas se registraron en las zonas cercanas a las estaciones MinAmbiente y Usme, con valores entre 11 y 12 µg/m³. La distribución espacial del PM_{2.5} es similar a la del PM₁₀, las mayores concentraciones suelen registrarse hacia el suroccidente de la ciudad, pero con un aumento notable de las concentraciones del entorno de la estación Carvajal - Sevillana, y una disminución generalizada de las concentraciones en el oriente de la ciudad. Las estaciones Ciudad Bolívar y Jazmín registraron promedios similares a Fontibón y Tunal, un poco más altos que la mayor parte del oriente de la ciudad, pero son más bajos en relación con el valor observado en Carvajal - Sevillana.

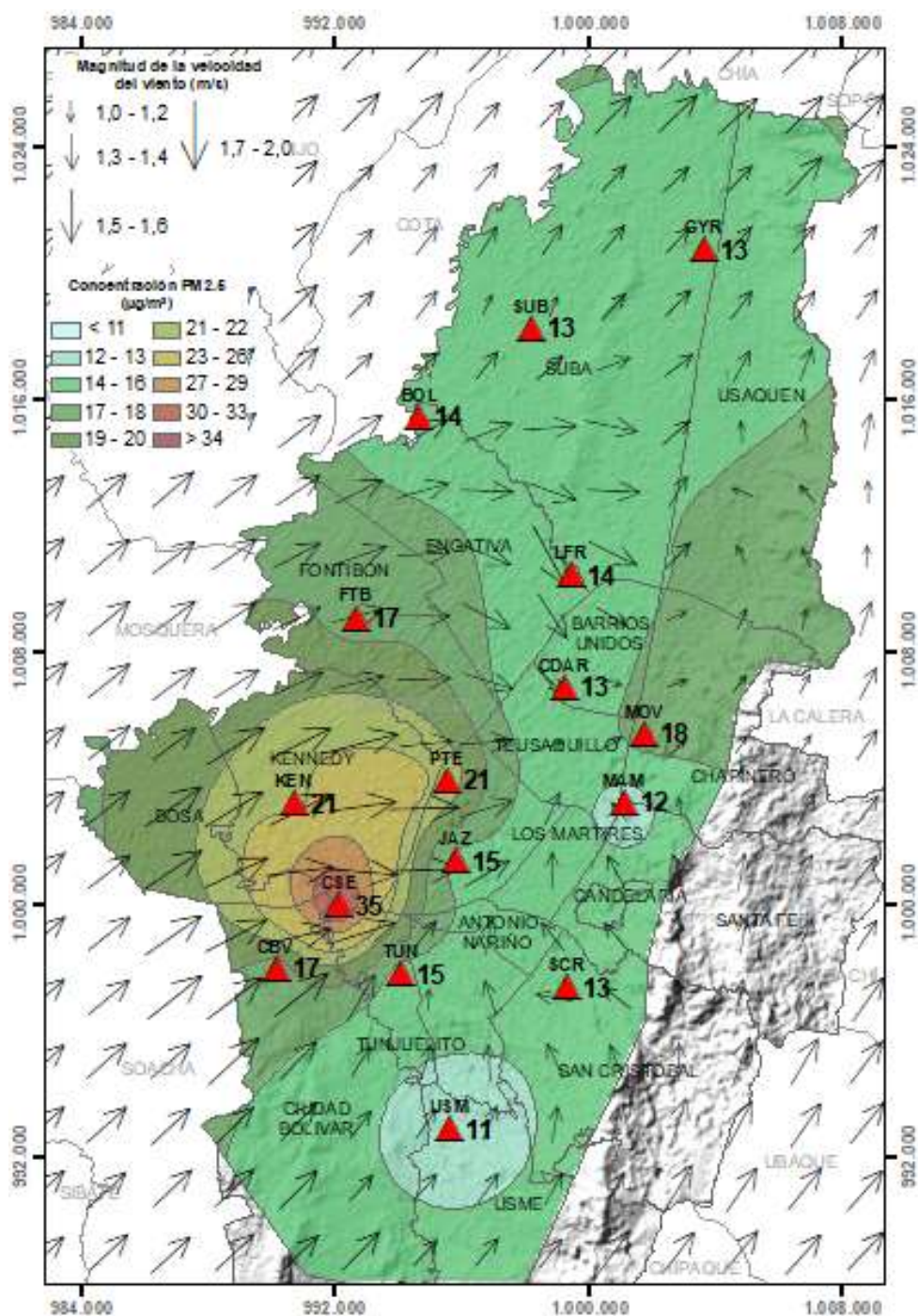


Figura 6-8 Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{2.5} del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging

6.2.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM_{2.5} POR ESTACIÓN

Las variaciones mensuales de las concentraciones de PM_{2.5} durante el 2021 se observan en la Figura 6-9. Se registraron altas concentraciones en el primer trimestre, con valores más altos en el mes de marzo, luego se redujeron en el segundo trimestre hasta el mes de julio que tuvo los valores más bajos, y se empezaron a incrementar desde agosto hasta registrar los valores más altos en el mes de diciembre.

Las variaciones en las concentraciones en el primer trimestre estuvieron influenciadas por la contaminación generada por incendios forestales, aunque también se evidenció un aporte por las lluvias que se presentaron principalmente en febrero, y de las restricciones por un aumento en los casos de COVID-19 en la ciudad después de las celebraciones de final de año. En el segundo trimestre las condiciones meteorológicas favorecieron la dispersión de contaminantes y la temporada de vacaciones de mitad de año. Desde agosto hubo un cambio en los parámetros meteorológicos, y un aumento de la actividad en la ciudad, con lo cual gradualmente aumentaron las concentraciones hasta diciembre.

El comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} en una semana promedio se observa en las gráficas de la Figura 6-10. Se evidencian concentraciones bajas que aumentan gradualmente hasta el miércoles, después hay una ligera disminución el jueves, y aumentan nuevamente el viernes, siendo el día de más alta concentración y después descienden hasta el domingo, cuando se registran las concentraciones más bajas. En las estaciones del oriente y del norte de la ciudad se observó un comportamiento más homogéneo, mientras que en las estaciones del suroccidente de la ciudad se observan mayores variaciones, especialmente entre los viernes y domingos.

En la Figura 6-11 se representa el comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} en un día promedio de 2021. Se observaron concentraciones de valores similares en la madrugada hasta las 6 de la mañana (a excepción de Carvajal - Sevillana en la que inicia el aumento desde las 4 de la mañana), después hay un incremento gradual hasta las 9 a.m. (7 a.m. en Carvajal - Sevillana) que se mantiene por dos horas, y hay un nuevo descenso, hasta la 1 y 2 de la tarde. Después hay una estabilización de las concentraciones durante la tarde y noche para la mayoría de las estaciones; al suroccidente se observa un segundo aumento de concentración hacia las 10 de la noche de menor magnitud a la de la mañana. En la estación Móvil Fontibón hay un aumento de concentraciones después de mediodía que se mantiene en una magnitud similar al pico de la mañana, y en la estación Colina el comportamiento es bastante homogéneo durante todo el día. En las estaciones de bajas concentraciones de material particulado es menos evidente la variación entre la noche y la mañana, mientras que, en las estaciones de altas concentraciones, los picos registrados son bastante pronunciados, asociados a las horas de mayor tráfico en las vías de la ciudad.

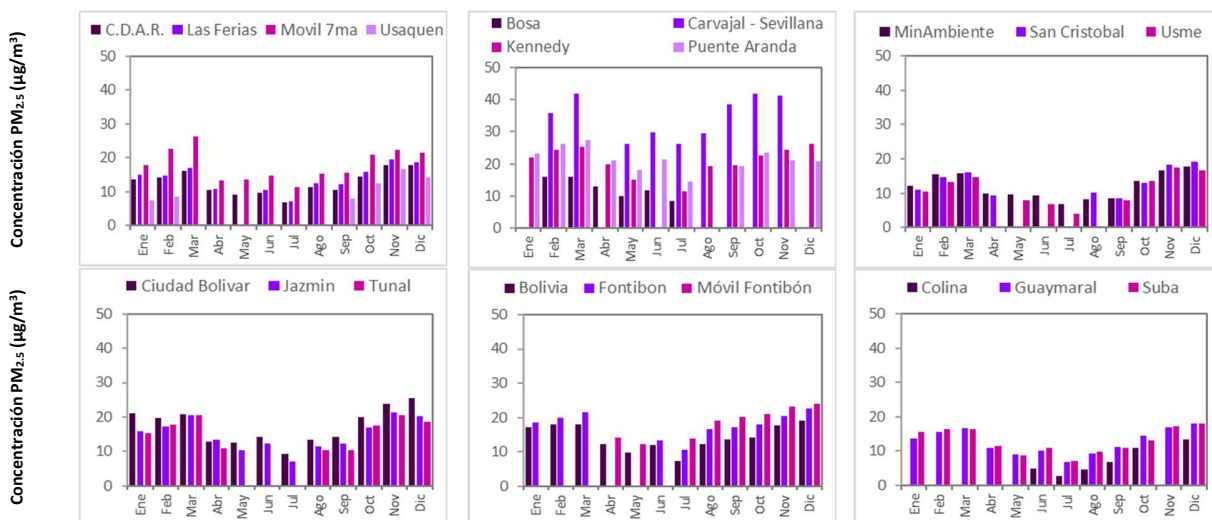


Figura 6-9 Concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ por estación – Año 2021



Figura 6-10 Comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ – Año 2021



Figura 6-11 Comportamiento horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ – Año 2021

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 2018 a 2021. Se observa que la estación Carvajal - Sevillana ha sido la única que ha registrado los promedios anuales por encima de la norma anual ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y además dichos promedios han sido los más altos de todas las estaciones en los últimos cuatro años. En general, se observa una tendencia a la reducción de las concentraciones con el paso de los años, a excepción de las estaciones Carvajal - Sevillana, Puente Aranda y San Cristóbal, que registraron promedios más altos en 2021 respecto al año anterior. Por otro lado, los promedios más bajos se evidenciaron en la estación MinAmbiente, San Cristóbal y Usme, siendo el promedio de 2021 de esta última estación el más bajo desde 2018. Aunque se han observado reducciones de pocas unidades en la mayoría de las estaciones, debe tenerse en cuenta que en 2020 y 2021 hubo varias modificaciones en el comportamiento de las fuentes de emisión en la ciudad, además de la influencia de fenómenos como el de La Niña, que pueden conllevar reducciones de concentración en el primer trimestre principalmente, en el que usualmente se observan las concentraciones más altas del año.

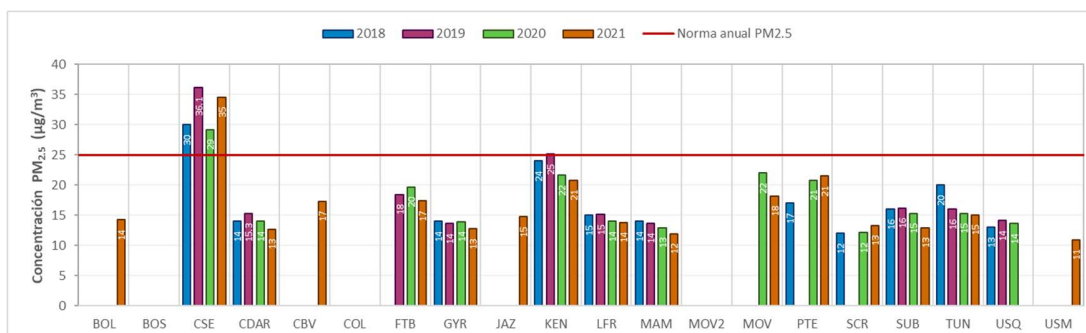


Figura 6-12 Concentraciones anuales de PM_{2.5} años 2018 a 2021

6.3. OZONO (O₃)

El O₃ 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 2021, 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 2021 para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. De acuerdo con lo anterior, se observa que la concentración anual más alta de O₃ se registró en la estación Usaqué, con 32,693 µg/m³, mientras que la concentración más baja se obtuvo en la estación Carvajal - Sevillana, con 13,481 µg/m³.

La estación Kennedy registró el mayor número de excedencias, con 38 datos sobre la norma para un tiempo de exposición 8 horas, seguida de MinAmbiente con 13 excedencias. Las estaciones Bolivia, Bosa, Colina, Móvil Fontibón y Usme registraron un porcentaje de representatividad temporal menor al 75%, en la mayoría se debió a que se instalaron los analizadores después del inicio del segundo trimestre del 2021, por lo cual no tuvieron suficiente tiempo de monitoreo en el año.

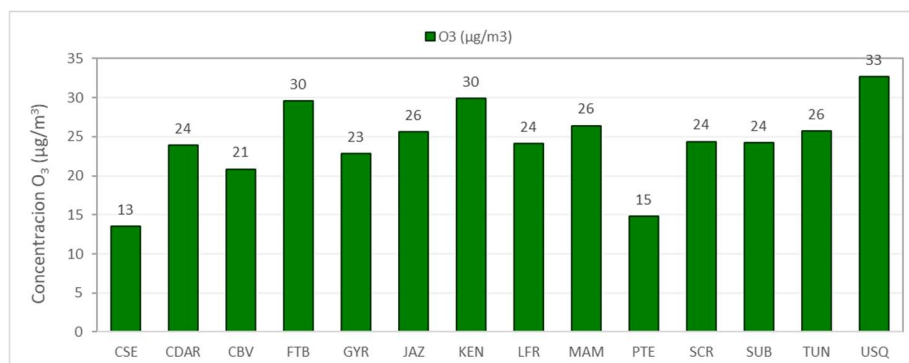


Figura 6-13 Concentraciones promedio anual de O₃ – Año 2021

Tabla 6-3 Estadísticas de las concentraciones anuales de O₃ – Año 2021

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				
BOL*	9,402	40%	43,279	0
BOS*	20,147	58%	105,798	3
CSE	13,481	77%	78,961	0
CDAR	23,917	97%	117,094	7
CBV	20,846	91%	89,770	0
COL*	13,480	60%	46,559	0
FTB	29,539	90%	107,472	9
GYR	22,849	94%	93,104	0
JAZ	25,601	98%	104,140	3
KEN	29,896	90%	136,159	38

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				
LFR	24,118	99%	99,603	0
MAM	26,414	98%	118,418	13
MOV2*	16,450	42%	74,872	0
PTE	14,765	97%	83,494	0
SCR	24,385	98%	98,044	0
SUB	24,223	96%	103,144	2
TUN	25,745	96%	96,685	0
USQ	32,693	99%	93,784	0
USM*	21,291	69%	88,578	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 2021, 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. Las concentraciones más altas se observaron en las zonas de influencia de las estaciones Fontibón y Usaqué, con valores entre 30 y 33 µg/m³, y las menores concentraciones se registraron al suroccidente de la ciudad, en parte de las localidades de Puente Aranda, Tunjuelito, Ciudad Bolívar, Bosa y Kennedy, con valores entre 13 y 21 µg/m³. Al ser el ozono un contaminante secundario, tiene una notable variación en la distribución espacial cada año, aunque es evidente nuevamente el comportamiento de las altas concentraciones al norte, y las bajas concentraciones al suroccidente, con un comportamiento opuesto al del material particulado.

6.3.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O₃ POR ESTACIÓN

El comportamiento del O₃ para cada uno de los meses del año 2021 se presenta en la Figura 6-15. Se observa que las concentraciones se mantuvieron similares en algunas estaciones durante los cuatro primeros meses del año, luego entre abril y junio se observó una reducción notable de las concentraciones, y se volvió a registrar un aumento gradual hasta septiembre, mes que tuvo el pico más alto de concentración, y finalmente hubo una leve disminución hacia final de año. En cada zona se ven comportamientos similares del contaminante durante el año, a excepción de Usaquén, que tuvo un incremento notable en el segundo semestre en relación con las estaciones cercanas. Kennedy, que es la única que registra altas concentraciones de O₃ en la zona suroccidente, aunque también se han registrado altas concentraciones de O₃ en Fontibón, en comparación con la estación Móvil Fontibón.

El comportamiento del ozono para una semana promedio en el 2021 (Figura 6-16) muestra que hubo pocas variaciones en el comportamiento del contaminante con el paso de los días, de 4 µg/m³ aproximadamente. En general las concentraciones son estables durante la semana, pero se observaron descensos de concentración los martes y miércoles, y un leve aumento los viernes y sábados respecto a los primeros días de la semana.

En la Figura 6-17 se observa el comportamiento de las concentraciones de O₃ en un día promedio en el 2021. Se observa que las concentraciones permanecen estables hasta las 6 a.m., cuando hay una pequeña disminución y empieza a aumentar notablemente hacia la 1 o 2 p.m., con lo cual se evidencia la influencia de la radiación solar en las variaciones horarias del contaminante. Después de estas horas, empiezan a bajar las concentraciones hasta las 7 u 8 p.m. y se mantienen estables durante el resto de la noche. En las estaciones Fontibón y Kennedy se observaron las mayores diferencias de concentración entre la noche y la mañana, con 50 µg/m³ en Kennedy y 55 µg/m³ en Fontibón.

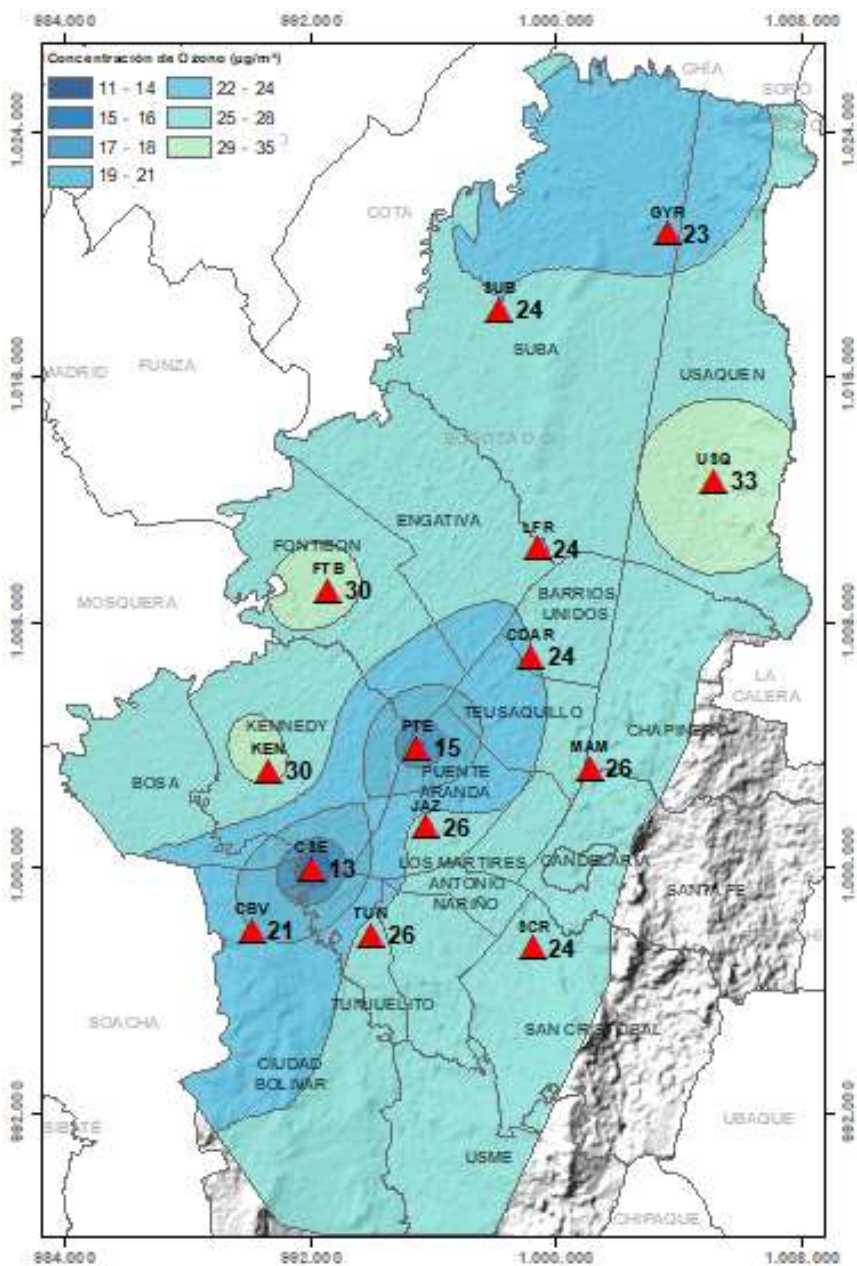


Figura 6-14 Distribución espacial de los promedios anuales de O₃ del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging

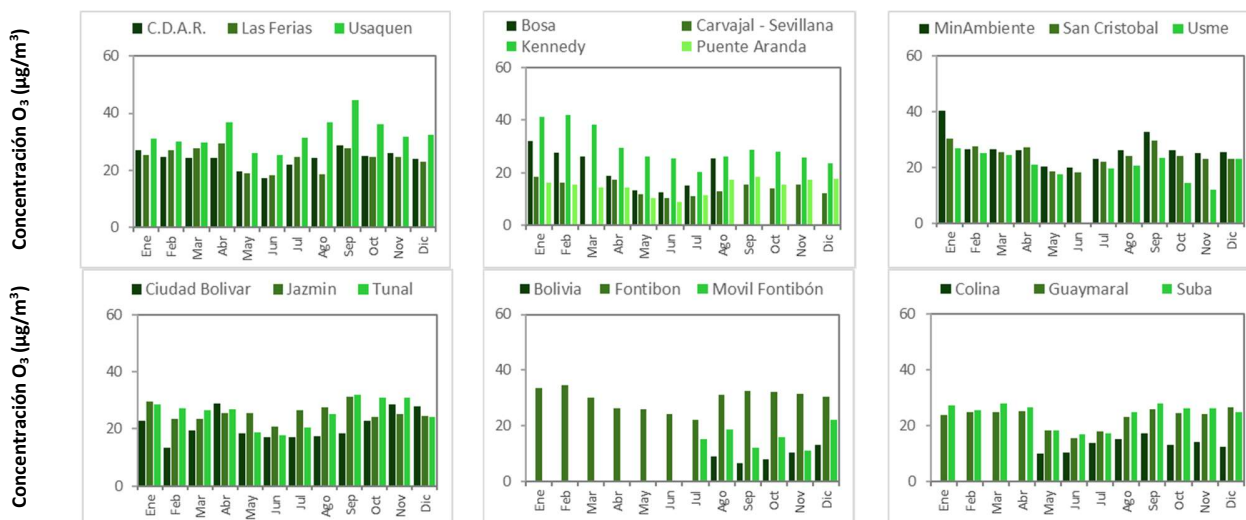


Figura 6-15 Concentraciones mensuales de O₃ por estación – Año 2021



Figura 6-16 Comportamiento diario de las concentraciones de O₃ – Año 2021

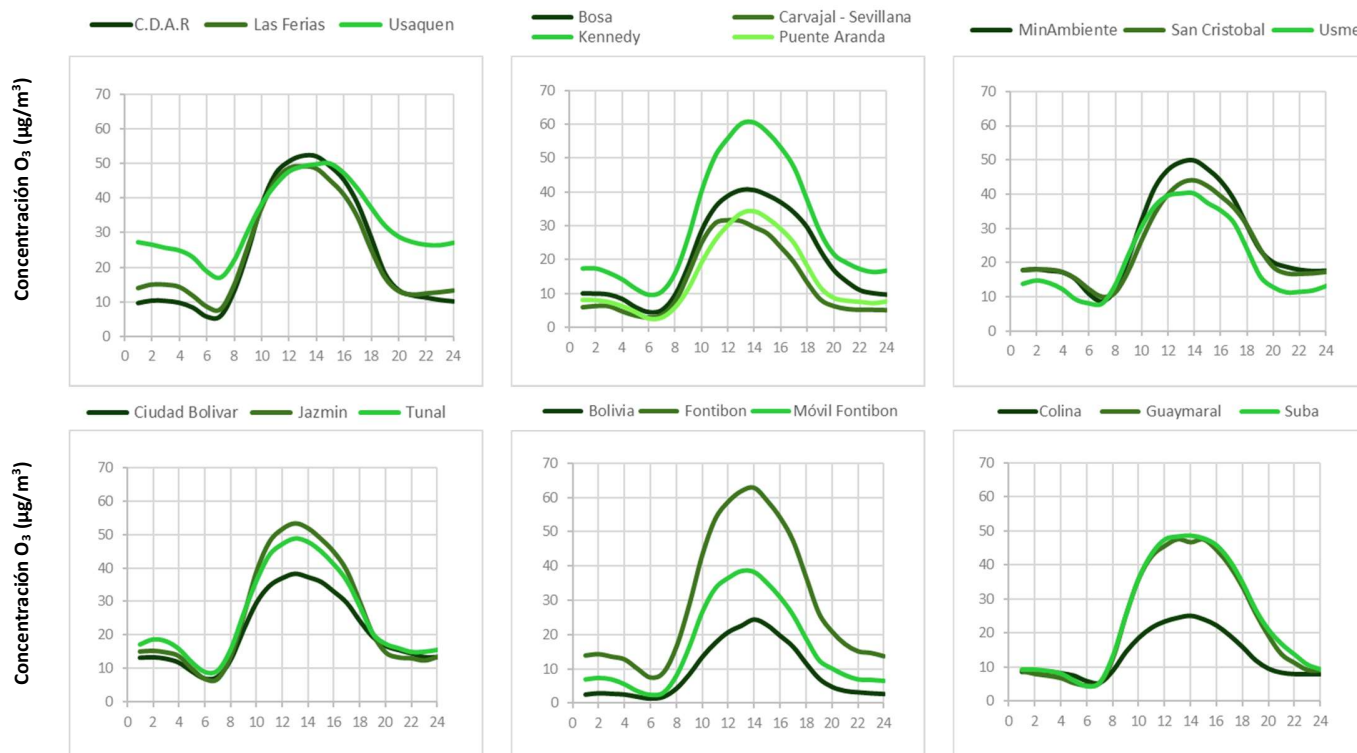


Figura 6-17 Comportamiento horario de las concentraciones de O₃ – Año 2021

6.3.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL O₃ POR ESTACIÓN

En la Figura 6-18 se observan las concentraciones anuales de O₃ para los años 2018 a 2021. Se evidencia que la estación Usaquén ha registrado los promedios anuales de concentración más altos en la ciudad, sin embargo, la estación Kennedy tuvo el promedio más alto de los últimos cuatro años en 2020 con 36 µg/m³. En todas las estaciones se observó una reducción de las concentraciones anuales en 2021 respecto al año anterior, aunque en el año 2020 se observó un incremento en relación con los años anteriores, por influencia de las variaciones del comportamiento de las fuentes de emisión en el inicio de las restricciones para reducir los casos de COVID-19, por lo cual se pudieron incrementar las concentraciones de precursores de ozono en la ciudad.

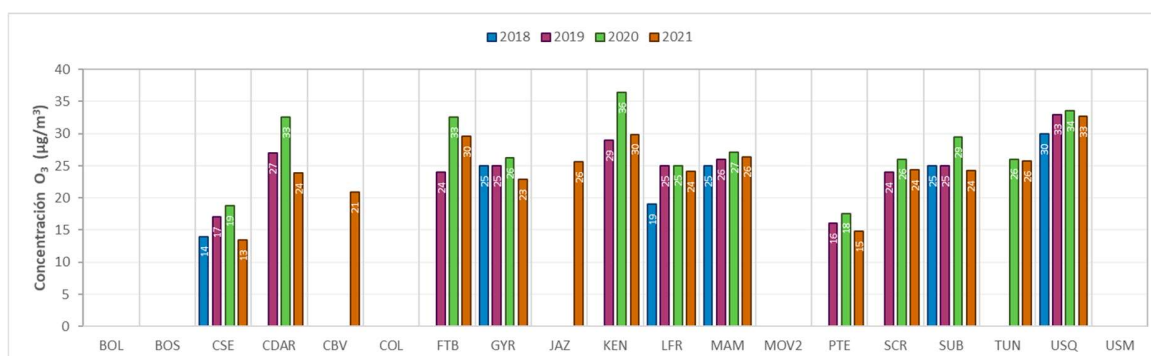


Figura 6-18 Concentraciones anuales de O₃ años 2018 a 2021

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 2021, 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 Kennedy y Bolivia con 37,6 y 37,1 µg/m³ respectivamente, mientras que las concentraciones más bajas se registraron en Usaquén y Móvil 7ma, con 18,0 y 11,1 µg/m³.

Durante el año 2021 no se registraron excedencias a la norma horaria (200 µg/m³). Los analizadores de NO₂ de las estaciones Bosa, Carvajal - Sevillana, Móvil Fontibón y MinAmbiente registraron menos del 75% de representatividad temporal en el 2021; Bosa finalizó la operación de todos los parámetros en agosto de 2021 debido a actos de vandalismo, en Carvajal - Sevillana se invalidaron varios datos debido a comportamiento atípico del analizador, y en Móvil Fontibón y MinAmbiente los analizadores de NO₂ se pusieron en funcionamiento en julio y junio de 2021.

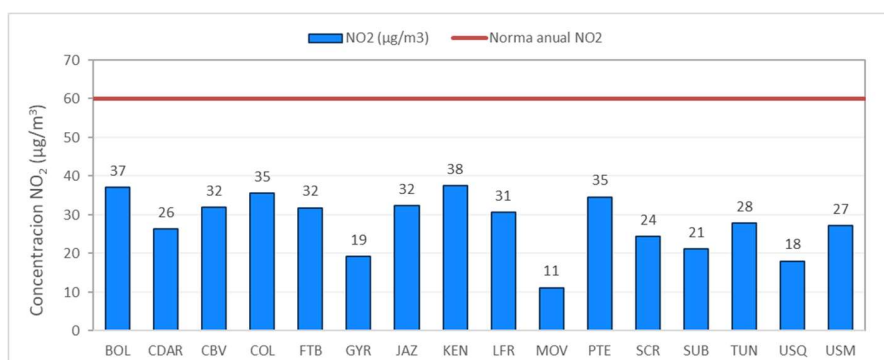


Figura 6-19 Concentraciones promedio anual de NO₂ – Año 2021

Tabla 6-4 Estadísticas de las concentraciones anuales de NO₂ – Año 2021

Estación	Prom. anual NO ₂ (µg/m ³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m ³)	No. Exced. 1h	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					Norma anual: 60 µg/m³ Norma horaria: 200 µg/m³				
BOL	37,1	88%	57,1	0	LFR	30,6	98%	65,6	0
BOS*	19,9	55%	39,4	0	MAM*	26,7	42%	55,7	0
CSE*	47,7	65%	79,3	0	MOV2*	39,1	51%	57,7	0
CDAR	26,4	99%	58,4	0	MOV	11,1	89%	26,5	0
CBV	31,9	98%	81,7	0	PTE	34,6	96%	72,9	0
COL	35,5	81%	97,4	0	SCR	24,4	97%	61,8	0
FTB	31,8	83%	55,6	0	SUB	21,2	92%	38,5	0
GYR	19,3	86%	52,4	0	TUN	27,9	87%	66,3	0
JAZ	32,3	94%	67,1	0	USQ	18,0	98%	57,2	0
KEN	37,6	96%	63,1	0	USM	27,2	99%	54,1	0

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

La Figura 6-20 representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de NO₂ registradas durante el 2021, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. Se observa que las concentraciones más altas se registraron en las localidades de Kennedy, parte de Bosa y Puente Aranda, y también en la zona de influencia de las estaciones Bolivia y Colina, con concentraciones que varían de 35 a 38 µg/m³. Las concentraciones más bajas se registraron en el oriente de la ciudad, en la localidad de Chapinero, parte de Usaquén y el área de influencia de Guaymaral, con concentraciones entre 11 y 19 µg/m³. El comportamiento de este contaminante es similar al del material particulado, con las concentraciones más altas hacia el suroccidente de la ciudad, sin embargo, se evidenciaron también altas concentraciones en el noroccidente, asociadas posiblemente al tipo de transporte que circula en las vías cercanas.

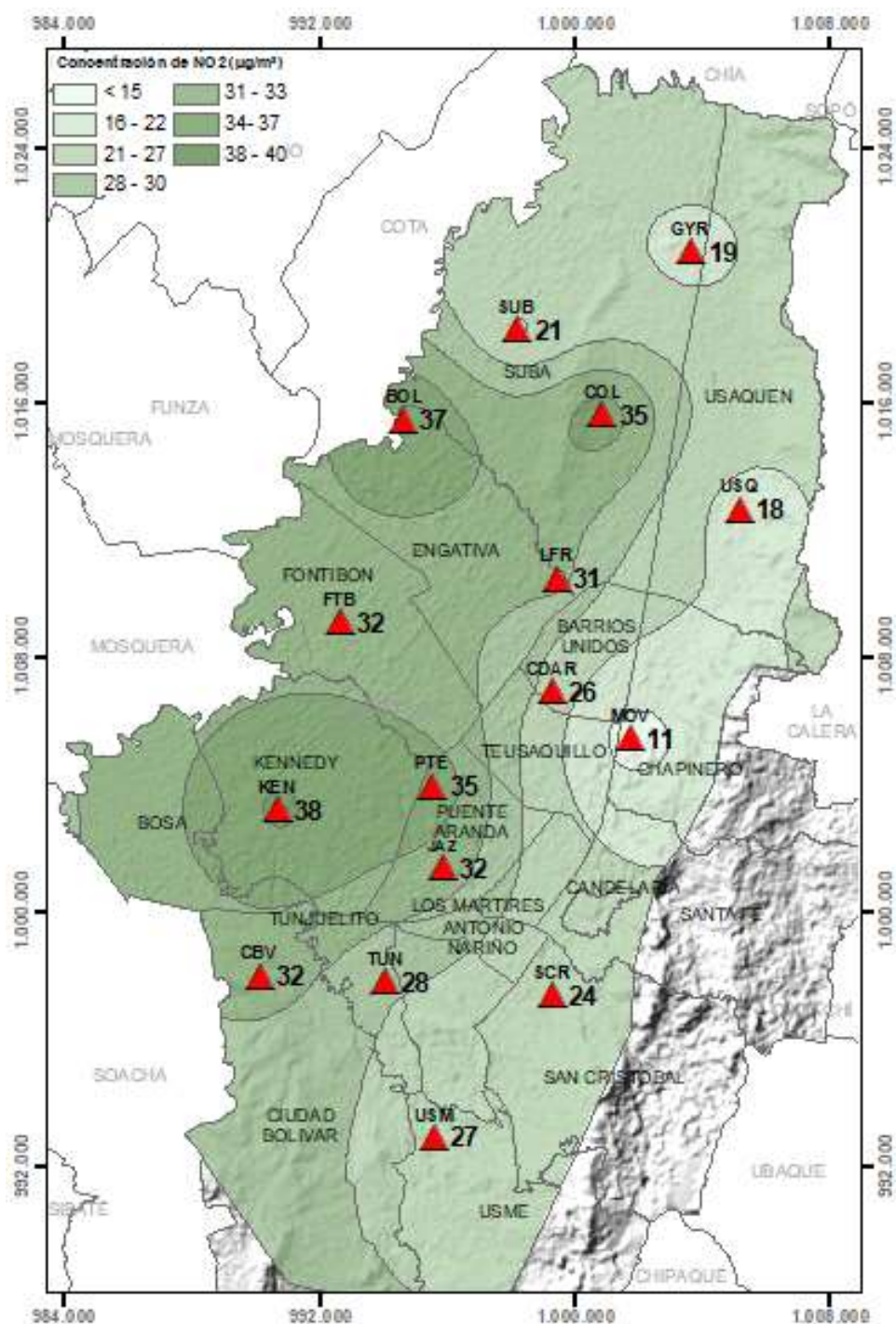


Figura 6-20 Distribución espacial de los promedios anuales de NO₂ del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging

6.4.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO₂ POR ESTACIÓN

La Figura 6-21 muestra las concentraciones mensuales de NO₂ en el año 2021 para cada estación de monitoreo. Se evidencia que las concentraciones se incrementaron ligeramente entre enero y marzo, y después hubo una reducción en los meses siguientes hasta julio en la mayoría de las estaciones. Desde agosto hay un aumento notable de las concentraciones que fue creciente durante el tercer trimestre del año, registrando las concentraciones más altas en octubre y noviembre y disminuyeron ligeramente en diciembre. La estación Ciudad Bolívar fue la única que registró la concentración más alta en marzo, en las demás el pico más alto se registró en el cuarto trimestre. Los aumentos de concentración en el segundo semestre se pueden asociar al incremento del tráfico en la ciudad, especialmente en vías principales como la Autopista Sur o la Avenida Boyacá.

El comportamiento del NO₂ de una semana promedio en el año 2021 se representa en la Figura 6-22. Las concentraciones tienen un comportamiento poco variable durante la semana en la mayoría de las estaciones, solamente en las estaciones del suroccidente se evidencia una reducción notable de las concentraciones registradas entre los viernes y los domingos, y en las estaciones del centro, nororiente y sur también se observa esta variación en menor proporción. Estas variaciones son coherentes con el comportamiento de las fuentes móviles en la ciudad, ya que el tráfico se reduce los domingos.

En relación con el comportamiento horario en un día promedio del 2021), se evidencian dos picos marcados de concentración, el primero entre 6 a.m. y 8 a.m. y el segundo entre las 8 p.m. y 9 p.m. En general, las concentraciones disminuyen ligeramente entre las 12 a.m. y 4 a.m., luego empiezan a aumentar gradualmente hasta el primer pico de la mañana, después hay una reducción de concentraciones hacia el mediodía y en la tarde vuelve a incrementarse para alcanzar el segundo pico de concentración, el cual fue más alto que el de la mañana en las estaciones del suroccidente, centro y nororiente de la ciudad. Finalmente, hay una nueva reducción de las concentraciones hasta alcanzar los niveles observados a medianoche, este comportamiento es bastante influenciado por las horas pico de transporte en la ciudad, en la salida hacia los lugares de trabajo en la mañana y retorno a los hogares de los ciudadanos en la tarde.

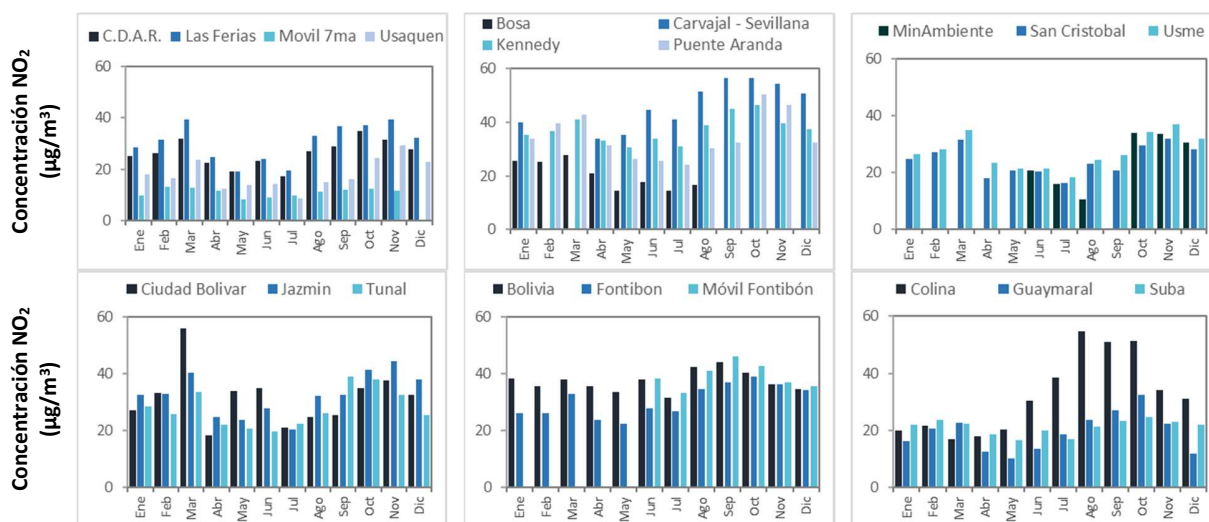


Figura 6-21 Concentraciones mensuales de NO₂ por estación – Año 2021

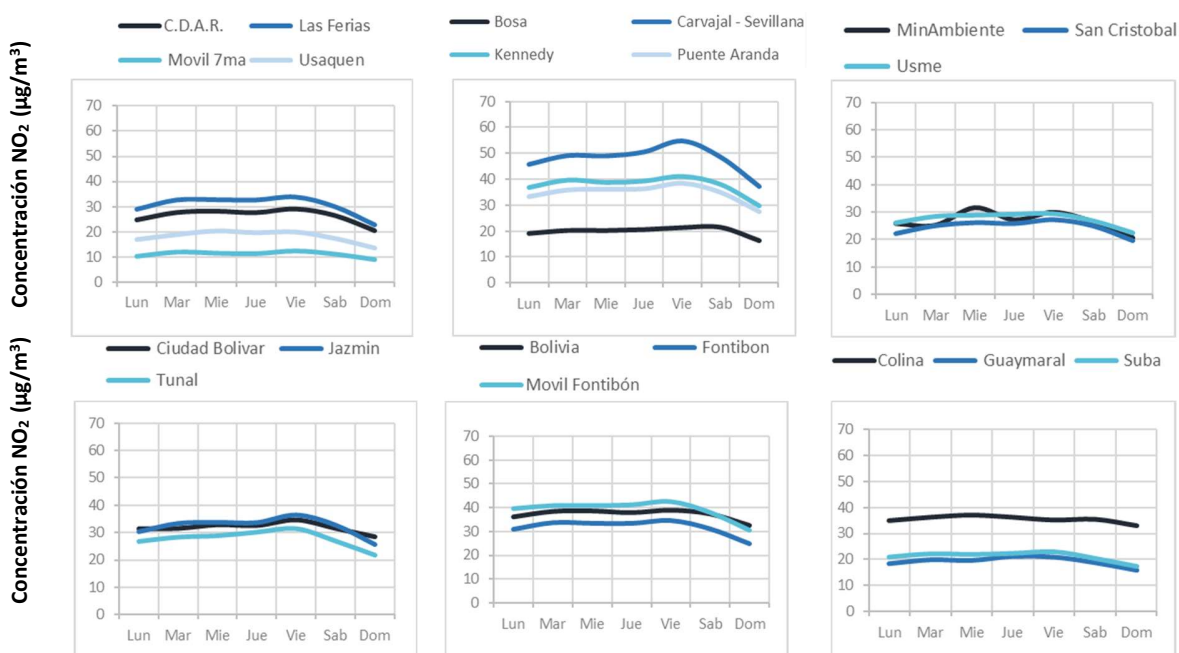


Figura 6-22 Comportamiento horario de las concentraciones de NO₂ – Año 2021

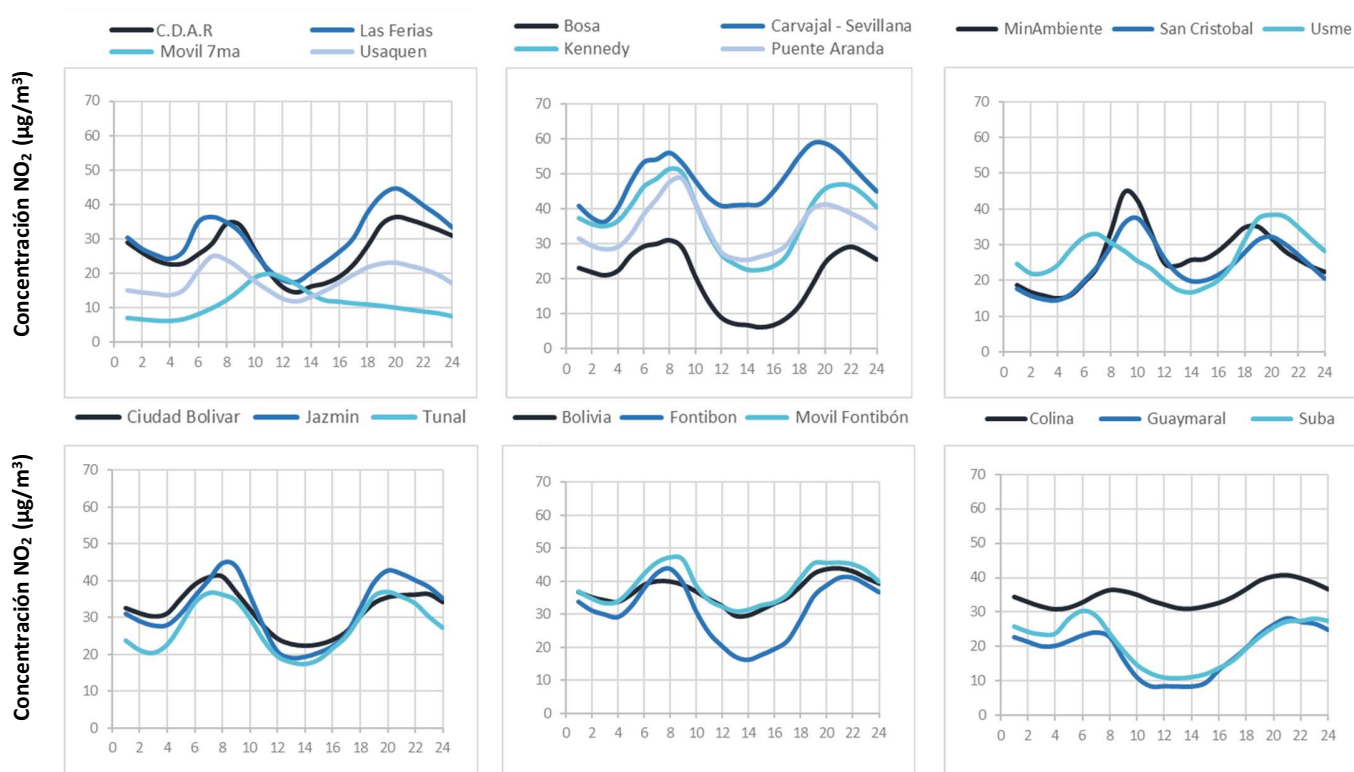


Figura 6-23 Comportamiento horario de las concentraciones de NO₂ – Año 2021

6.4.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL NO₂ POR ESTACIÓN

En la Figura 6-24 se representan las concentraciones promedio anual de NO₂ de los años 2018 a 2021 y la comparación con el límite máximo permisible (60 µg/m³). Se observa que las concentraciones promedio anual en este periodo han permanecido por debajo del nivel máximo permitido, y las concentraciones más altas se han registrado en la estación Carvajal - Sevillana, seguida de Kennedy y Puente Aranda. En la mayoría de las estaciones se observó un aumento de las concentraciones de NO₂ en el 2021 respecto al año anterior, lo cual puede asociarse al aumento del tráfico vehicular y de actividad cotidiana en la ciudad con relación al 2020. El promedio más alto se registró en Carvajal – Sevillana para 2018 con 50 µg/m³ y el promedio más bajo se observó en Móvil 7ma para 2021 con 11 µg/m³.

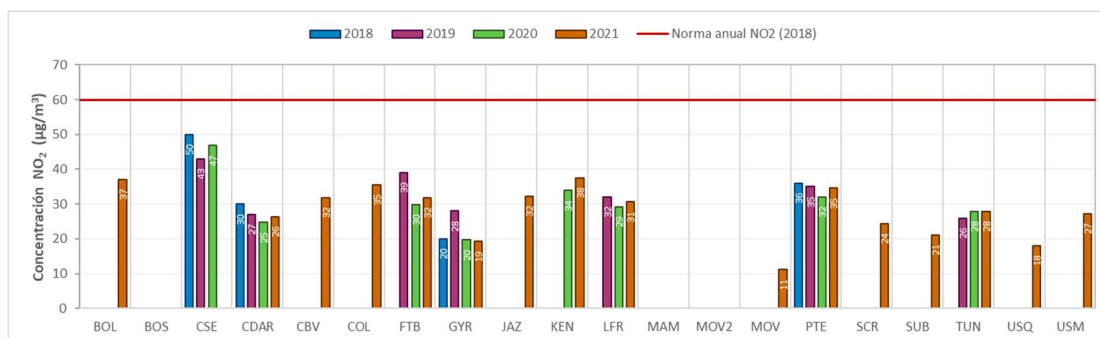


Figura 6-24 Concentraciones promedio anual de NO₂ - años 2018 a 2021

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 (8 µg/m³). 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 2021, concentraciones máximas, datos válidos y excedencias, y la Figura 6-25 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 15,6 µg/m³, seguida de Usme con 8,8 µg/m³. Por otro lado, la estación Usaquén registró el promedio más bajo con 2,1 µg/m³, seguida por Centro de Alto Rendimiento y Suba con 2,6 µg/m³.

Durante el año 2021 se registraron 104 excedencias a la norma horaria (100 µg/m³) y 2 excedencias a la norma diaria (50 µg/m³), todas en la estación Carvajal - Sevillana. Solamente la estación Bosa registró menos del 75% de representatividad temporal, debido a que el analizador registró datos en enero y marzo y después no se obtuvieron datos debido a que el equipo registró varias concentraciones atípicas.

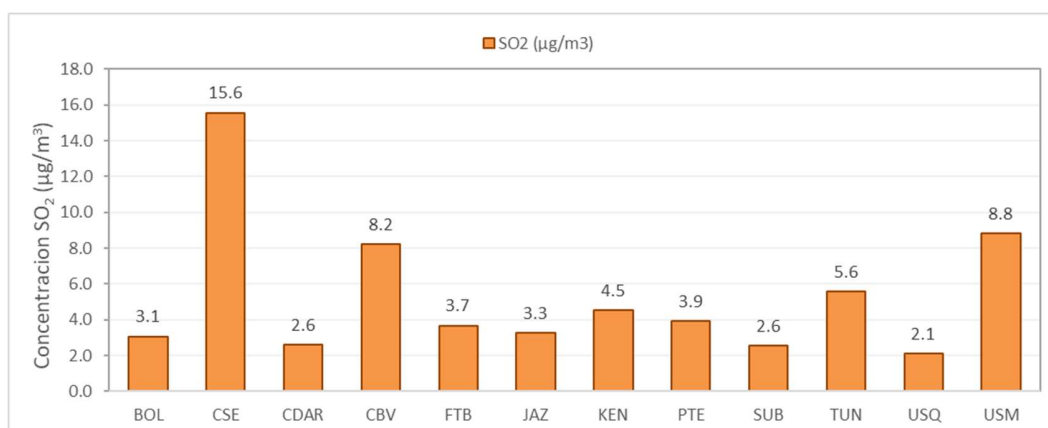


Figura 6-25 Concentraciones promedio anual de SO₂ – Año 2021

Tabla 6-5 Estadísticas de las concentraciones anuales de SO₂ – Año 2021

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	3,1	93%	12,7	0	0
BOS*	3,7	7%	9,2	0	0
CSE	15,6	98%	53,8	2	104
CDAR	2,6	80%	6,6	0	0
CBV	8,2	97%	23,1	0	0
FTB	3,7	89%	12,6	0	0
JAZ	3,3	96%	11,0	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	4,5	93%	12,4	0	0
PTE	3,9	97%	12,4	0	0
SUB	2,6	78%	19,2	0	0
TUN	5,6	100%	14,9	0	0
USQ	2,1	95%	10,1	0	0
USM	8,8	98%	22,2	0	0

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

La Figura 6-26 representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de SO₂ registradas durante el 2021, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. Se observa que las concentraciones más altas se registraron en el suroccidente de la ciudad, en la zona de influencia cercana de la estación Carvajal - Sevillana, con un promedio de 15,6 µg/m³, también se observan concentraciones altas en las localidades de Usme, Tunjuelito y Ciudad Bolívar, con valores entre 8,2 y 8,8 µg/m³. La zona norte de la ciudad registra las menores concentraciones, con valores menores a los 2,6 µg/m³. En la zona de Carvajal – Sevillana es notable la influencia de las fuentes industriales del sector, y de las fuentes móviles que usan diésel como combustible, mientras que el norte de la ciudad no tiene fuentes de emisión notables de este mismo tipo, por lo cual las concentraciones son mucho más bajas.

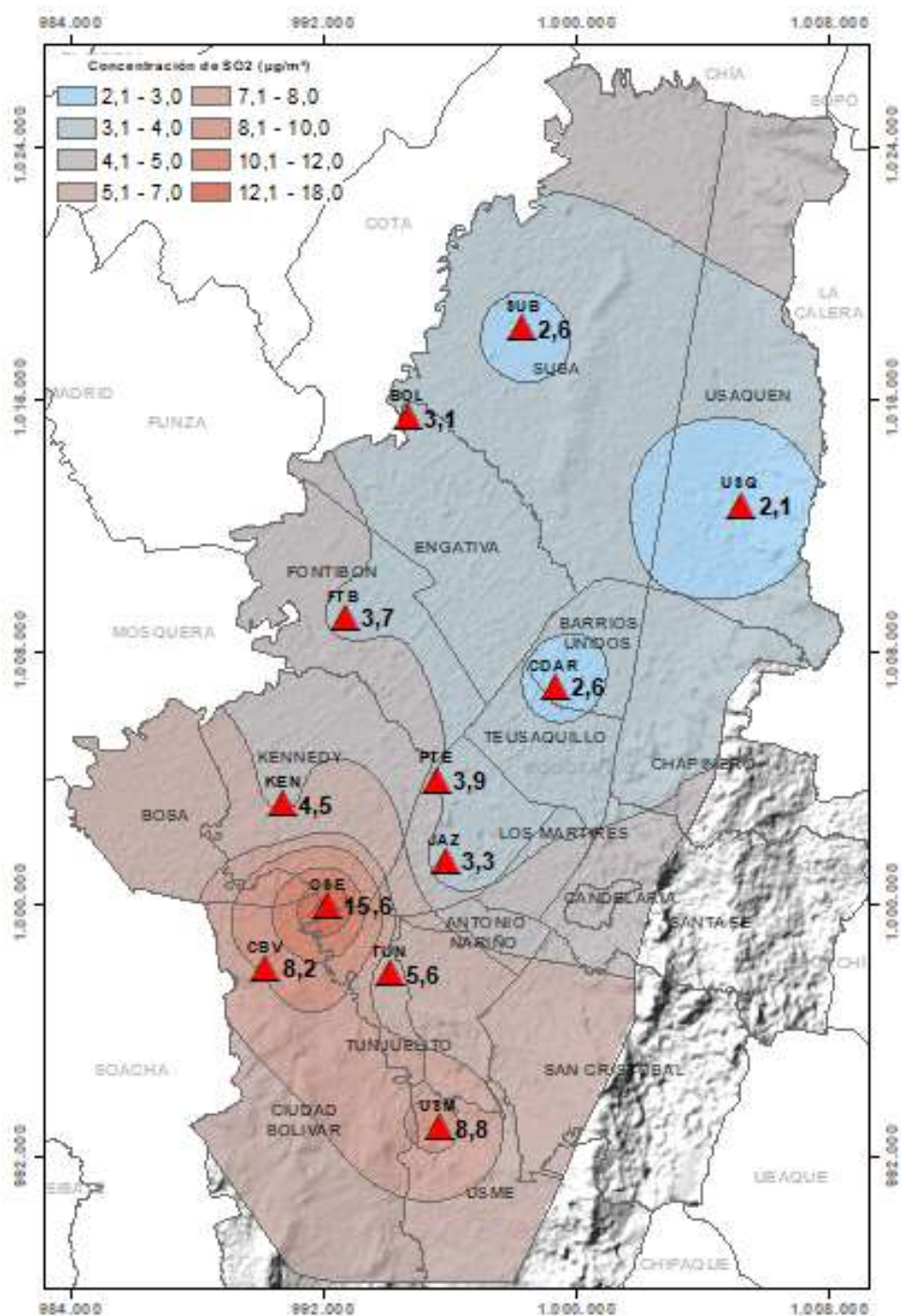


Figura 6-26 Distribución espacial de los promedios anuales de SO₂ del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging

6.5.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO₂ POR ESTACIÓN

En la Figura 6-27 se encuentran representados los promedios mensuales de concentración de SO₂ por estación para el año 2021. Durante el año es notable que las concentraciones son más altas en la estación Carvajal - Sevillana, llegando a registrar hasta 25,5 µg/m³ en el mes de mayo y a partir del mes de julio se redujeron las concentraciones mensuales hasta noviembre, con un ligero aumento en diciembre. En las estaciones del sur de la ciudad se registraron también los promedios más altos en mayo, después se redujeron en junio, aumentaron ligeramente en septiembre y nuevamente disminuyeron en diciembre. En el norte y occidente de la ciudad se registraron los promedios más altos en diciembre.

En la Figura 6-28 se observa el comportamiento del SO₂ durante la semana en 2021. En las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Usaquén no se registraron variaciones a lo largo de la semana, en el suroccidente las concentraciones más altas se registran los jueves y sábados, en el sur hay una leve tendencia a la reducción de las concentraciones con el paso de los días, con un incremento en los jueves para Ciudad Bolívar, en Fontibón se observa el aumento los miércoles, mientras que Bolivia tuvo altas concentraciones los domingos y lunes.

El comportamiento del SO₂ en un día promedio se representa en la Figura 6-29. Se observa que, en la mayoría de las estaciones, las concentraciones son estables en las primeras horas del día y se empiezan a incrementar desde las 6 a.m. (8 a.m. en la zona suroccidente) y después descienden gradualmente hasta las 10 a.m., cuando se estabilizan por el resto del día. En Carvajal - Sevillana después del pico de la mañana hay un incremento con variaciones a lo largo del día, hasta registrar las concentraciones más altas hacia las 11 p.m., lo cual puede ser causado por el tránsito de vehículos pesados que se encargan de la distribución de mercancía en las primeras horas del día. En Ciudad Bolívar también se observa una tendencia al aumento de las concentraciones durante la tarde y noche, registrando a medianoche el mismo valor que en el pico de la mañana.

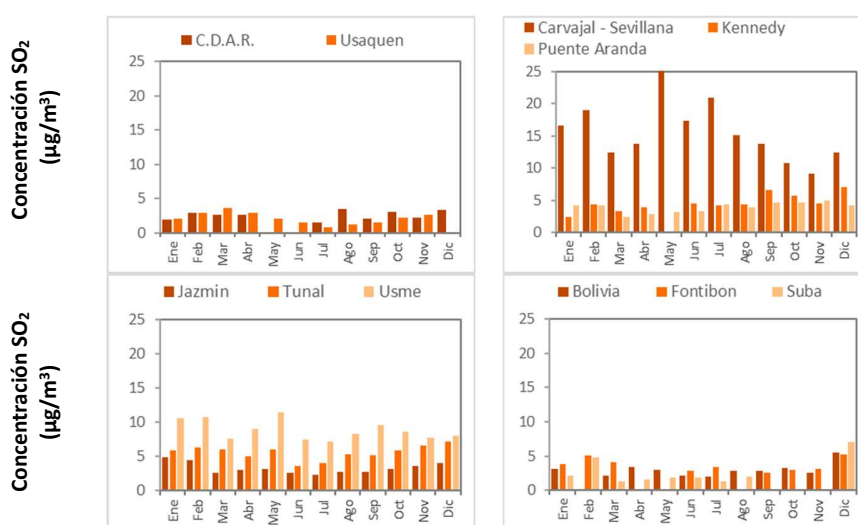


Figura 6-27 Concentraciones mensuales de SO₂ por estación – Año 2021



Figura 6-28 Comportamiento diario de las concentraciones de SO₂ – Año 2021

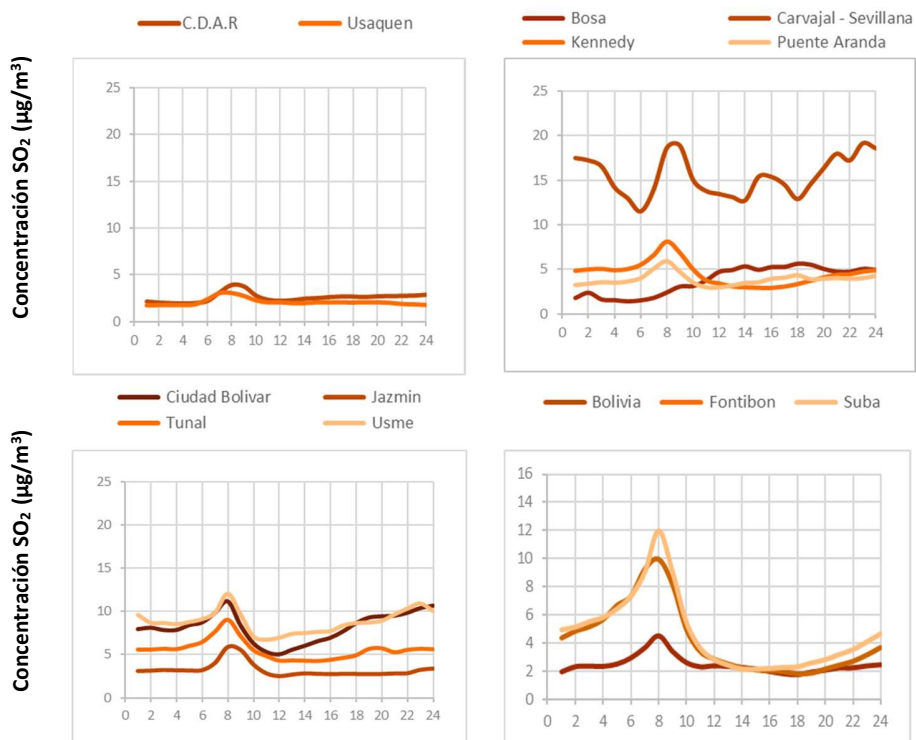


Figura 6-29 Comportamiento horario de las concentraciones de SO₂ – Año 2021

6.5.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL SO₂ POR ESTACIÓN

La Figura 6-30 representa las concentraciones promedio anual de SO₂ para los años 2018 a 2021. Se observa que la estación Carvajal - Sevillana ha registrado los promedios anuales más altos en la ciudad, siendo el promedio más alto 15,6 µg/m³ en Carvajal - Sevillana, para los años 2019 y 2021. También destacan los promedios registrados en 2021 en Ciudad Bolívar y Usme, que fueron más altos que los registrados por las demás estaciones en los últimos cuatro años. Los promedios más bajos se han observado en Usaquén, siendo el valor más bajo al correspondiente a 2020 con 1,7 µg/m³. Se evidencia que las concentraciones altas de SO₂ son una problemática generalizada en el sur de la ciudad, cuyo aporte más notable es el uso de vehículos diésel. Además, en las estaciones Puente Aranda y Tunal se observa una ligera tendencia al aumento de las concentraciones con el paso de los años.

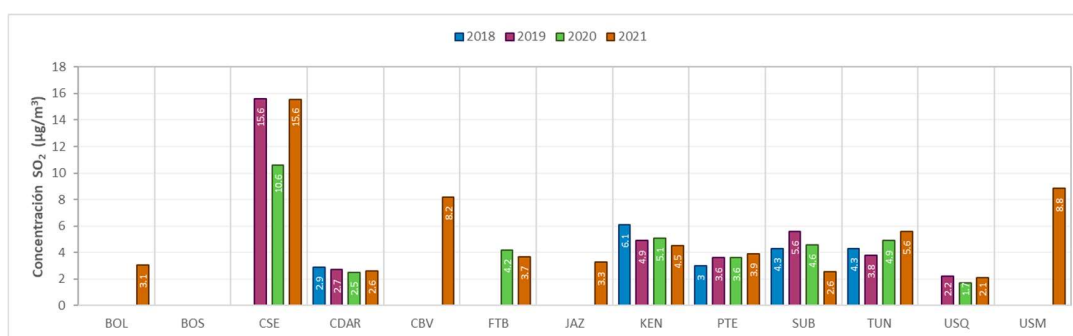


Figura 6-30 Concentraciones anuales de SO₂ años 2018 a 2021

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 2021, incluyendo los porcentajes de datos válidos, concentraciones máximas y excedencias respecto a la norma 8 horas y 1 hora. Adicionalmente en la Figura 6-31 se representan los promedios anuales de concentración de CO por estación que registraron más del 75% de datos válidos en el año 2021.

La estación Carvajal - Sevillana localizada en la zona suroccidente, registró el promedio más alto de CO para el 2021 con 2138,0 µg/m³ seguido de 1131,8 µg/m³ en Puente Aranda al occidente de la ciudad, mientras que el valor más bajo se observó en la estación Colina con 484,0 µg/m³. En relación

con la norma 8 horas, se registraron 14 excedencias en Carvajal - Sevillana y 32 excedencias en Puente Aranda.

Las estaciones Bosa, Guaymaral, Móvil 7ma y San Cristóbal tuvieron menos del 75% de representatividad temporal en los promedios anuales, Bosa se debió a la suspensión del monitoreo de todos los parámetros en agosto de 2021 por actos de vandalismo, en Guaymaral y San Cristóbal los analizadores entraron en funcionamiento en junio, y en Móvil 7ma entró en funcionamiento en octubre.

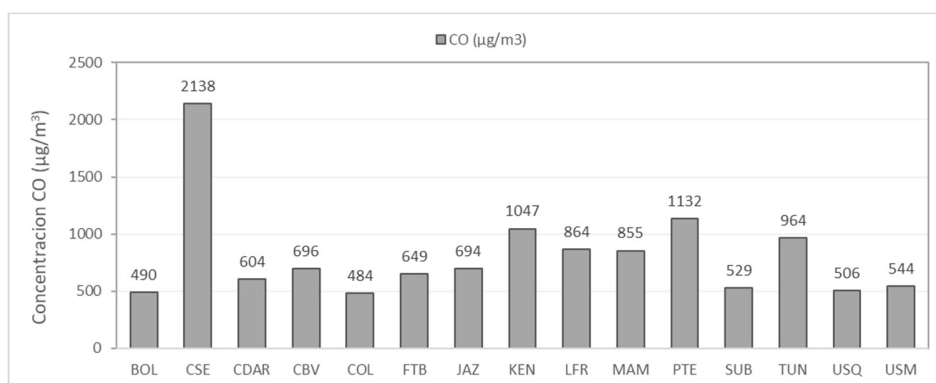


Figura 6-31 Concentraciones promedio anual de CO – Año 2021

Tabla 6-6 Estadísticas de las concentraciones anuales de CO – Año 2021

Estación	Prom. anual CO (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m³)	No. Exced. 8h	No. Exced. 1h
Norma media móvil 8 horas: 5000 µg/m³ Norma horaria: 35000 µg/m³					
BOL	489,9	99%	1982,6	0	0
BOS*	545,2	58%	2202,5	0	0
CSE	2138,0	92%	6768,3	14	0
CDAR	604,4	99%	3159,9	0	0
CBV	695,6	98%	3555,0	0	0
COL	484,0	81%	1644,6	0	0
FTB	648,7	92%	1893,8	0	0
GYR*	287,4	56%	1417,1	0	0
JAZ	694,5	99%	3423,8	0	0
KEN	1047,0	83%	4191,2	0	0

Estación	Prom. anual CO (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m³)	No. Exced. 8h	No. Exced. 1h
Norma media móvil 8 horas: 5000 µg/m³ Norma horaria: 35000 µg/m³					
LFR	863,7	87%	2791,2	0	0
MAM	854,8	94%	2241,5	0	0
MOV*	1715,4	19%	3671,3	0	0
PTE	1131,8	96%	6038,9	32	0
SCR*	568,0	57%	1682,0	0	0
SUB	529,1	94%	1876,5	0	0
TUN	963,8	99%	3060,2	0	0
USQ	506,3	99%	1877,3	0	0
USM	543,8	97%	1777,0	0	0

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

En la Figura 6-32 se representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de CO por estación para el año 2021, esta se elaboró 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 zona de influencia de la estación Carvajal – Sevillana, también se observan altas concentraciones en las localidades de Kennedy, Puente Aranda y Tunjuelito. Las menores concentraciones se registraron al norte de la ciudad, en las localidades de Suba y Usaquén. El comportamiento de este contaminante es similar al del material particulado, con los mayores registros en Carvajal - Sevillana asociados a procesos de combustión en fuentes fijas y móviles en la zona.

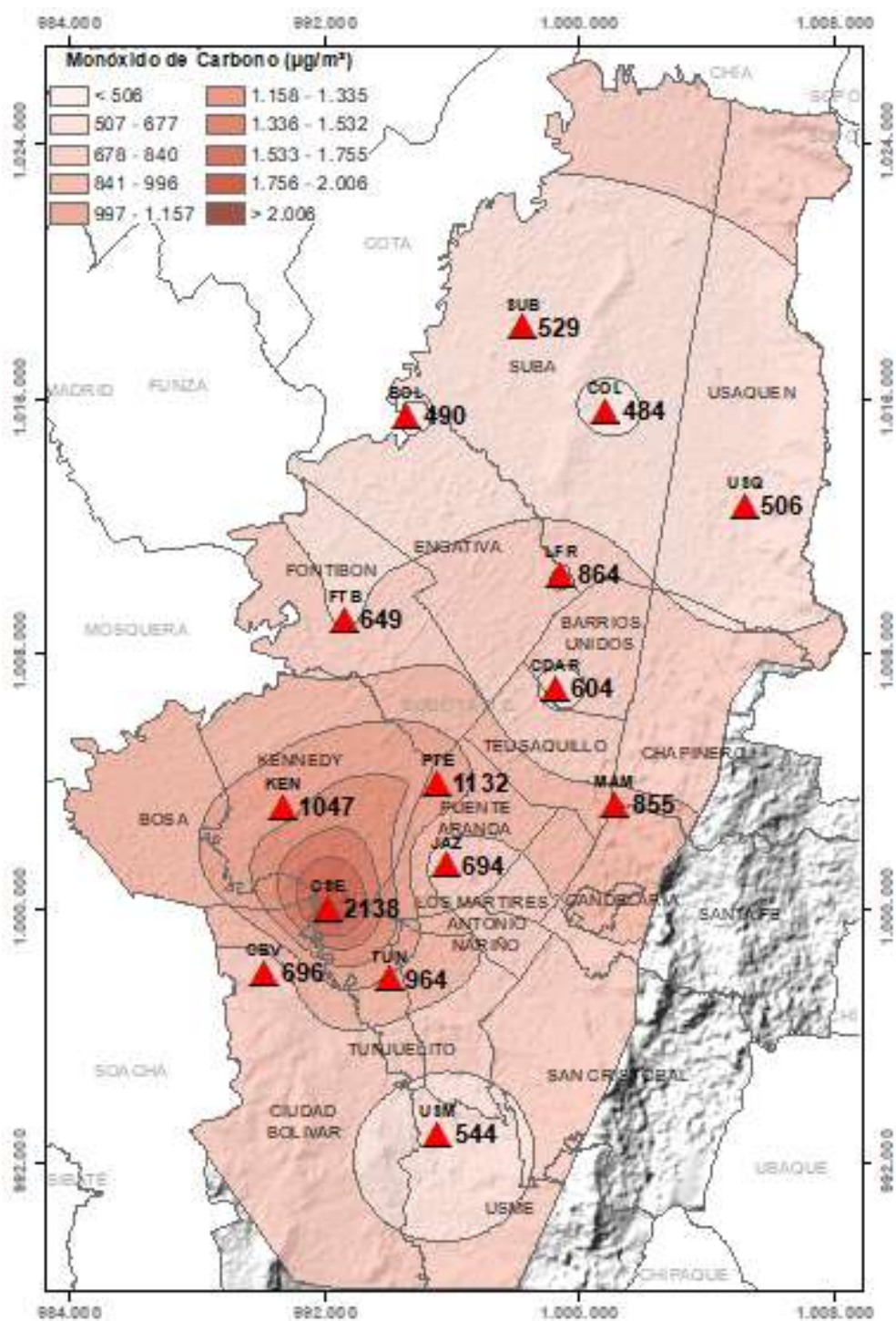


Figura 6-32 Distribución espacial de los promedios anuales de CO del año 2021 con base en el método de interpolación Kriging

6.6.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CO POR ESTACIÓN

La Figura 6-33 muestra la representación de los promedios mensuales por estación de concentración de CO en el año 2021. Se evidencia que en las estaciones del occidente y norte de la ciudad no hubo gran variación en el comportamiento del contaminante, dado que las concentraciones no superan los 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el año, sin embargo, en Guaymaral se evidenció un aumento notable en noviembre con respecto al mes anterior. En las demás estaciones se observó un comportamiento creciente entre enero y marzo, seguido de una disminución de las concentraciones hacia mayo y junio y en los siguientes meses un aumento creciente hasta noviembre y diciembre, meses que también registraron las concentraciones más altas. Para el caso de este contaminante se observó que las concentraciones fueron más altas en el primer trimestre del año, posiblemente por la influencia de los incendios forestales en la Orinoquía y Venezuela, cuyo aporte es predominante en la contaminación registrada en la ciudad.

El comportamiento de las concentraciones de CO para una semana promedio se encuentra representado en la Figura 6-34. Se observa que, en la zona occidental y norte, que registra bajas concentraciones de CO, no hay mayores variaciones del contaminante durante la semana. En las demás estaciones hay un aumento gradual de las concentraciones hasta el jueves y se incrementan hasta viernes o sábado, con una reducción en el domingo. Las estaciones Móvil 7ma y Usaquén tienen el comportamiento más variable entre los días de mayor y menor concentración.

En cuanto al comportamiento del CO en un día promedio del 2021 (Figura 6-35), en la mayoría de las estaciones se observan dos picos de concentración, entre las 7 a.m. y 8 a.m. y entre 8 p.m. y 9 p.m., los registros más bajos se observan a las 2 p.m. En la zona suroccidente los picos de concentración en la mañana son los más altos en la ciudad, llegando a registrar hasta 3300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Carvajal - Sevillana. Los picos de concentración están asociados a las horas pico de tráfico de la ciudad, aunque también están influenciados por las inversiones térmicas en las mañanas y por el transporte de contaminantes desde regiones cercanas.

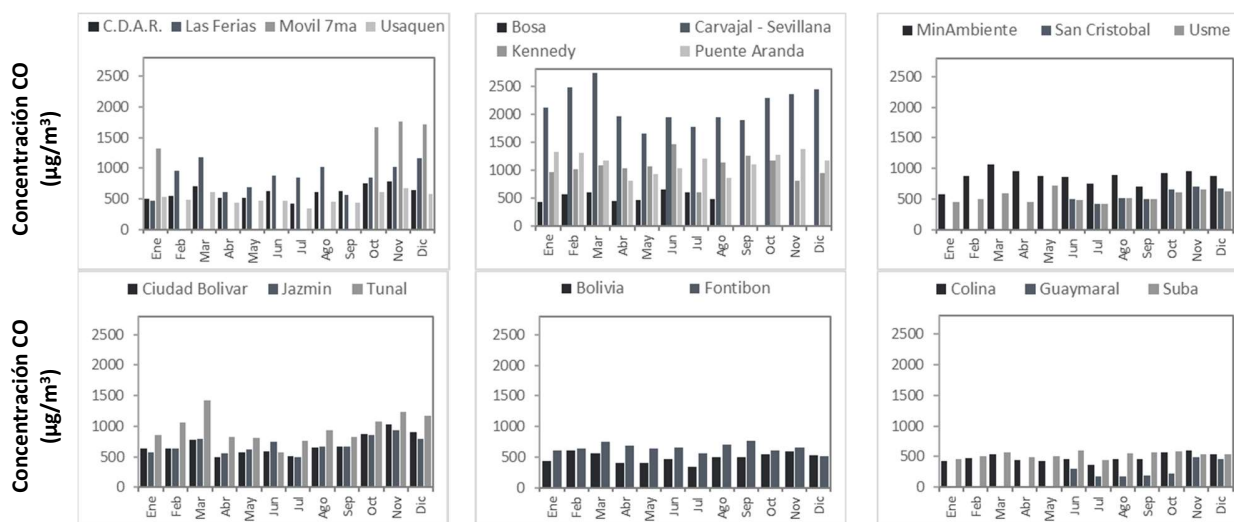


Figura 6-33 Concentraciones mensuales de CO por estación – Año 2021

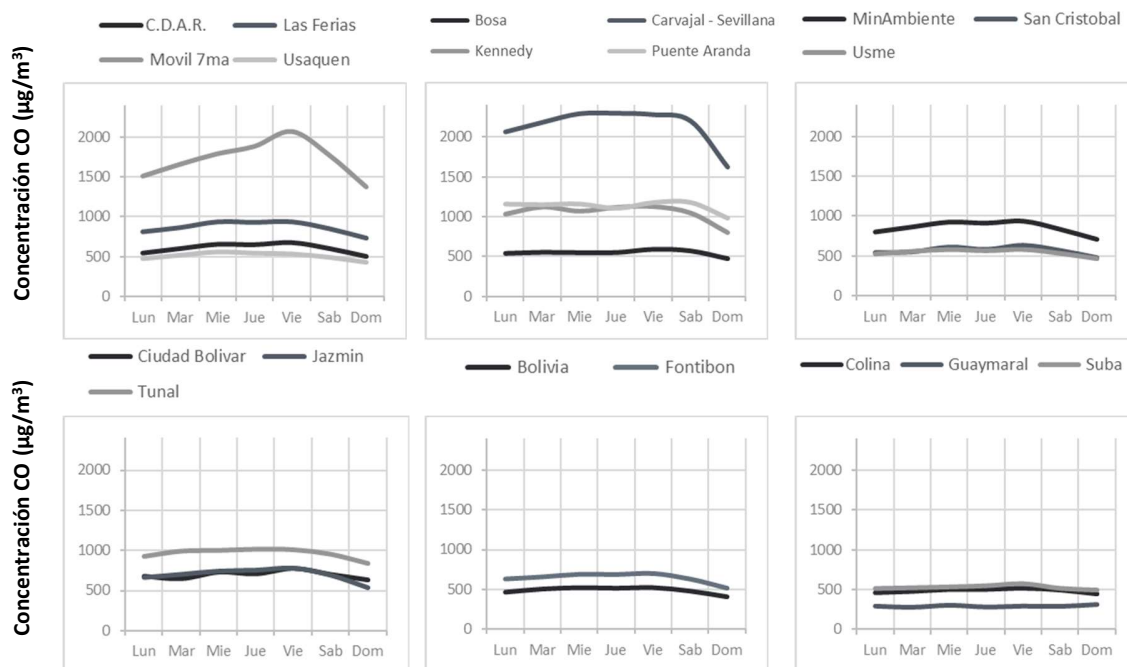


Figura 6-34 Comportamiento diario de las concentraciones de CO – Año 2021

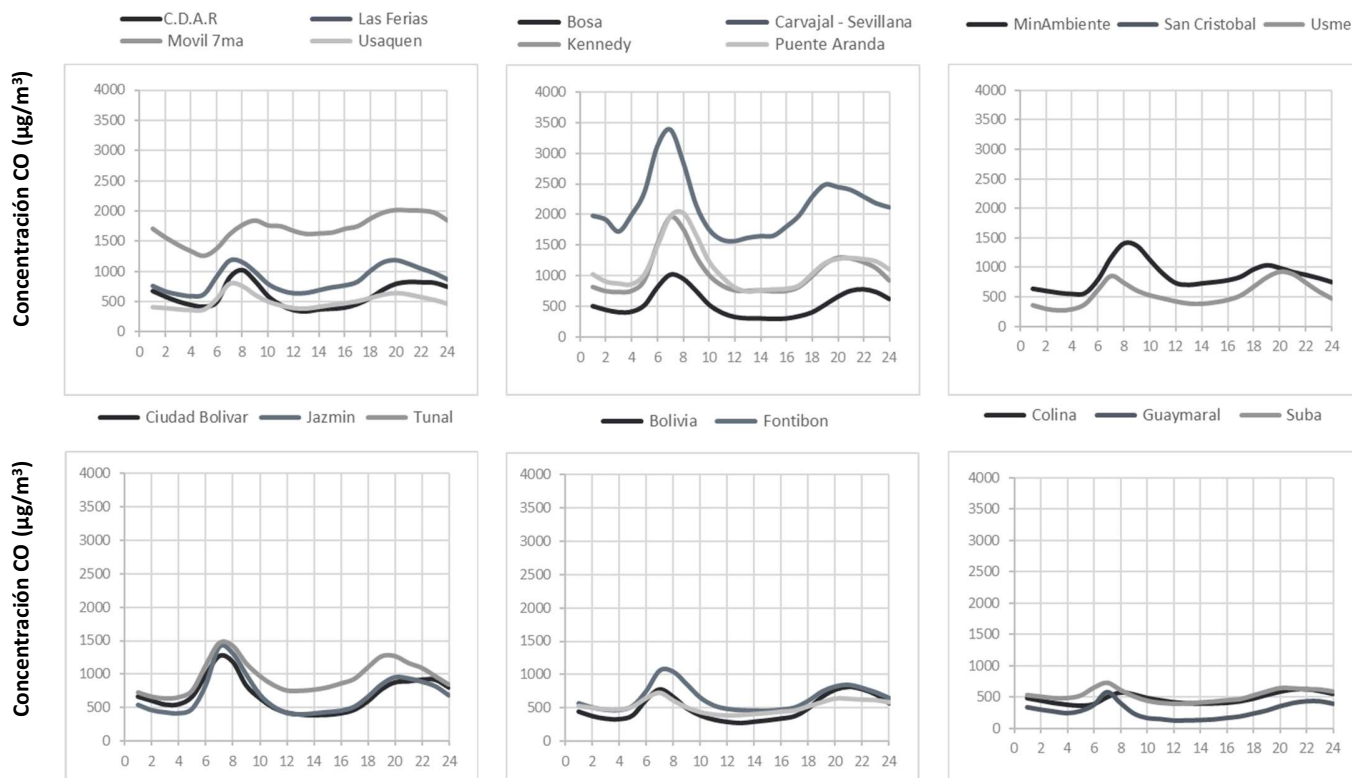


Figura 6-35 Comportamiento horario de las concentraciones de CO – Año 2021

6.6.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL CO POR ESTACIÓN

La Figura 6-36 representa las concentraciones promedio anual de CO para los años 2018 a 2021. Se observa que la estación Carvajal - Sevillana registró los promedios más altos de concentración en los últimos cuatro años, aunque la estación Móvil 7ma registró el valor más alto en 2019. En Carvajal – Sevillana, Fontibón, Kennedy, Las Ferias, Puente Aranda y Tunal se registraron concentraciones más altas en 2021 respecto al año anterior, siendo la estación Carvajal – Sevillana la que registró el mayor aumento con relación al 2020 con 950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de diferencia. La reducción en el 2020 estuvo influenciada por las restricciones para reducir el contagio del virus COVID-19, que fueron más estrictas en el segundo y tercer trimestre del año.

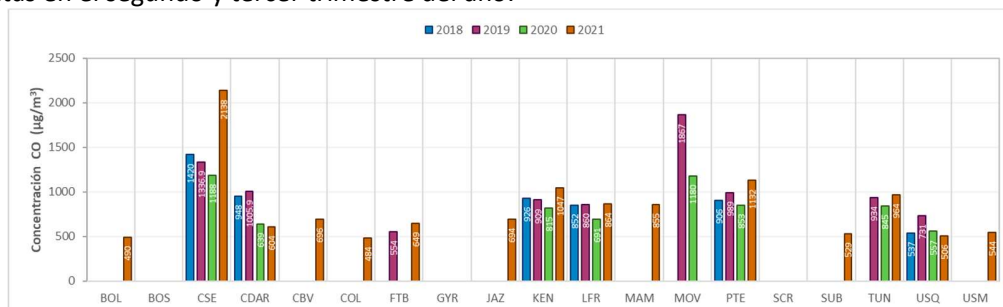


Figura 6-36 Concentraciones anuales de CO años 2018 a 2021

7. COMPORTAMIENTO DEL BLACK CARBON

El Black Carbón (BC) es uno de los componentes claves del material particulado que contribuye al cambio climático y el deterioro de la calidad del aire. Parte de la fracción carbonácea del material particulado es el BC, el cual se caracteriza por una fuerte absorción de luz en el rango de longitud del espectro visible (380 – 780 nm) y por resistencia a su transformación química en la atmósfera, lo que permite asociarlo como un trazador de emisiones de combustión de fuentes fósiles y quema de biomasa. Estas dos características destacan el BC como uno de los contaminantes de vida corta con mayor impacto en el clima, la calidad del aire y la salud de la población (GAW Report & Petzold et al, 2013, 2016).

El Black Carbon también es importante en su determinación debido a que este contaminante tiene más probabilidades de causar efectos en la salud, por lo tanto, la identificación de las fuentes se basa en las diferentes propiedades ópticas de los aerosoles carbonosos. También es relevante distinguir la contribución de los combustibles fósiles (ff) y la quema de biomasa (bb), lo cual es posible mediante una determinación de longitud de onda múltiple del coeficiente de absorción a través del uso de un aetalometro. (María Piñeiro-Iglesias, J. A.-G.-G.-L.-M.-R., 2021).

Este equipo es una herramienta importante para la distribución de fuentes de aerosoles carbonosos, por ello cuando se utilizan métodos de absorción óptica para la medición de BC, se debe utilizar el término “Black Carbon equivalente” (eBC), que corresponde a la longitud de onda de 880 nm, por lo que a continuación se realiza un análisis de los datos del contaminante usando esta definición.

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

En la Figura 7-1 y Tabla 7-1 se presenta el resumen estadístico de las concentraciones de eBC medidas en las longitudes de 880 nm para todas las estaciones en las cuales se registraron datos durante el año 2021. Las estaciones CDAR, Fontibón, Kennedy, Las Ferias, Min Ambiente, San Cristóbal y Tunal registraron más de 75% de las concentraciones horarias para 2021, mientras que la estación Carvajal – Sevillana reportó el 40,1%, por lo tanto, los datos reportados para esta estación son de carácter indicativo para el periodo de 2021.

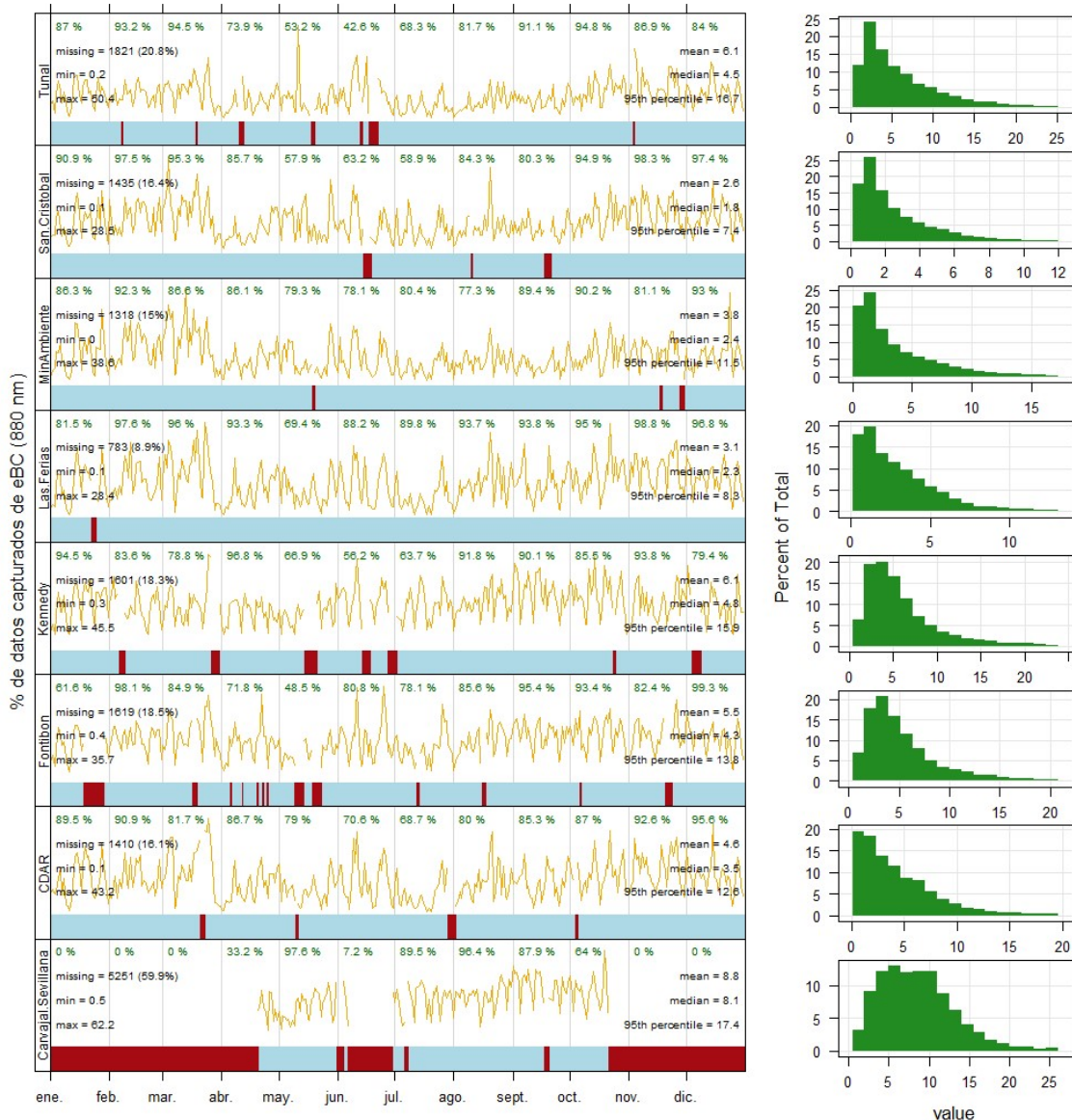


Figura 7-1 Representatividad temporal de las mediciones de concentraciones de eBC - Año 2021

La operación del aetalometro instalado en la estación Carvajal – Sevillana, presentó problemas operativos en los meses de enero, febrero, marzo, junio, noviembre y diciembre, impidiendo alcanzar el porcentaje mínimo de datos para ser representativo en el año 2021. En las otras estaciones se alcanzó a reportar más del 75% de las concentraciones horarias de eBC la mayoría de los meses. En la estación CDAR, solo el mes de julio reportó un porcentaje inferior, Fontibón reportó más del 75% de la concentración horaria de eBC durante todos los meses del año.

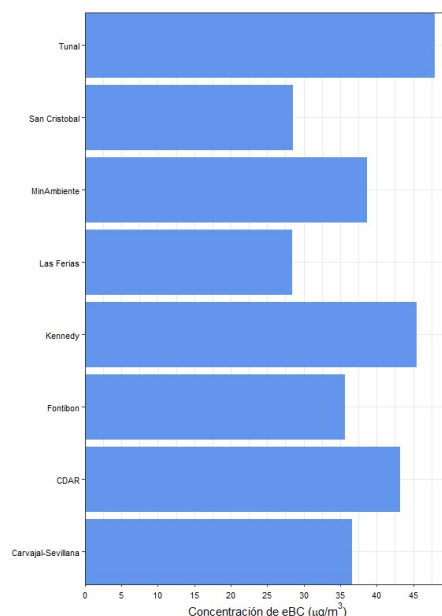
La estación Kennedy reportó un porcentaje inferior entre mayo y julio, Las Ferias reportó un porcentaje inferior solo en el mes de mayo. La estación MinAmbiente reportó satisfactoriamente más del 75% durante todos los meses del año. Las estaciones San Cristóbal y Tunal reportaron un porcentaje inferior al 75% entre mayo y julio.

En la Tabla 7-1 se presenta el promedio anual, máximo y mínimo de las concentraciones diarias (24h) de eBC. Las estaciones Carvajal - Sevillana, Tunal, Kennedy y Fontibón reportaron las mayores concentraciones de eBC en toda la ciudad, con valores de 8,8, 6,1, 6,1 y 5,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, mientras que en las estaciones San Cristóbal y Las Ferias se reportaron las concentraciones más bajas, con valores de 3,1 y 2,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. La máxima concentración diaria se observó en la estación Tunal con un valor de 22,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las estaciones Las Ferias y San Cristóbal reportaron las máximas concentraciones diarias con valores de 6,4 y 7,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que otras estaciones reportaron una concentración máxima que entre 11,5 y 15,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones diarias más bajas reportadas en cada estación no superan el valor de 1 mg/m^3 , excepto en la estación Carvajal - Sevillana donde se observó como valor mínimo una concentración de 2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 7-1 Resumen estadístico de las concentraciones de diarias de eBC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Año 2021.

Estación	Promedio \pm sd	Mediana	Mín.	Max.	Datos capturados (%)
Carvajal – Sevillana*	8,2 \pm 2,7	8,6	2,4	15,6	40,1
CDAR	3,8 \pm 2,3	3,5	0,3	12,4	83,9
Fontibón	4,5 \pm 1,8	4,3	1,2	11,5	81,5
Kennedy	5,0 \pm 1,9	4,9	1,3	12,2	81,7
Las Ferias	2,6 \pm 1,5	2,4	0,3	6,4	91,1
Min Ambiente	3,0 \pm 2,1	2,2	0,4	12,4	85,0
San Cristóbal	2,1 \pm 1,2	1,6	0,4	7,7	83,6
Tunal	5,1 \pm 3,0	4,2	0,9	22,9	79,2

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



Considerando las concentraciones de $PM_{2.5}$ y eBC de todas las estaciones que monitorean estos contaminantes en la ciudad de Bogotá, se reporta que las mayores concentraciones de $PM_{2.5}$ en 2021 se presentaron el 6 de marzo y el 22 de octubre, con valores promedio de 36 y $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente para cada día. Mientras que la máxima concentración de eBC en la ciudad se reportó los días 22 de octubre, 4 de marzo y 11 de junio, con concentraciones de 9 , 8 , $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, como se muestra en la Figura 7-2.

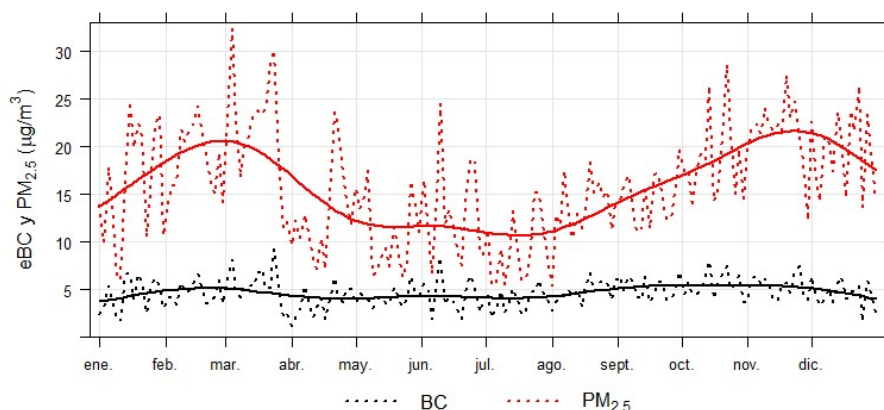


Figura 7-2 Gráfico de representatividad temporal de las mediciones de concentraciones de eBC – Año 2021

En la Figura 7-3 se presenta la variabilidad temporal de las concentraciones de eBC reportadas en 2021 con una resolución mensual, diaria y horaria. Las concentraciones de eBC mostraron cambios importantes mes a mes durante 2021. Las estaciones Carvajal - Sevillana, Tunal, Kennedy y MinAmbiente muestran los mayores valores promedio en los meses de septiembre y noviembre. Mientras que las estaciones Fontibón, CDAR, Las Ferias y San Cristóbal presentan los mayores valores en marzo, los meses con menores concentraciones de eBC coinciden para todas las estaciones, sucediendo en abril, mayo y julio.

Las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones ubicadas al suroccidente de la ciudad, superando los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Carvajal - Sevillana y $7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Kennedy, durante el mes de septiembre. La estación Fontibón registró la mayor concentración en los meses de marzo y octubre, con un valor promedio de $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las estaciones localizadas en el centro de la ciudad, es decir, Las Ferias y CDAR, reportaron valores máximos de $4,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $6,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, en los meses de marzo y noviembre.

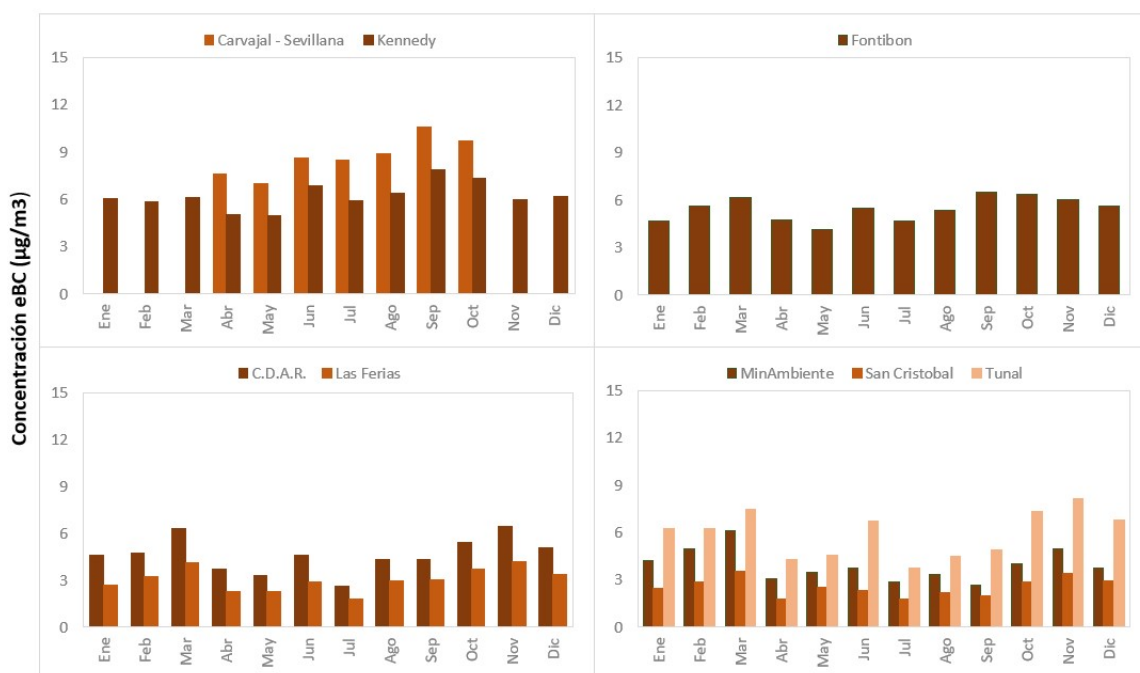


Figura 7-3 Concentraciones mensuales de eBC por estación – Año 2021

Las estaciones localizadas en el suroriente de la ciudad obtuvieron concentraciones máximas de $5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $8,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en MinAmbiente, San Cristóbal y Tunal respectivamente, sin embargo, estos valores promedio se presentaron en marzo para las dos primeras estaciones y en noviembre en la estación Tunal. Las concentraciones horarias más bajas se encuentran en el rango de $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Las Ferias y $6,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Carvajal – Sevillana durante el mes de abril.

Con respecto a la dinámica de las concentraciones de eBC durante la semana, en la Figura 7-4 se observa que los viernes y jueves en las estaciones Carvajal - Sevillana, Fontibón, Kennedy y Tunal se obtuvieron concentraciones promedio de $9,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $6,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Mientras que en CDAR, Las Ferias, MinAmbiente y San Cristóbal las máximas concentraciones se observaron los viernes con concentraciones promedio de $4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Todas las estaciones coinciden con presentar el menor valor los días domingo, con valores que están en el rango entre los $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y los $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

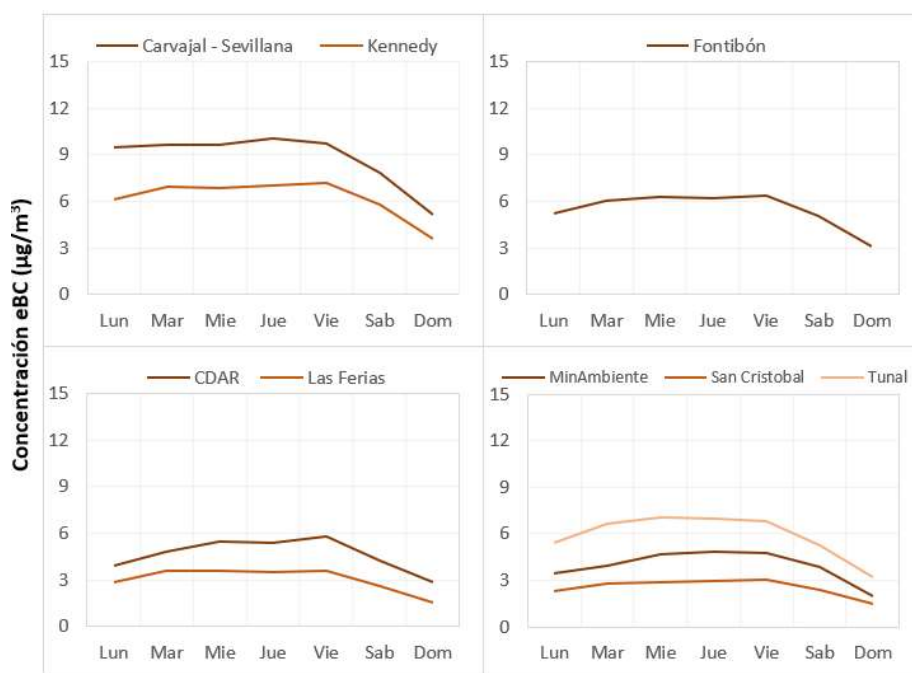


Figura 7-4 Comportamiento diario de las concentraciones de eBC – Año 2021

En la Figura 7-5 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias de eBC, se observa que todas las estaciones tuvieron un comportamiento similar, dado que el periodo horario en donde se presentan un aumento en las concentraciones ocurre entre las 4 y las 7 a.m. Adicionalmente, las estaciones que presentaron el mayor incremento de las concentraciones de Black Carbon fueron Carvajal – Sevillana y Kennedy con $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, la estación San Cristóbal es la que presentó las menores concentraciones con un máximo de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

De igual forma, las concentraciones de Black Carbon presentaron un incremento en sus concentraciones en el periodo horario de las 6 a 8 p.m., especialmente en las zonas suroccidente y noroccidente, en donde las estaciones presentan un incremento que no supera los $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

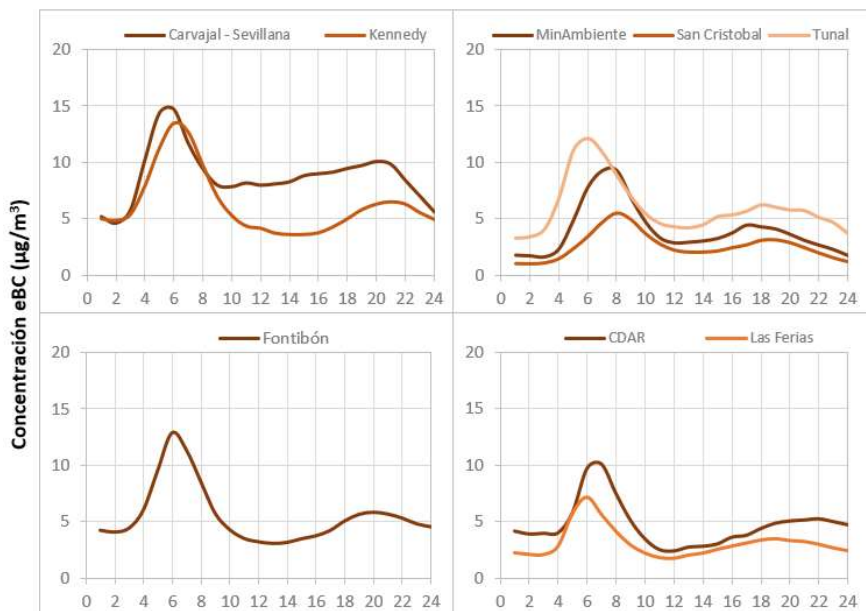


Figura 7-5 Comportamiento horario de las concentraciones de eBC – Año 2021

En la Figura 7-6 se representan los promedios anuales de eBC para los años 2018 a 2021. Se observa que las concentraciones del año 2021 en general fueron similares o un poco mayor a las del año anterior. Por otro lado, durante este periodo de tiempo se evidencia que hubo una reducción considerable en las concentraciones de eBC, especialmente en las estaciones Carvajal – Sevillana, Las Ferias y San Cristóbal. Las restricciones en las actividades de la ciudad y la circulación de vehículos incidieron en la reducción generalizada de las concentraciones de eBC, 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.

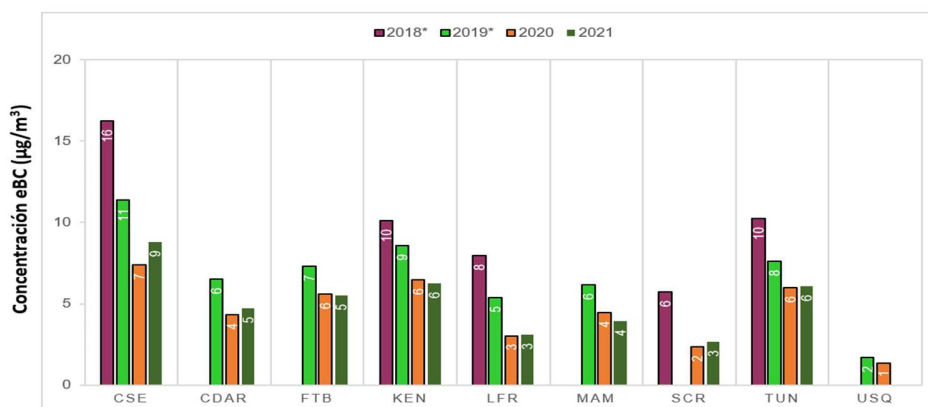


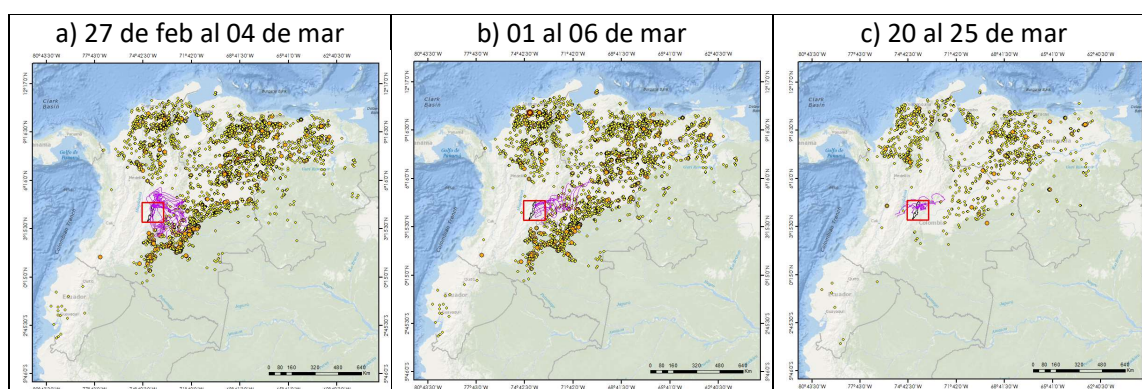
Figura 7-6 Concentraciones promedio anuales de Black Carbon años 2018 a 2021. (*) datos anuales incompletos

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), la 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. En consecuencia, se seleccionó un dominio en el Norte de Suramérica (NSA) para el análisis de incendios activos.

En la Figura 7-7 se puede observar la distribución espacial de incendios activos que se presentaron durante el año 2021 en periodos de tiempo donde se registraron altas concentraciones de BC. Durante el primer trimestre del año (figuras a, b, c y d) se evidencia una alta presencia de incendios en las regiones Caribe, Andina y Orinoquia que las direcciones de los vientos presentadas en sentido oriente - occidente desde Venezuela hasta la ciudad de Bogotá, influyeron directamente en los aumentos de las concentraciones del contaminante.

Por el contrario, durante el segundo y tercer trimestre del año, los incendios disminuyeron y las trayectorias de vientos no muestran direcciones que pudieran haber transportado partículas desde zonas donde estos se presentaron (figuras e y f), infiriendo que el aumento de concentraciones se dio debido a otro tipo de fuente. Durante el tercer trimestre del año nuevamente se registraron altas concentraciones del contaminante, sin embargo, la presencia de incendios es menor respecto al primer trimestre del año (Figura 7-7) y las trayectorias de vientos provienen de diferentes direcciones según el periodo observado (figuras g, h y i); no obstante, los aumentos de BC registrados el 14 y 22 de octubre pudieron presentarse debido al transporte de la quema de biomasa.



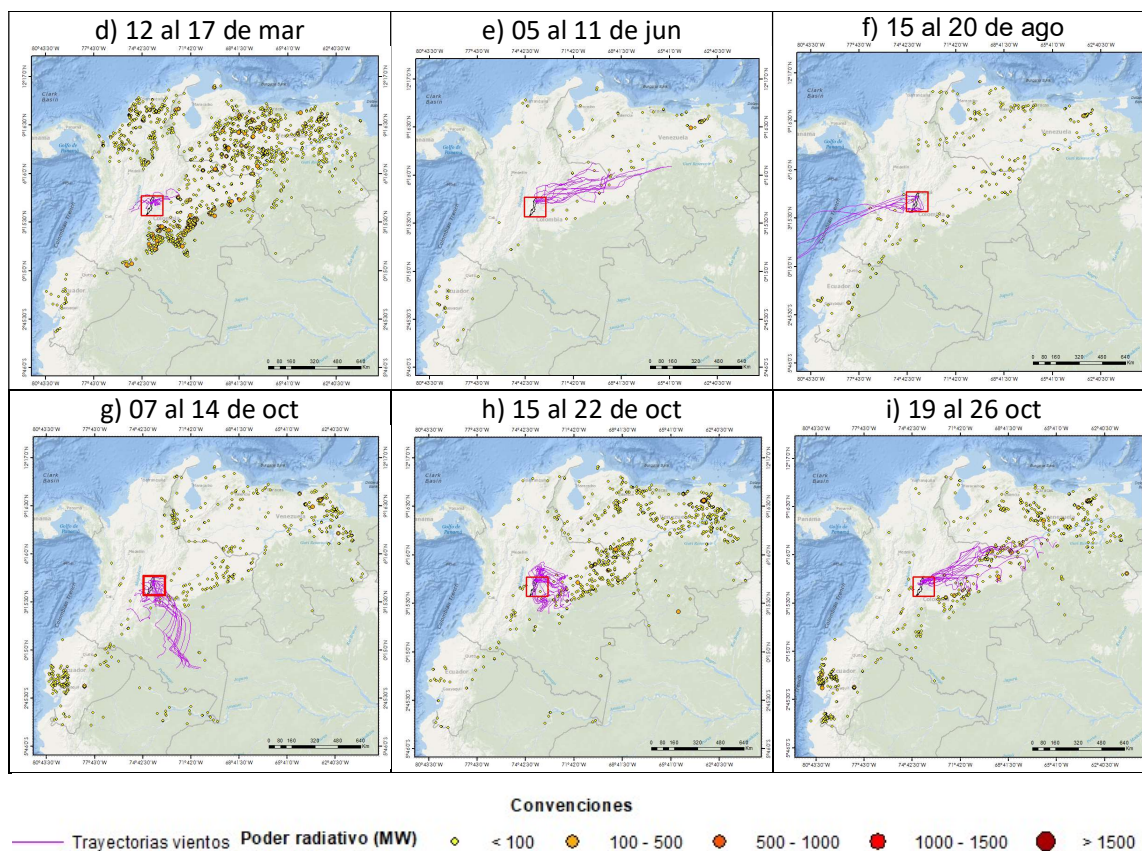


Figura 7-7 Distribución espacial de incendios activos identificados por el sensor MODIS durante el año 2021

La Figura 7-8 muestra la cantidad de incendios activos en el Norte de Suramérica según la clasificación de la potencia del incendio propuesta por (Ichoku, 2008), el 94% 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 5% se clasifica en una categoría 2, que corresponden a incendios con FRP entre 100MW y 500MW, el 0.08% en la categoría 3, equivalente a incendios con FRP entre 500MW y 1000MW, el 0.008% en la categoría 4, incendios con FRP entre 1000MW y 1500MW y los restantes en una categoría 5, superiores a 1500MW.

Adicionalmente, se observa que, durante el primer trimestre del año, concretamente durante los meses de febrero y marzo, se registró una mayor cantidad de incendios respecto a los demás meses del año, lo cual, corresponde con los aumentos en las concentraciones de BC proveniente de biomasa registrada durante ese periodo.

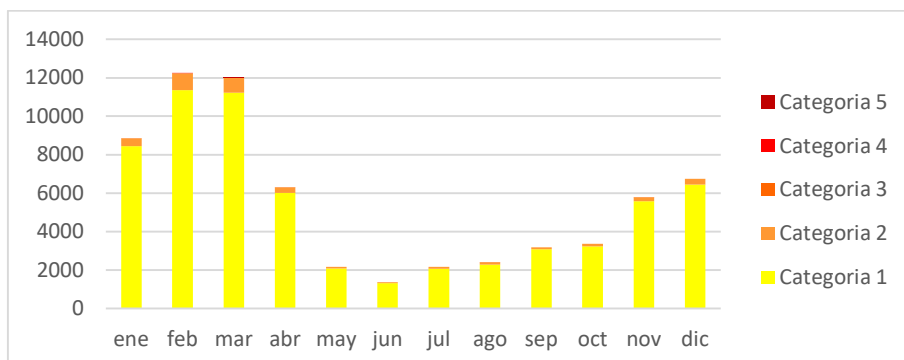


Figura 7-8 Número de eventos o puntos calientes identificados por el sensor MODIS durante el año 2021

La Figura 7-9 muestra el comportamiento mensual durante 2021, del porcentaje por quema de biomasa BC (bb) comparados con el porcentaje de Black Carbon por combustibles fósiles BC (ff). Se puede apreciar que el mayor porcentaje de Black Carbon que se encuentra en la atmosfera es proveniente de la quema de combustibles fósiles emitido por las fuentes fijas y móviles de la ciudad. Por otro lado, el porcentaje de quema de biomasa en la estación San Cristóbal registró un aumento durante los meses de enero, marzo, abril, mayo, junio y julio que se encuentra entre el 10 y 20%.

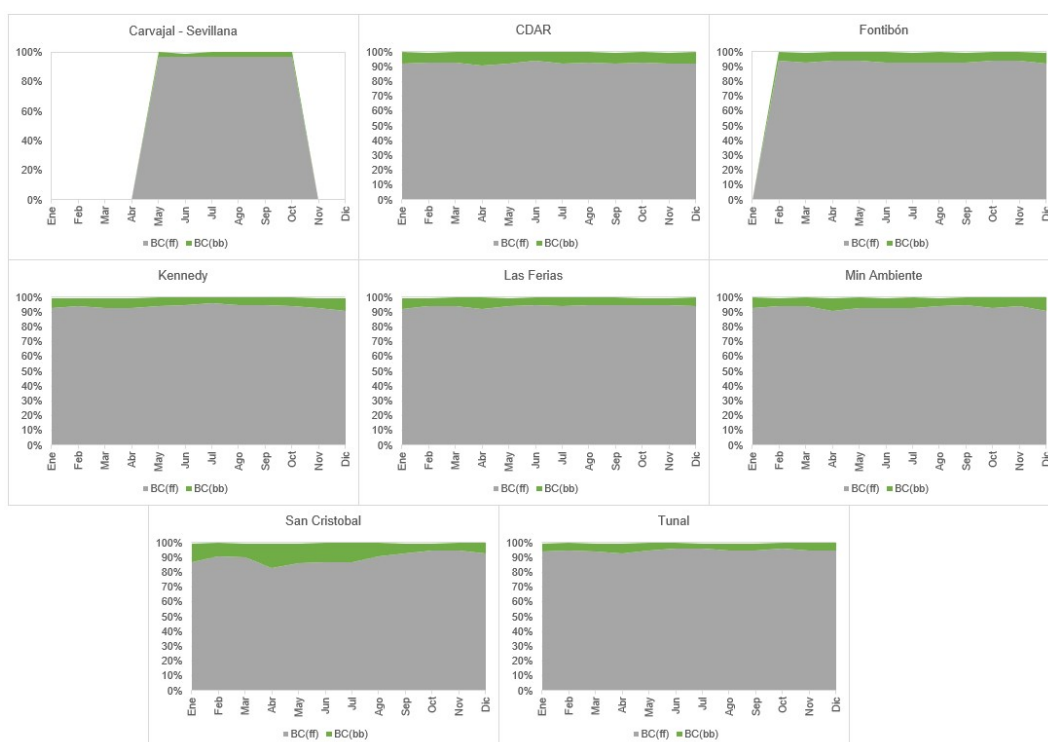


Figura 7-9 Concentraciones mensuales de porcentaje de Black Carbon por quema de combustibles fósiles BC(ff) vs. Quema de biomasa BC(bb) por estación – Año 2021

8. INDICE 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 cualitativamente por medio de un valor adimensional, para dar a conocer la condición de la calidad del aire a la ciudadanía de una forma más eficiente, y así poder establecer y ejecutar las acciones de acuerdo con las condiciones registradas a corto plazo.

8.1. ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE - IBOCA

El índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud (IBOCA), adoptado mediante la Resolución Conjunta 868 de 2021 de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Secretaría Distrital de Salud, es un indicador multipropósito adimensional, que oscila entre 0 y 500, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos criterio (PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , NO_2 , CO y SO_2) que se registran en las estaciones de la RMCAB. Este índice permite comunicar 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. Además, el IBOCA es la base para la determinación de las medidas que se establecen en eventos de contaminación del aire, con lo cual se definen los roles y actividades correspondientes a las instituciones involucradas en la ciudad ante la declaración de eventos de alerta y emergencia.

Esta actualización del IBOCA corresponde a la modificación del índice establecido por la Resolución Conjunta 2410 de 2015, con lo cual se busca principalmente una armonización con los colores y escala definidos en la Resolución 2410 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Adicionalmente se ajustaron los rangos de los estados de calidad del aire y así mismo los niveles de riesgo, para los cuales se establecieron de manera más específica las acciones en cada nivel y los criterios para declaración y finalización de las alertas ambientales.

La Tabla 8-1 muestra los rangos de concentración de contaminantes del aire y los diferentes atributos del IBOCA.

Tabla 8-1 Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 868 de 2021

Atributos del IBOCA				Intervalos de concentración media móvil (µg/m³)					
Intervalo de valores adimensionales	Color	Estado de calidad del aire	Nivel de riesgo	PM ₁₀ (24h)	PM _{2.5} (24h)	CO (8h)	SO ₂ (1h)	NO ₂ (1h)	O ₃ (8h)
0 – 50	Verde	Favorable	Prevención	0 – 54	0 – 12.0	0 – 5094	0 – 92	0 – 100	0 – 106
51 – 100	Amarillo	Moderada	Prevención	55 – 154	12.1 – 35.4	5095 – 10818	93 – 197	101 – 188	107 – 137
101 – 150	Naranja	Regular	Alerta Fase 1	155 – 254	35.5 – 55.4	10819 – 14253	198 – 485	189 – 677	138 – 167
151 – 200	Rojo	Mala	Alerta Fase 1	255 – 354	55.5 – 150.4	14254 – 17688	486 – 796	678 – 1220	168 – 206
201 – 300	Morado	Peligrosa	Emergencia	355 – 424	150.5 – 250.4	17689 – 34861	797 – 1582	1221 – 2349	207 – 392
301 – 500				425 – 604	250.5 – 500.4	34862 – 57703	1583 – 2681	2350 – 3853	-----

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 medida para el contaminante P (en µg/m³)

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

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

C_{mayor}: Concentración mayor o igual a C_p

En la Figura 8-1 se muestra el IBOCA por estación de monitoreo con base en los datos de PM₁₀ y PM_{2.5} registrados durante el año 2021, representando el porcentaje de tiempo en que se registró una determinada condición de calidad del aire durante el año. Se sabe que el PM_{2.5} es el contaminante que registra las condiciones determinantes para el IBOCA, ya que se evidenció la condición “moderada” por mayor tiempo en comparación al PM₁₀, siendo el menor porcentaje el observado en Usaquén (20%) y el más alto en Kennedy (80%).

También se observó la condición “regular” asociada al PM_{2.5} en Carvajal - Sevillana con un 35% durante el año, y porcentajes entre el 3 y 4% en otras estaciones de la zona suroccidente. Por otro lado, la estación Colina registró el mayor porcentaje de datos en la condición “favorable” para PM_{2.5}, con un 79% en el año. En el caso del PM₁₀, predominó la condición “favorable” en la mayoría de las estaciones, registrando el valor más alto en San Cristóbal con 96% del año, mientras que Carvajal - Sevillana registró la condición “regular” por mayor tiempo, con 66% del periodo.

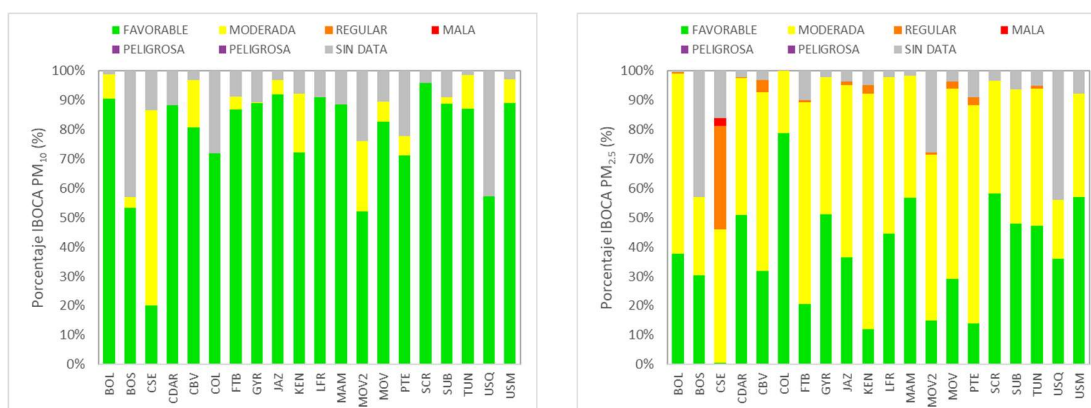


Figura 8-1 IBOCA por estación de monitoreo para PM₁₀ y PM_{2.5} – Año 2021

En la Figura 8-2 y la Figura 8-3 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 2021. Se evidencia que en el caso del PM₁₀ la condición “moderada” fue predominante en enero y diciembre en la mayoría de las estaciones, especialmente las localizadas al sur y suroccidente de la ciudad, aunque la estación Carvajal - Sevillana tuvo la condición “moderada” como predominante en todos los meses del año, con un 92% en noviembre. En las demás estaciones fue predominante la condición “favorable” para el contaminante PM₁₀.

En el caso del PM_{2.5} se observó la predominancia de la condición “moderada” en el primer y cuarto trimestre del año, mientras que la condición “favorable” se observó en mayor proporción en los meses de mayo, junio y julio de 2021. También en varias estaciones se registró la condición “regular” en varios meses del año en Ciudad Bolívar, Fontibón, Jazmín, Kennedy, Móvil Fontibón, Móvil 7ma, Puente Aranda y Tunal, con mayor proporción en el mes de marzo, evidenciando el porcentaje más alto en Puente Aranda con un 19%.

La estación Carvajal - Sevillana muestra un comportamiento diferente al del resto de las estaciones, ya que debido a las altas concentraciones de material particulado la mayor parte del año reportó la condición “moderada” y durante cinco meses registró la condición “regular” en más del 50% del mes. En 2021 se vieron acentuadas las altas concentraciones de material particulado y se evidenció la mayor parte del tiempo los efectos del incremento del tráfico y de las actividades comerciales e industriales al suroccidente de la ciudad.

En la Figura 8-4 se muestra la distribución de las condiciones del IBOCA por estación de monitoreo para los gases contaminantes en el 2021 (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. Se observaron los siguientes casos en que se registraron condiciones diferentes: en el caso del SO₂ se observó un 1 % de los datos del año en condición “moderada” en Carvajal - Sevillana; para el NO₂, en 17 estaciones se registró entre 1 y 36 datos en la condición “moderada”, siendo la estación Carvajal - Sevillana la que tuvo mayor número de datos (36), pero solamente representa el 0.4% de los datos del año.

En relación con las concentraciones de O₃, las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Kennedy y MinAmbiente registraron algunos datos en la condición “moderada”, siendo Kennedy la que tuvo mayor número de registros en dicha condición, que representa el 0.4% de los datos del año.

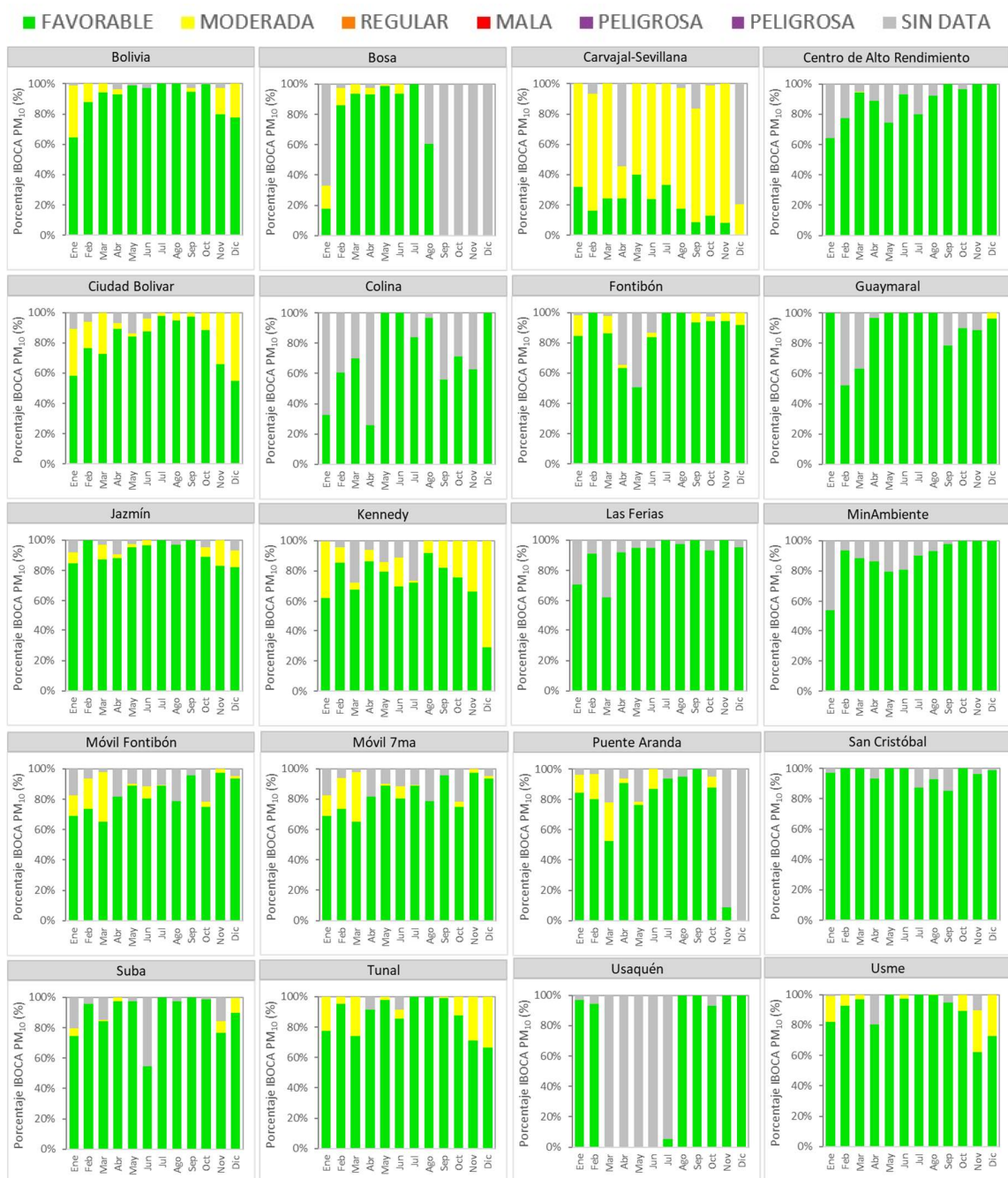


Figura 8-2 IBOCA por mes del año para PM₁₀ – Año 2021

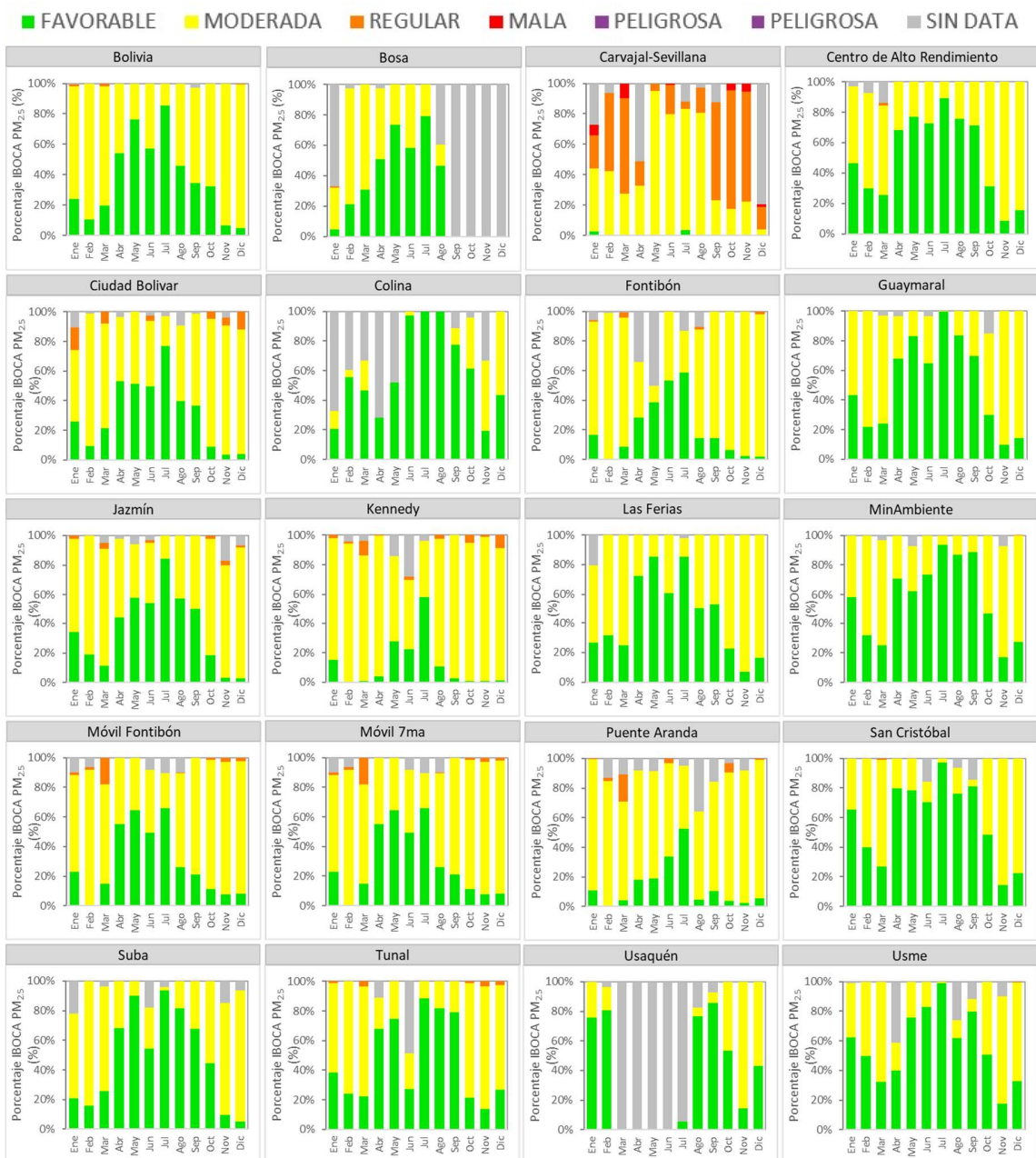


Figura 8-3 IBOCA por mes del año para PM_{2.5} – Año 2021



Figura 8-4 IBOCA por estación de monitoreo para O₃, NO₂, SO₂ y CO – Año 2021

En la Figura 8-5, Figura 8-6, Figura 8-7 y Figura 8-8, se observan los porcentajes del IBOCA por mes del año para cada estación, para los contaminantes O₃, SO₂, NO₂ y CO. Se evidencia que las condición “favorable” fue predominante en todos los gases contaminantes para todos los meses del año, se observaron algunos meses en los que se registraron algunos datos en condición “moderada”: para el O₃ se evidenciaron algunos datos en Kennedy y MinAmbiente principalmente en enero; para el NO₂ se observaron datos en varias estaciones para el mes de noviembre, siendo la estación Colina la que registró el porcentaje más alto; en el caso del SO₂ se observaron datos en dicha condición en los meses de mayo, junio y julio en Carvajal - Sevillana.

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



Figura 8-5 IBOCA por mes del año para O₃ – Año 2021



Figura 8-6 IBOCA por mes del año para NO₂ – Año 2021

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



Figura 8-7 IBOCA por mes del año para SO₂ – Año 2021



Figura 8-8 IBOCA por mes del año para CO – Año 2021

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 horizontalmente, 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 culmina en 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 las gotas 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

En un día normal, por el ciclo diurno debido a las condiciones forzantes propias de Bogotá, se espera que los eventos de precipitación sean más frecuentes y con mayor intensidad en horas de la tarde y noche que en horas de la madrugada y mañana. De allí que en 2021 y de manera idéntica los años anteriores entre las 3:00 y las 6:00 de la tarde ocurrieron los mayores eventos de precipitación. En 2021 el mayor número de eventos de lluvia se presentó hacia las 3:00 de la tarde, desplazándose una hora con respecto a los dos años anteriores. Ver Figura 9-1.

De acuerdo con el comportamiento antes descrito, los eventos de lluvia que se presentan en horas de la tarde, por su intensidad probablemente sean los que mayormente contribuyeron con la limpieza de la atmósfera local, por arrastre aerodinámico de partículas, así como arrastre, por escorrentía, de material particulado susceptible de ser resuspendido.

De acuerdo con (Montoya Gaviria, G. de J & Eslava Ramírez, J. A., 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 ellas 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, las cuales ascienden por el suroccidente cargadas de humedad, las que al encontrarse con los cerros orientales son forzadas a ascender y formar nubes productoras de lluvia, si las condiciones de estabilidad de la atmósfera son favorables.

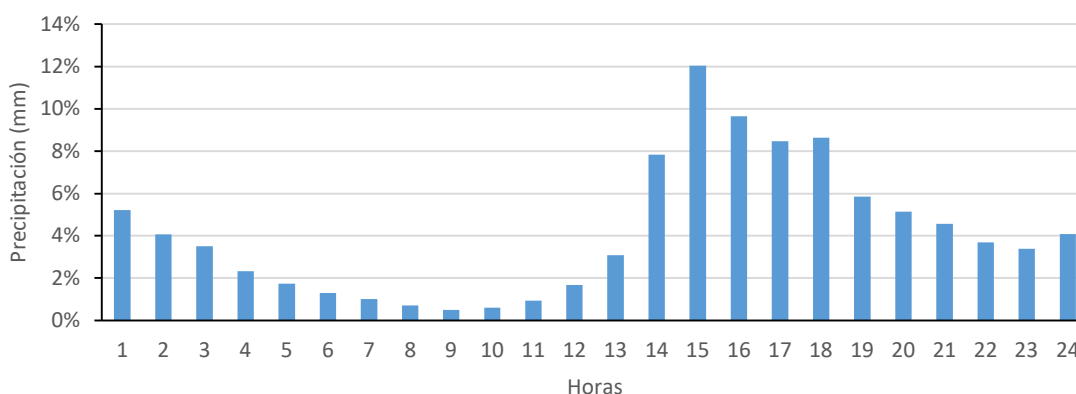


Figura 9-1 Comportamiento diario de la precipitación – Año 2021

9.1.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN

En cuanto al comportamiento mensual, es claramente conocida la bimodalidad de las lluvias en la ciudad de Bogotá. En consecuencia, como se observa en la Tabla 9-1 y Tabla 9-2 en 2021, al igual que en 2020, los mayores acumulados se presentaron en el segundo semestre del año con un 51% de las lluvias y un 49% en el primer semestre. A diferencia del año anterior cuando se presentaron importantes acumulados de lluvia durante el primer trimestre considerado como seco; en 2021 se observa una normalización del ciclo estacional de las lluvias tanto en el primer como el segundo semestre, y una marcada bimodalidad de las mismas.

Tabla 9-1 Distribución de las lluvias – Año 2021

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	17,2	63,4	116,9	123,8	152,2	142,3	51,4	122,5	57,1	199,2	166,7	43,4
% Anual	1%	5%	9%	10%	12%	11%	4%	10%	5%	16%	13%	3%
% Trimestral	16%			33%			18%			33%		
% Semestral	49%						51%					

Como se puede observar en la Figura 9-2 en el segundo semestre de 2021 el promedio de los totales mensuales fue ligeramente mayor que en el primer semestre, con octubre como el mes de mayores acumulados de precipitación. No obstante, las máximas absolutas medias durante el ciclo anual se presentaron durante el mes de mayo. Los niveles de lluvia registrados durante el mes de mayo y

junio de 2021 podrían estar relacionados con las bajas concentraciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} registradas por la RMCAB para dicho mes.

Tabla 9-2 Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad – Año 2021

Est.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
BOL	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	71,9	63,7	207,7	121,1	51,5	515,9*
CSE	17,9	37,8	N.A.	80,4	124,7	168,9	33,6	101,4	56,9	185,3	140,5	11,1	958,5
CDAR	23,1	47	114	89	112	187,2	48,8	116,8	63,8	167,7	200,9	47,8	1218,1
FTB	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	177,7	92	148,5	170,5	27,9	616,6
GYR	12,2	38,5	92	102,9	109,9	98,5	54,2	62,1	42,5	115,7	99,5	47,4	875,4
KEN	25,9	16,6	41,4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	83,9*
LFR	11,3	84,7	133,3	137,4	160	185,1	35,7	152,1	97,4	222,9	187,3	67,7	1474,9
MAM	22,8	45,2	98,7	119,6	171,2	147,3	36,3	113,7	30,3	156,1	136,8	27,3	1105,3
MOV	6,0	20,7	69,8	65,9	75,9	83,6	31,2	148,2	39	152,6	182,4	51,2	926,5
PTE	14,4	37,9	98,8	61,8	104,1	122,4	26,6	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	466*
SCR	28,4	91,9	209,4	177,4	453,8	246,5	138,9	231,8	77,9	340,4	293	85,5	2374,9
SUB	32,8	96	155,4	127,8	171,3	128,1	71,7	105,6	71	307,8	129,3	71,2	1468
TUN	10,4	32,8	100,2	70,6	179,5	118,7	36,2	94,8	69,8	163	132,9	20,4	1029,3
USQ	7	65,7	120,5	94,8	105,5	88,7	23,2	99	26,6	129	155,9	64,7	980,6

* Los valores estimados en estas estaciones son indicativos dado que la representatividad de los datos es menor al 75%
N.A.: no cumple criterio de representatividad

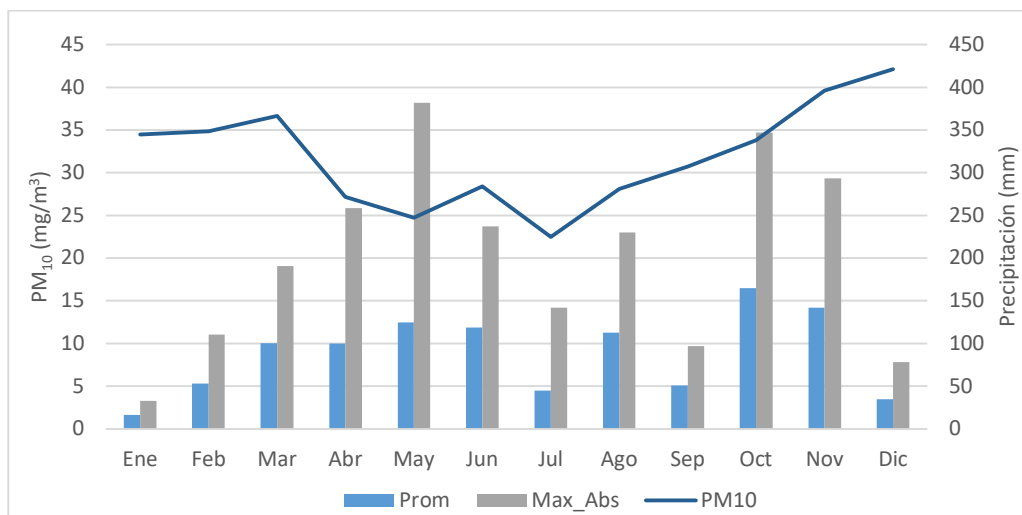


Figura 9-2 Valores medios y máximos de precipitación comparados con el promedio de PM₁₀ – Año 2021

En 2021 de acuerdo con los registros de la RMCAB, en su mayoría los totales mensuales fluctuaron entre 875 mm a 2375mm. Se destacan los acumulados registrados en el sector de San Cristóbal 2375mm. Ver la Figura 9-3.

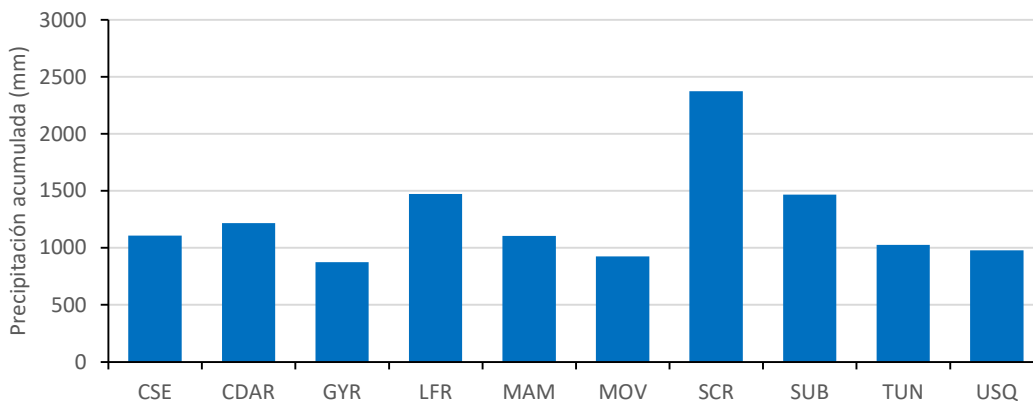


Figura 9-3 Total acumulado por estación – Año 2021

9.1.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

Los totales acumulados descritos en la Figura 9-3, se pueden visualizar de manera especializada en el mapa de isoyetas de la Figura 9-4. Como se puede notar, los mayores acumulados se presentaron tanto al suroriente como al noroccidente de la ciudad. En tanto, los menores registros se presentaron hacia el nororiente y centro occidente de la ciudad con acumulados de 900mm.

9.1.4. COMPORTAMIENTO HISTORICO DE LA PRECIPITACIÓN

Como parte de la historia de la RMCAB en la Tabla 9-3 se presenta el registro de los totales anuales de precipitación desde 2000 hasta la presente vigencia. Adicionalmente se presenta Figura 9-5, donde se puede observar la variación promedio de las lluvias en la ciudad, de acuerdo con los datos recolectados por la RMCAB. Con base en este perfil anual, se evidencia un ascenso en el total anual de la precipitación desde 2018.

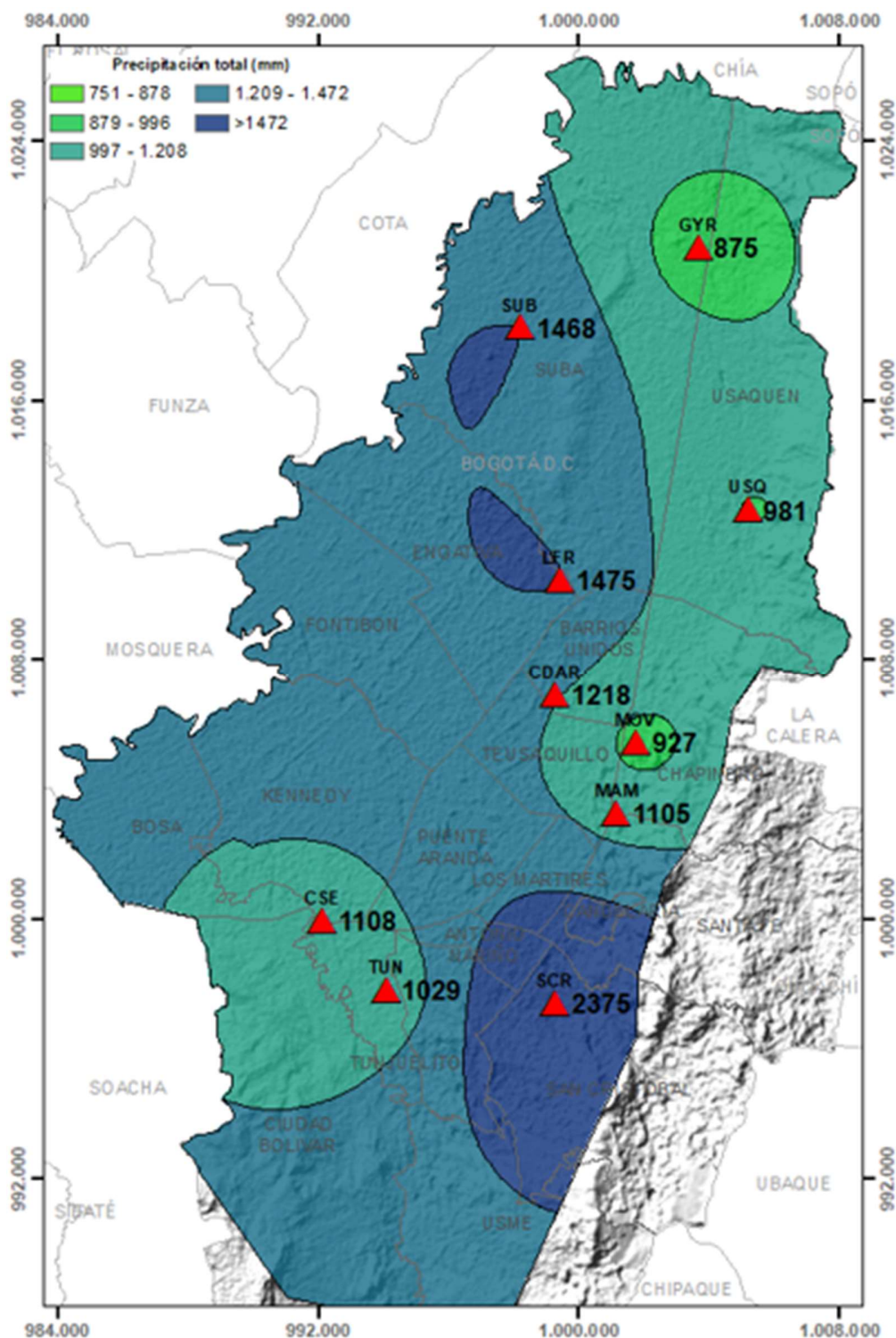


Figura 9-4 Mapa de distribución espacial de la precipitación en Bogotá - Año 2021

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 2021

Tabla 9-3 Promedio de los acumulados de precipitación por estación años 2000 – 2021

Est.	BOL	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
2000	N.A.	585	N.A.	687	N.A.	N.A.	606	851	N.A.	N.A.	N.A.	650	N.A.	1242
2001	N.A.	317	N.A.	471	N.A.	N.A.	592	636	N.A.	564	N.A.	496	N.A.	563
2002	N.A.	580	N.A.	653	578	N.A.	667	874	N.A.	901	N.A.	489	N.A.	867
2003	N.A.	421	N.A.	574	709	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	891	N.A.	N.A.	N.A.	495
2004	N.A.	577	739	684	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	248	N.A.	1007	N.A.	N.A.
2005	N.A.	N.A.	752	545	N.A.	N.A.	882	N.A.	N.A.	431	N.A.	N.A.	N.A.	947
2006	N.A.	692	N.A.	520	N.A.	611	861	N.A.	N.A.	580	N.A.	573	N.A.	825
2007	N.A.	669	707	559	646	546	654	N.A.	N.A.	701	N.A.	460	539	780
2008	N.A.	N.A.	848	N.A.	821	839	695	N.A.	N.A.	1547	N.A.	575	686	946
2009	N.A.	620	815	382	656	559	759	812	N.A.	857	N.A.	646	542	624
2010	N.A.	970	1523	522	1048	644	1321	N.A.	N.A.	881	N.A.	1023	1071	1292
2011	N.A.	1024	1710	520	1394	587	1429	N.A.	N.A.	812	N.A.	1156	1066	1277
2012	N.A.	638	891	350	639	N.A.	931	940	N.A.	679	938	866	668	828
2013	755	678	964	392	828	688	855	940	233	660	865	930	711	703
2014	N.A.	639	1062	N.A.	836	689	925	915	412	680	1076	732	674	869
2015	558	450	608	N.A.	534	453	580	559	293	396	574	446	510	461
2016	961	541	803	N.A.	964	723	925	795	476	836	786	362	N.A.	333
2017	1389	890	1311	N.A.	986	1078	1055	1033	776	1003	1073	987	1042	1141
2018	956	810	932	N.A.	796	1282	517	N.A.	N.A.	786	916	454	544	905
2019	989	724	980	N.A.	924	1566	559	676	689	843	1066	802	815	1106
2020	N.A.	757	1077	N.A.	900	1480	801	988	745	710	1479	1014	909	1003
2021	N.A.	1108	1218	662	875	84	1475	1105	927	529	2375	1468	N.A.	981
Prom. 2019	935	684	996	537	831	789	854	856	569	740	1115	757	752	866

N.A.: no cumple criterio de representatividad

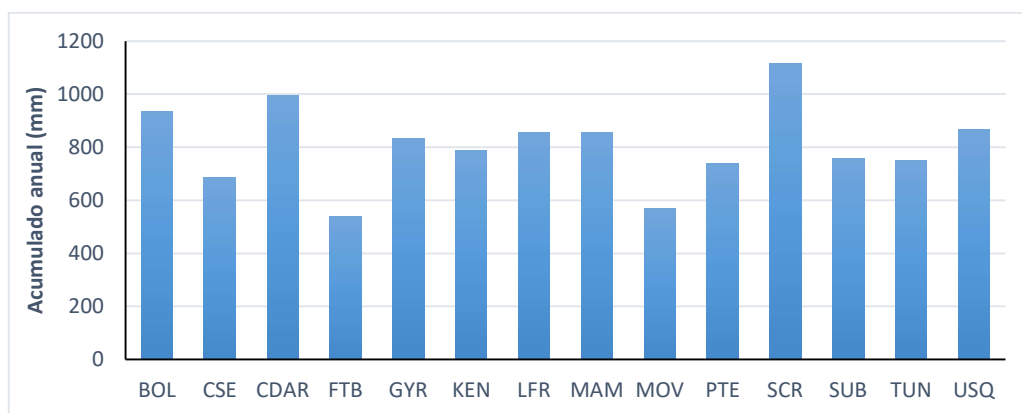


Figura 9-5 Promedios totales anuales de precipitación por estación - 2000-2021

En la Tabla 9-4 se resume el comportamiento mensual multianual de la lluvia en la ciudad de Bogotá, según registros de la RMCAB desde 2000 hasta 2021. De acuerdo con esta tabla en 2021 las lluvias superaron al promedio histórico durante la mayor parte del año salvo durante los meses de enero, febrero y diciembre (Ver Figura 9-6). Como se indicó anteriormente en mayo se observó una disminución en las concentraciones de material particulado, que podría estar asociado en parte a las intensas lluvias registradas en durante ese mes.

Tabla 9-4 Precipitación promedio histórica mensuales años 2000 – 2021

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

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
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
2021	17,7	51,2	112,1	102,5	160,7	143,2	48,8	122,9	60,9	191,4	162,5	47,8	1221,8
Prom. 2000-2021	32,0	60,1	82,6	95,2	86,0	55,2	39,0	34,0	44,1	91,3	110,2	59,7	768,5

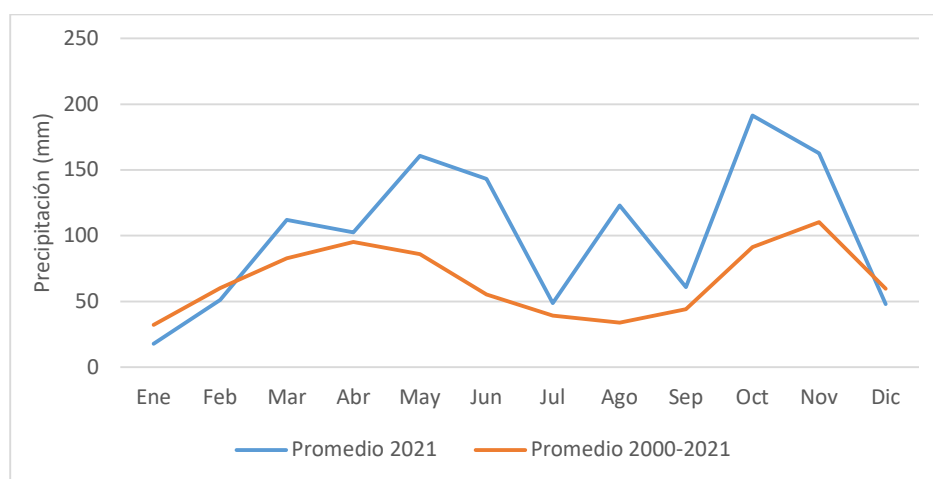


Figura 9-6 Precipitación promedio histórica mensual de los años 2000 – 2021 Vs total mensual de 2021

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 quemas 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 con resolución horaria de manera que contribuya a 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 2021 y el comportamiento puntual en cada una de las estaciones. 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 se transfiere la temperatura al aire, la cual comienza a incrementarse alcanzando su máximo entre las 12 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 la ciudad de Bogotá, que podría contribuir no sólo a la mayor dispersión de contaminantes de la atmósfera, sino, a 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 las estaciones. Durante el año 2021 igual 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. En promedio durante el año 2021, la variación diurna de las temperaturas medias mínimas y las máximas fue de aproximadamente 10 °C.

Por otro lado, la variación de la temperatura media en la ciudad fluctuó entre 13,6 °C hacia el sector de San Cristóbal y 16 °C hacia el sector de la estación Móvil 7ma que se encuentra reclinada a los cerros e influenciada por el tráfico de la carrera séptima. No se descarta la influencia por la reflectancia generada por la superficie pavimentada y el efecto espejo producido por las ventanas en vidrio de las edificaciones vecinas.

Así mismo, se reportaron altos valores de temperatura en las estaciones Kennedy y Carvajal - Sevillana, los cuales se asocian a las actividades industriales y al tráfico vehicular. Así mismo, en este sector se registran las mayores velocidades del viento, que están estrechamente relacionadas con las mayores temperaturas del aire.

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 2021

Tabla 9-5 Comportamiento de la temperatura horaria - Año 2021

Hora	CSE	CDAR	CBV	COL	FTB	GYR	JAZ	KEN	LFR	MOV	SCR	SUB	USQ	USM	Prom.
	Temperatura (°C)														
1:00	13,3	11,5	12,5	12,6	13,1	11,6	13,5	12,8	11,8	13,6	11,4	11,3	12,4	12,7	12,4
2:00	12,9	11,1	12,2	12,3	12,7	11,2	13,1	12,5	11,5	13,3	11,1	11,0	12,1	12,4	12,1
3:00	12,6	10,9	12,0	12,0	12,4	10,9	12,9	12,2	11,3	13,0	10,8	10,7	11,9	12,2	11,8
4:00	12,4	10,7	11,8	11,8	12,2	10,7	12,6	11,9	11,1	12,8	10,6	10,4	11,7	12,0	11,6
5:00	12,2	10,5	11,6	11,6	12,0	10,5	12,4	11,7	10,9	12,6	10,4	10,3	11,5	11,8	11,4
6:00	12,1	10,2	11,5	11,4	11,9	10,3	12,3	11,5	10,7	12,5	10,3	10,1	11,3	11,7	11,3
7:00	12,5	11,1	11,8	11,8	12,3	11,0	12,7	11,7	11,5	12,6	10,4	10,4	11,6	12,0	11,7
8:00	14,3	14,7	12,9	13,2	13,9	14,3	14,0	13,6	13,4	13,9	11,6	12,4	13,4	13,5	13,5
9:00	16,4	17,5	14,3	14,8	15,8	16,7	15,4	16,4	15,6	16,1	13,7	15,4	15,3	15,0	15,6
10:00	18,1	19,1	15,5	16,2	17,4	18,2	16,7	18,6	17,1	18,4	15,5	18,1	16,9	16,2	17,3
11:00	19,2	20,0	16,5	17,3	18,4	19,2	17,7	20,0	18,1	19,8	16,6	19,8	18,0	17,1	18,4
12:00	19,8	20,4	17,0	18,0	19,0	19,8	18,5	20,6	18,6	20,6	17,4	20,7	18,7	17,7	19,1
13:00	20,0	20,5	17,2	18,5	19,1	20,3	18,7	20,5	18,8	20,9	17,9	21,0	18,9	18,1	19,3
14:00	19,9	20,0	17,2	18,4	18,8	20,0	18,6	20,1	18,5	20,6	17,9	20,7	18,6	18,2	19,1
15:00	19,4	19,4	16,9	18,1	18,3	19,5	18,3	19,5	17,8	20,0	17,6	19,8	18,0	18,0	18,6
16:00	18,8	18,6	16,4	17,5	17,8	18,9	17,8	18,9	17,1	19,3	17,1	19,0	17,3	17,7	18,0
17:00	18,0	17,5	15,8	16,8	17,2	17,8	17,1	18,0	16,2	18,3	16,3	17,9	16,5	17,1	17,2
18:00	16,8	15,8	15,0	15,8	16,2	16,2	16,3	16,8	14,9	17,0	15,2	16,1	15,4	16,1	16,0
19:00	15,6	14,2	14,3	14,8	15,2	14,5	15,4	15,2	13,8	15,9	14,0	14,4	14,4	15,0	14,8
20:00	15,1	13,4	14,0	14,3	14,7	13,7	15,0	14,6	13,3	15,3	13,1	13,4	14,0	14,5	14,2
21:00	14,8	12,9	13,7	13,9	14,4	13,2	14,7	14,2	13,0	14,9	12,7	12,9	13,6	14,1	13,8
22:00	14,4	12,5	13,5	13,5	14,1	12,7	14,4	13,9	12,7	14,6	12,3	12,4	13,3	13,7	13,4
23:00	14,1	12,2	13,2	13,3	13,8	12,3	14,1	13,5	12,4	14,3	12,0	12,0	13,0	13,4	13,1
24:00	13,7	11,8	12,9	12,9	13,5	11,9	13,8	13,2	12,1	14,0	11,7	11,6	12,7	13,1	12,8
Prom.	15,7	14,8	14,2	14,6	15,2	14,8	15,3	15,5	14,3	16,0	13,6	14,7	14,6	14,7	12,4

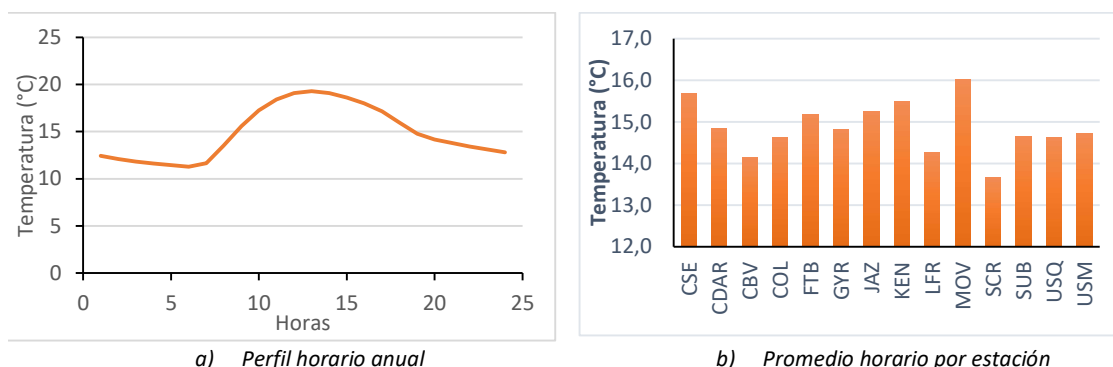


Figura 9-7 Comportamiento de la temperatura horaria anual 2021: a) perfil horario; b) promedio por estación

9.2.2. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA TEMPERATURA

La serie de temperatura anual registrada permite establecer que 2021 fue un año con temperaturas más bajas que el año anterior, pero por encima del promedio multianual. Se exceptúa el mes de marzo que presentó una disminución de aproximadamente 0,5 °C con respecto al promedio multianual, y alrededor de 1,5 °C con respecto al mes de marzo del año anterior. No obstante, diciembre de 2021 reporta altos niveles de temperatura incluso superiores al mes de diciembre de 2020. El promedio anual estimado para la ciudad en 2021 fue de 14,8 °C, evidenciando un descenso en los niveles de temperatura superficial respecto al año anterior y al año 2016 en los que se registraron los valores más altos de temperatura de la última década (Tabla 9-6 y en la Figura 9-8).

Tabla 9-6 Promedio mensual de temperatura multianual 2000 – 2021

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
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

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
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
2021	14,5	15,2	14,2	15,3	15,1	14,7	14,5	14,6	14,5	14,9	14,9	15,6	14,9
Prom. 2000-2021	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

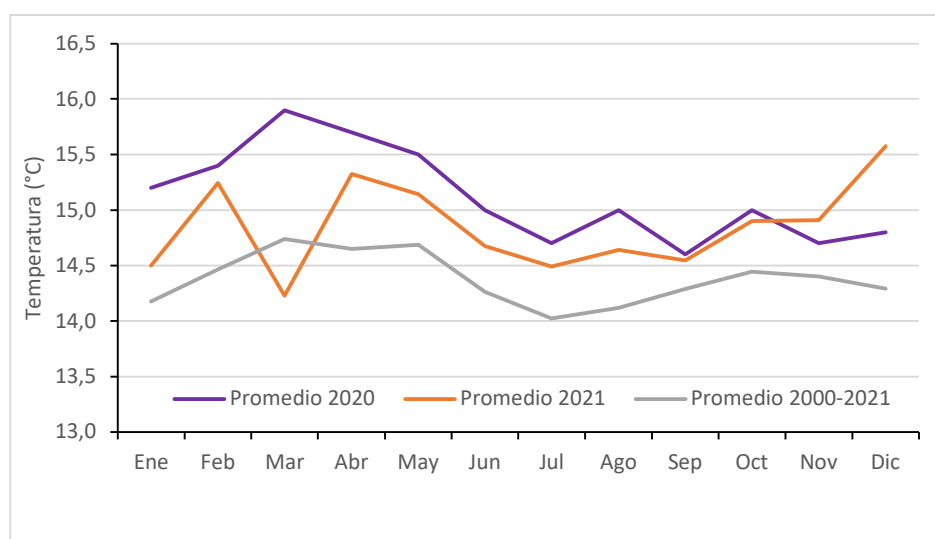


Figura 9-8 Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2021 Vs 2021

En cuanto al comportamiento de las temperaturas extremas, las estaciones Suba (27,1 °C), Móvil 7ma (26,9 °C), y Tunal (26,6 °C) registraron los valores más altos en cuanto a las máximas absolutas. Respecto a las mínimas absolutas las estaciones Tunal (3,5 °C), Guaymaral (4,0 °C) y CDAR (4,4 °C) registraron las temperaturas más bajas durante el año. Comparadas con 2020, se presentó un incremento de las mínimas absolutas con aumentos de hasta 0,7 °C en la estación Guaymaral.

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 mínimas horarias durante el año 2021. De la Tabla 9-7 se puede deducir que las mayores amplitudes térmicas se presentaron hacia las estaciones Guaymaral, Centro de Alto Rendimiento, Suba y Tunal. A pesar de que las variaciones mensuales de temperatura son de baja amplitud a nivel intradiurno, cuando se presentan fuertes variaciones en el trópico (para ser más precisos, en la franja ecuatorial) se contribuye diariamente con la formación de corrientes convectivas que ayudan al ascenso de masas de aire, e incluso al rompimiento de inversiones térmicas, que son las causales de episodios de contaminación en horas de las madrugadas, principalmente durante los meses de enero y febrero.

Por tanto, en la franja ecuatorial las variaciones intradiurnas son la clave para la reducción de la contaminación atmosférica a través de los mecanismos de convección, mezcla y transporte turbulento. Para más información ver (Hastenrath, 1991).

Tabla 9-7 Temperaturas extremas - Año 2021

ESTACIÓN	Máxima (°C)	Mínima (°C)	Amplitud Térmica (°C)
BOS*	6,1	21,3	15,2
CSE	8,1	25,2	17,1
CDAR	4,4	26,2	21,8
CBV	7,5	20,6	13,1
COL	6,8	22,1	15,3
FTB	8	23,3	15,3
GYR	4	25,5	21,5
JAZ	8,8	23,1	14,3
KEN	6,9	26,2	19,3
LFR	7,3	23,6	16,3
MOV2*	8,5	22,7	14,2
MOV	9	26,9	17,9
PTE*	8	22,5	14,5
SCR	6,2	22,4	16,2
SUB	5,1	27,1	22
TUN*	3,5	26,6	23,1
USQ	6,8	23,5	16,7
USM	6,8	23,4	16,6

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

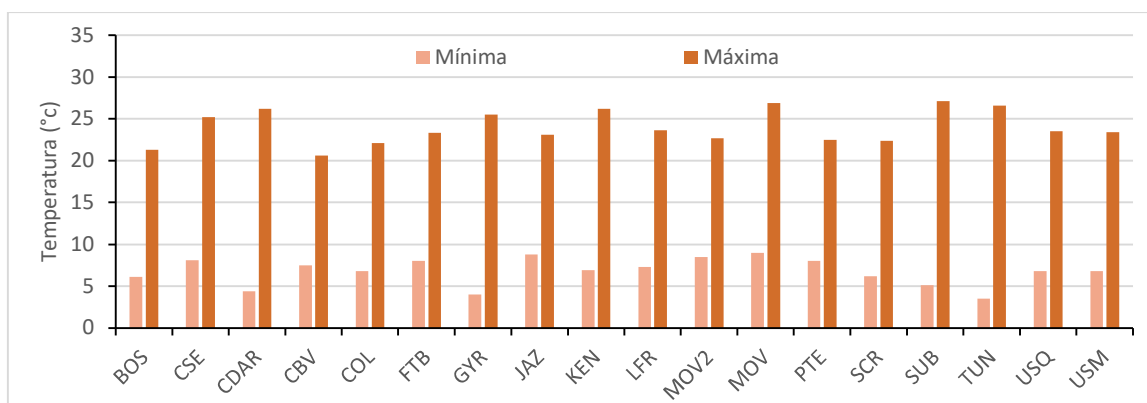


Figura 9-9 Temperaturas extremas absolutas - Año 2021

9.2.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

Al graficar los registros medios anuales de temperatura en 2021, se puede establecer que las mayores temperaturas medias superficiales se presentaron en una franja entre el flanco occidental y el oriental con valores entre 15 °C y 16 °C, mientras que, las menores temperaturas se registraron hacia el suroriente, centro geográfico de la ciudad y suroccidente, con temperaturas medias de entre 13,6 °C hasta 14,3 °C (Figura 9-10).

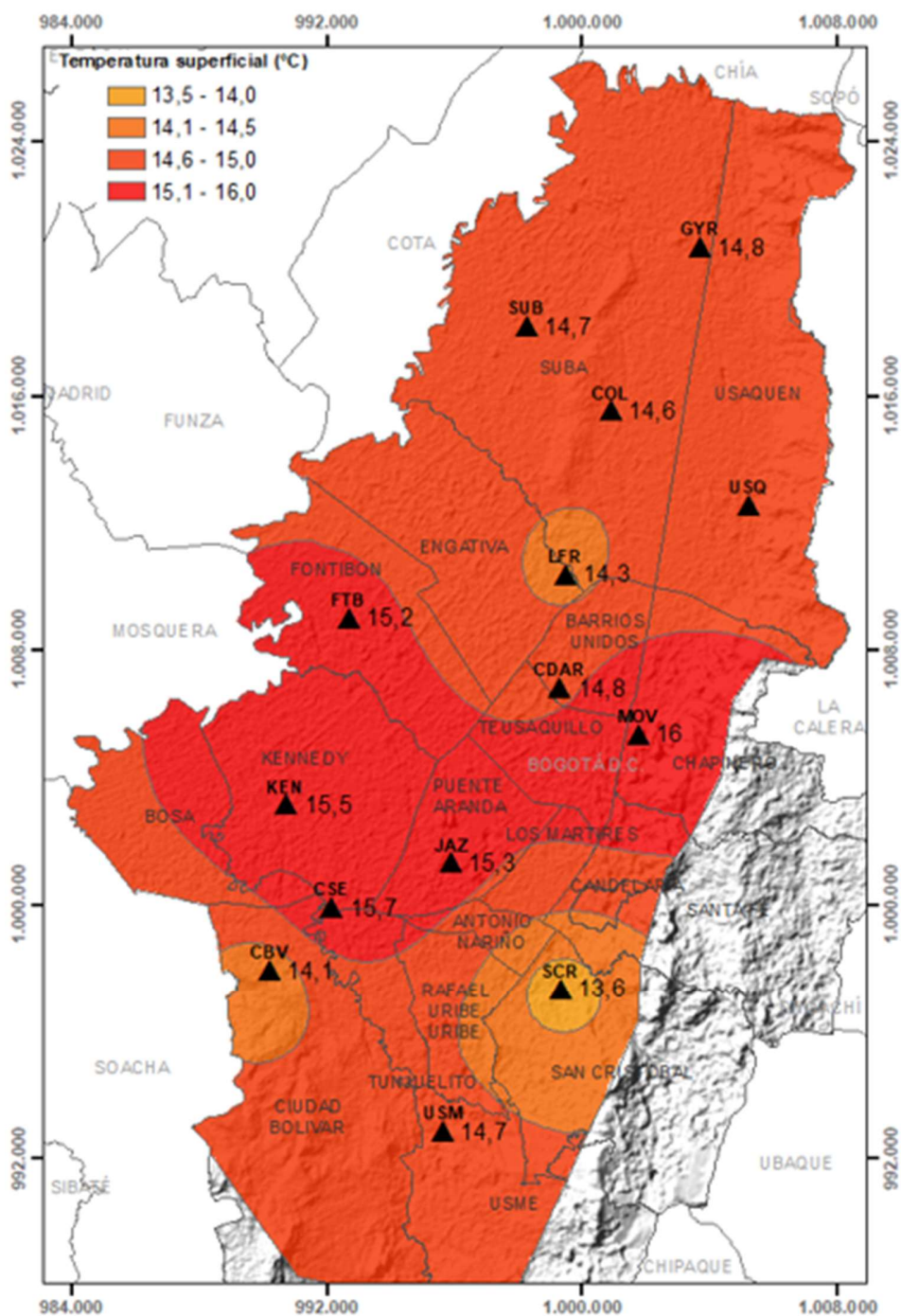


Figura 9-10 Mapa de Temperatura superficial - Año 2021

9.2.4. PROMEDIOS HISTORICOS DE TEMPERATURA

En la Tabla 9-8 se presenta el resumen de los registros medios anuales por estación desde 2000 a 2021. Estos reportes permiten evidenciar que en 2021 la temperatura media superficial tuvo un descenso con respecto a 2020, como se describió anteriormente.

En la Figura 9-11 se observa cómo ha variado en promedio la temperatura anual de la ciudad de Bogotá desde el año 2000 hasta el 2021. Este resumen evidencia la evolución de la temperatura del aire en la ciudad de Bogotá durante aproximadamente dos décadas. Así mismo, se aprecia que frente a los dos años anteriores y a 2016 (los más calientes de la última década), en 2021 las temperaturas medias superficiales mostraron una ligera reducción.

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 2021

Tabla 9-8 Promedios de temperatura media anual de los años 2000 a 2021

Estaciones	BOS*	CSE	CDAR	CBV*	FTB	GYR	JAZ*	KEN	LFR	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ	USM*	Promedio
2000	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	13,6	N.A.	N.A.	N.A.	15,6	14,1	N.A.	10,6	N.A.	N.A.	N.A.	13,5
2001	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	13,9	N.A.	N.A.	N.A.	16	14,5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,8
2002	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,1	N.A.	N.A.	N.A.	16	14,6	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,9
2003	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,7	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,5
2004	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	13,9	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,2
2005	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,2	N.A.	N.A.	N.A.	15,9	14,8	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15,0
2006	N.A.	12	N.A.	N.A.	14,1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,6	N.A.	12,6	N.A.	N.A.	N.A.	13,4
2007	N.A.	11	N.A.	N.A.	13,9	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	14,6	N.A.	13,2	N.A.	N.A.	N.A.	13,2
2008	N.A.	14	13,9	N.A.	14,1	13,9	N.A.	13,6	13,3	14	N.A.	13,7	N.A.	11,9	N.A.	13,6
2009	N.A.	15	14,7	N.A.	14,7	14,4	N.A.	14,8	14	14,6	N.A.	12,9	14,6	14,5	N.A.	14,5
2010	N.A.	16	14,8	N.A.	14,5	14,8	N.A.	14,8	14,2	14,6	14	N.A.	N.A.	15,1	N.A.	14,6
2011	N.A.	15	14,5	N.A.	13,6	14,3	N.A.	14,4	13,7	14	14	N.A.	13,2	14,4	N.A.	14,1
2012	N.A.	15	14,6	N.A.	13,8	14,3	N.A.	14,5	13,9	13,8	13	14	13,4	14,4	N.A.	14,1
2013	N.A.	16	14,8	N.A.	14,1	14,6	N.A.	14,8	14,2	13,7	13	14,3	13	14,8	N.A.	14,3
2014	N.A.	16	14,8	N.A.	N.A.	14,6	N.A.	14,9	14,2	14	13	14,3	13,1	14,7	N.A.	14,3
2015	N.A.	16	15,2	N.A.	N.A.	14,8	N.A.	15,3	14,4	14,4	13	14,6	13,5	N.A.	N.A.	14,6
2016	N.A.	16	15,4	N.A.	N.A.	15,1	N.A.	15,3	14,7	15	14	15	14,4	N.A.	N.A.	15,0
2017	N.A.	16	14,9	N.A.	N.A.	14,7	N.A.	15,1	14,3	14,5	13	14,6	13,4	13,2	N.A.	14,4
2018	N.A.	16	14,7	N.A.	N.A.	14,5	N.A.	15,2	14,1	14,2	13	14,4	13,4	N.A.	N.A.	14,3
2019	N.A.	16	15,1	N.A.	15,4	14,9	N.A.	16,6	14,5	14,2	13	14,8	15,5	14,7	N.A.	15,0
2020	14	16	15	14,1	15,4	15	15,3	16,2	14,5	14,1	14	14,9	15,6	14,8	14,8	14,9
2021	N.A.	16	14,8	14,1	15,2	14,8	15,3	15,5	14,3	N.A.	14	14,7	N.A.	14,6	14,7	14,8
Promedio (°C)		15	14,8		14,3	14,6		15,1	14,5	14,4	13	13,9	13,9	14,3		13,9

* Son indicativos. Numero de datos insuficientes para promediar. N.A.: no cumple criterio de representatividad.

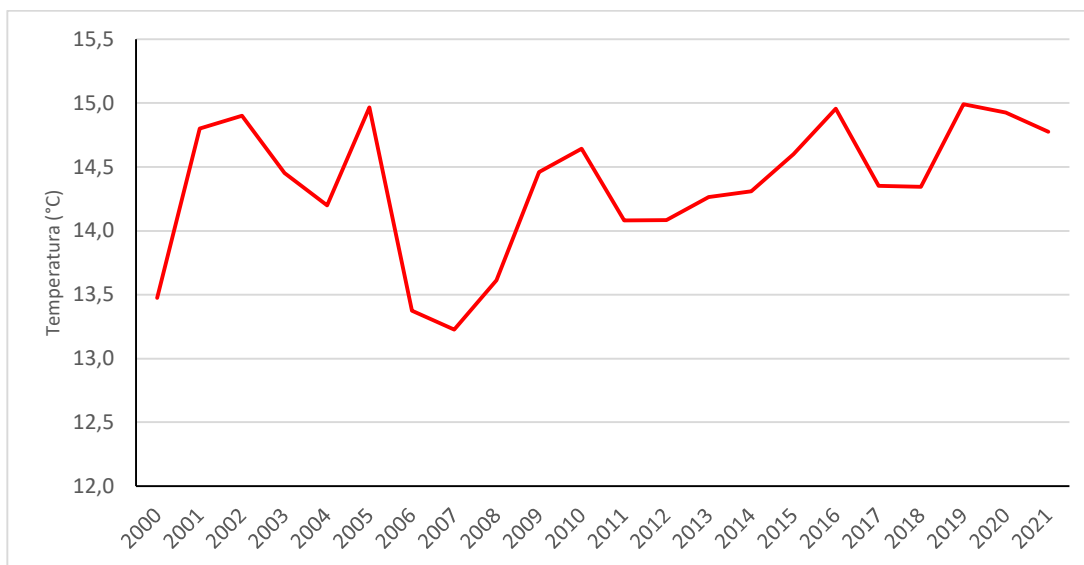


Figura 9-11 Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2021

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. Dicha radiación, es absorbida por la superficie de la tierra de manera diferencial de acuerdo con sus capacidades de absorción (albedo). De acuerdo con las propiedades térmicas, cada superficie conforme absorbe radiación, la transfiere al aire como ondas de calor que son absorbidas de manera eficiente dada sus propiedades diatérmicas, lo que a su vez genera diferencias de presión que 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 vectorial, tomando en cuenta sus componentes u y v , las cuales parametrizan el viento en el plano horizontal. En los procesos de dispersión de contaminantes, el viento juega un papel muy importante en la medida en que pueden ayudar en mayor o menor grado con los procesos de mezcla y transporte de los contaminantes, cuando las partículas se encuentran en suspensión y dependiendo de las condiciones sinópticas y la circulación local de las masas de aire. Sin embargo, también pueden contribuir de manera desfavorable cuando arrastran o transportan contaminantes provenientes de fuentes externas, ya sean de 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, la velocidad del viento en 2021 fue menor que el promedio multianual, excepto durante el mes de abril, como se puede observar en la Figura 9-12.

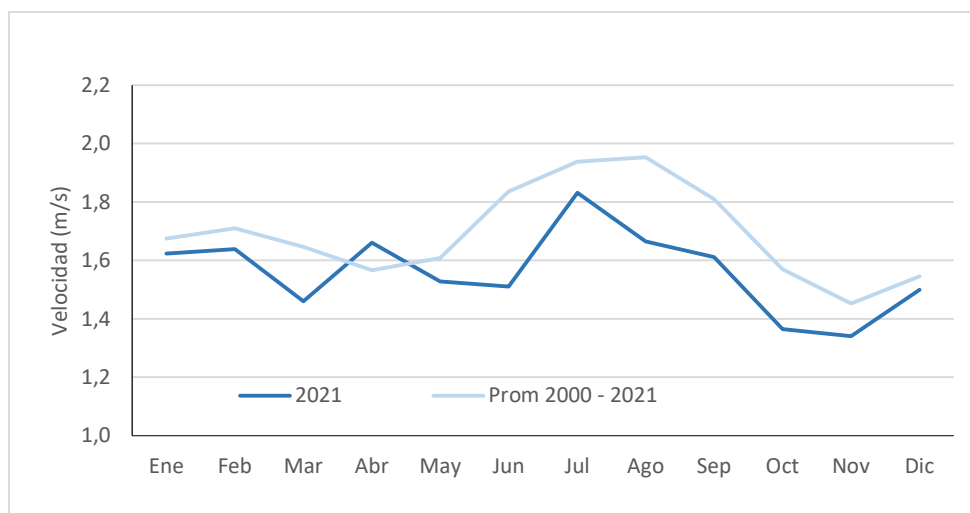


Figura 9-12 Comportamiento mensual de la velocidad del viento (promedio 2000 – 2021) Vs. 2020 y 2021

De otro lado, si se compara el comportamiento de las velocidades del viento por estación entre los años 2000 a 2021 con los años recientes, se observa que las estaciones Puente Aranda y Kennedy se han mantenido como los sectores de la ciudad con mayores velocidades (Tabla 9-9 y Figura 9-13).

Tabla 9-9 Promedio multianual por estación de los años 2000 – 2021

Estación	BOS*	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV2*	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
2000	N.A.	0,9	N.A.	N.A.	N.A.	1,7	0,4	N.A.	N.A.	1,9	N.A.	1,4	N.A.	1,2
2001	N.A.	1,3	N.A.	N.A.	N.A.	1,7	0,5	N.A.	N.A.	2,4	N.A.	1,4	N.A.	1,1
2002	N.A.	1,2	N.A.	0,6	N.A.	1,6	0,5	N.A.	N.A.	2,4	N.A.	1,3	N.A.	1,0
2003	N.A.	2,1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2,6	N.A.	N.A.	N.A.	1,2
2004	N.A.	N.A.	0,8	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2,7	N.A.	1,6	N.A.	N.A.
2005	N.A.	N.A.	1,9	N.A.	N.A.	1,5	N.A.	N.A.	N.A.	2,8	N.A.	N.A.	N.A.	1,6
2006	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1,5	1,4	N.A.	N.A.	N.A.	2,8	N.A.	1,3	N.A.	2,4
2007	N.A.	1,8	1,1	1,1	1,5	1,4	N.A.	N.A.	N.A.	2,7	N.A.	1,5	2,1	1,8
2008	N.A.	1,9	1,4	1,2	2,3	1,9	N.A.	N.A.	N.A.	2,7	N.A.	0,5	1,3	0,7
2009	N.A.	2,4	1,7	1,3	2,7	2,1	1,2	N.A.	N.A.	2,9	N.A.	0,9	1,2	0,9
2010	N.A.	2,1	1,5	N.A.	2,5	1,7	N.A.	N.A.	N.A.	2,7	1,1	1,0	1,2	1,2
2011	N.A.	2,1	1,3	0,9	2,4	1,8	N.A.	N.A.	1,7	2,7	1,7	1,8	1,1	1,4
2012	N.A.	2,4	1,4	1,0	2,6	1,9	N.A.	N.A.	2,7	2,2	1,8	2,0	1,1	1,6
2013	N.A.	2,4	1,4	1,0	2,5	1,9	1,8	N.A.	2,9	2,1	2,2	2,0	1,1	1,6

Estación	BOS*	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV2*	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
2014	N.A.	2,4	1,4	1,1	2,6	1,8	1,8	N.A.	1,3	2,1	1,8	1,9	1,0	1,4
2015	N.A.	2,6	1,5	1,1	2,8	2,0	1,8	N.A.	1	2,3	1,2	1,9	1,2	1,7
2016	N.A.	2,0	1,2	0,9	2,4	1,7	1,5	N.A.	0,9	2,1	1,7	1,4	1,2	1,7
2017	N.A.	2,0	1,2	0,9	2,3	1,6	1,4	N.A.	1,2	1,9	1,6	1,3	1,1	1,6
2018	N.A.	2,0	1,2	1,0	2,3	1,6	N.A.	N.A.	1,1	2,2	1,5	1,4	1,2	1,6
2019	N.A.	1,6	1,3	1,4	2,4	1,6	1,3	N.A.	1,3	N.A.	1,5	1,2	1,4	1,6
2020	N.A.	1,1	1,2	1,5	2,3	1,8	1,2	N.A.	1,1	1,9	1,6	1,1	1,6	1,5
2021	N.A.	1,7	1,2	1,5	2,0	1,9	1,1	N.A.	1	1,8	1,3	1,3	1,2	1,4
Prom. 2010 - 2021		1,9	1,3	1,1	2,3	1,7	1,2		1,5	2,4	1,6	1,4	1,3	1,4

* Son indicativos. Numero de datos insuficientes para promediar. N.A.: no cumple criterio de representatividad.

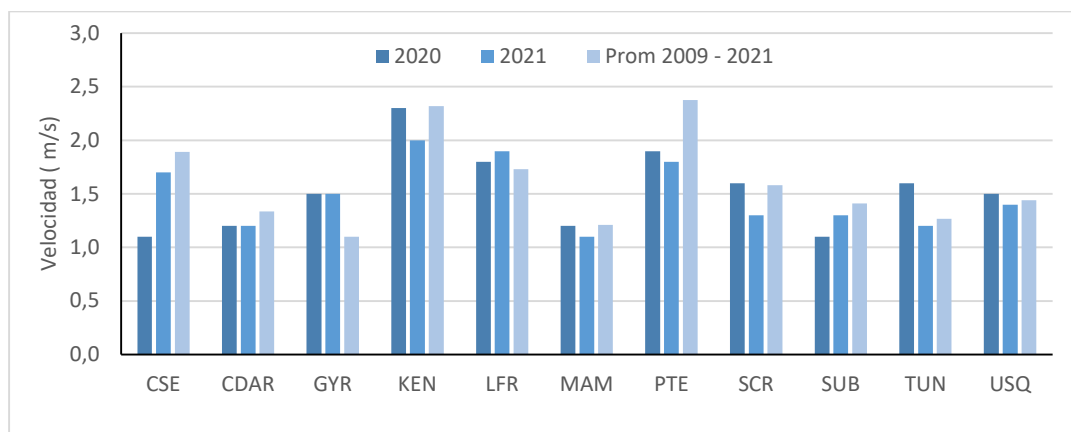


Figura 9-13 Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2020 y 2021 Vs. Promedio 2009 – 2021

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, las velocidades del viento en 2021 fueron menores que el promedio multianual, excepto durante el mes de abril como se visualiza en la Figura 9-14. Este comportamiento sugiere que en 2021 la capacidad de remoción de contaminantes pudo haber sido mayor que en 2020 con una contribución durante el mes de julio, superando incluso el mes de agosto, mes en el que históricamente se han presentado las mayores velocidades del viento a lo largo de los años.

Tabla 9-10 Comportamiento de los promedios mensuales multianuales de los vientos en el periodo 2000 – 2021

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
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
2021	1,6	1,6	1,5	1,7	1,5	1,5	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,5	1,6
Prom. 2000 - 2021	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

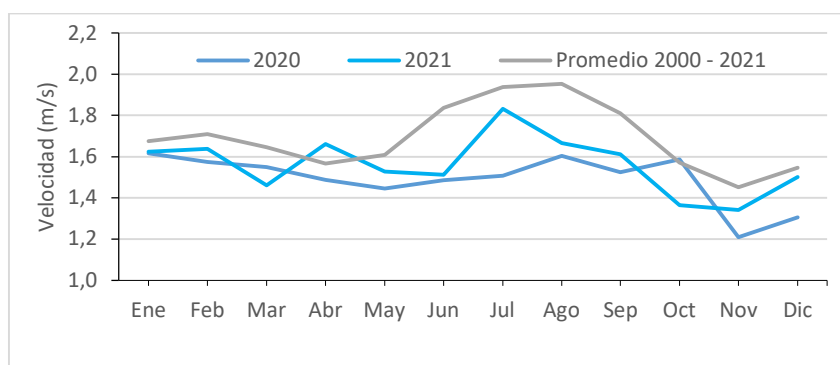
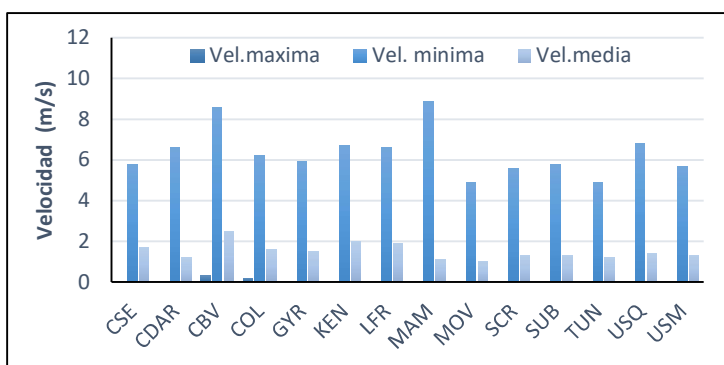


Figura 9-14 Comportamiento de la velocidad media mensual en 2020 vs. promedio mensual multianual 2000 - 2021

La información complementaria que se presenta en la Figura 9-15 en la que se observan los valores medios, máximos y mínimos absolutos registrados durante el año 2021. En esta figura se evidencia que para el período del estudio las máximas velocidades absolutas se registraron hacia los sectores de MinAmbiente, Ciudad Bolívar y Jazmín.

Los eventos de máximas velocidades se pueden presentar bajo diferentes condiciones atmosféricas, ya sea en horas de mayor acumulación de energía y con la influencia de sistemas sinópticos de meso escala o en condiciones locales como micro reventones ocasionados por eventos fuertes de lluvia. En todo caso, son proclives a ocurrir en horas de la tarde cuando mayor cantidad de energía se ha acumulado, mezclando y limpiando la atmosfera de la ciudad con mayor capacidad de vientos de menor magnitud.

De acuerdo con los registros, se observa que hacia el sector de Bosa el viento alcanza velocidades relativamente mayores a las registradas en las estaciones Kennedy y Puente Aranda. Los valores registrados en la estación Bosa confirman las velocidades del viento que superan las registradas al interior de la ciudad y se caracterizan por tener una fuerte componente suroccidental. En el sector de Jazmín se han registrado velocidades idénticas a las medidas en la estación Puente Aranda por la cercanía entre estaciones.



Estación	Vel. Mín.	Vel. Máx.	Vel. Med.
BOS*	0	8,2	2,5
CSE	0	5,8	1,7
CDAR	0	6,6	1,2
CBV	0,3	8,6	2,5
COL	0,2	6,2	1,6
GYR	0	5,9	1,5
JAZ	0,3	8	1,8
KEN	0	6,7	2
LFR	0	6,6	1,9
MAM	0	8,9	1,1
MOV2*	0,1	5	1,4
MOV	0	4,9	1
PTE*	0	7,3	1,8
SCR	0	5,6	1,3
SUB	0	5,8	1,3
TUN	0	4,9	1,2
USQ	0	6,8	1,4
USM	0	5,7	1,3
Prom.	0,1	6,9	1,7

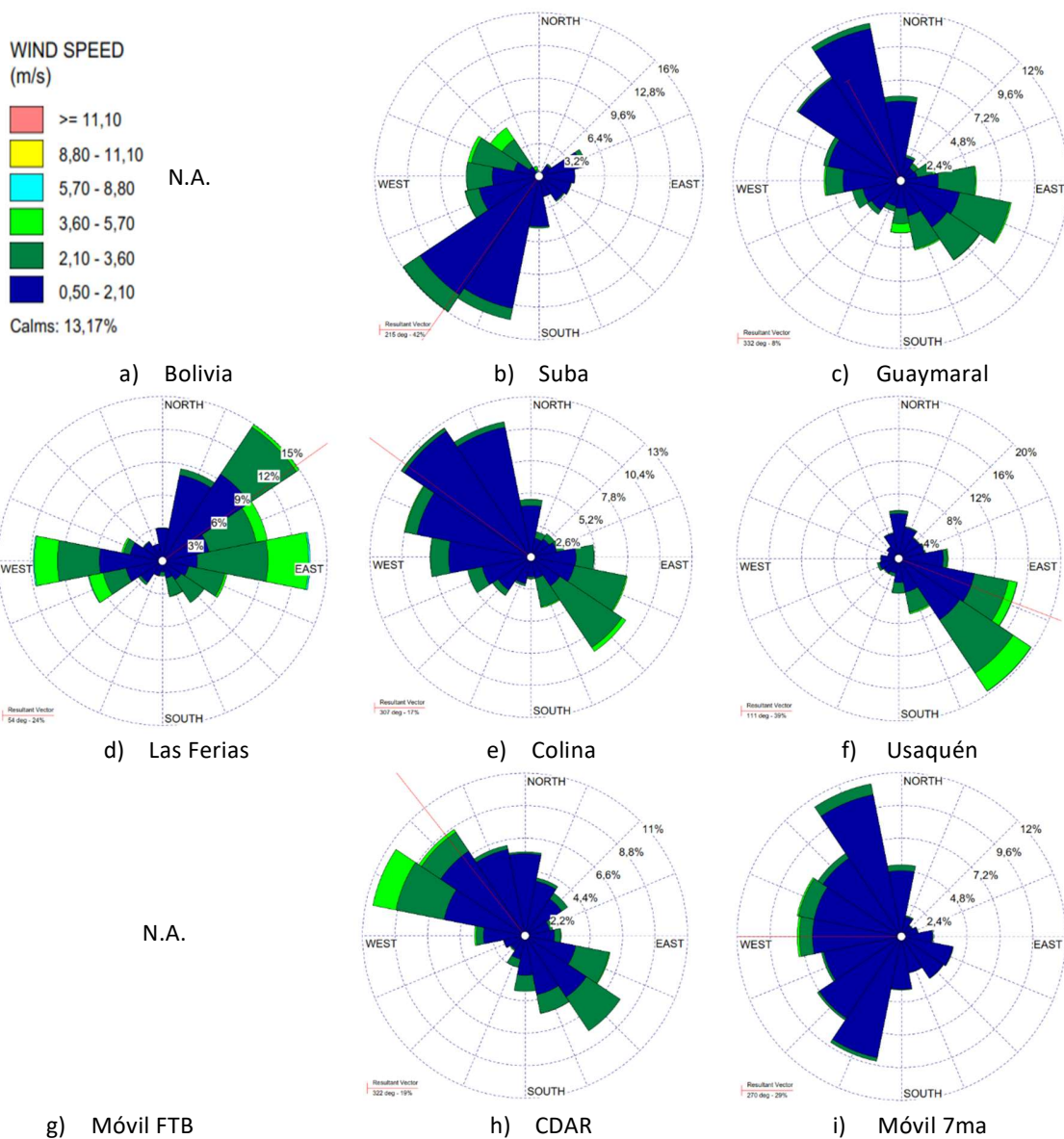
Figura 9-15 Velocidades absolutas de la velocidad del viento – Año 2021

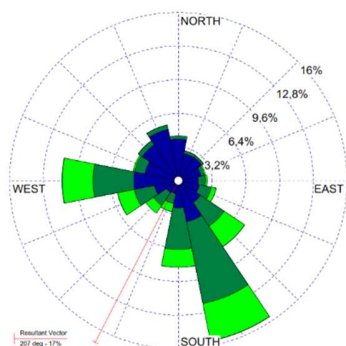
* Los valores estimados en estas estaciones son indicativos dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

Para ampliar la información anterior, en la Figura 9-16 se presentan las rosas de vientos anuales de la RMCAB durante el año 2021, para las estaciones que cumplieron con el criterio de representatividad temporal del 75%. Si bien las rosas de vientos representan una instantánea del comportamiento promedio anual de 2021, estas adicionalmente ofrecen información acerca de las direcciones predominantes de los vientos en la ciudad durante todo el año, además de su frecuencia y magnitud.

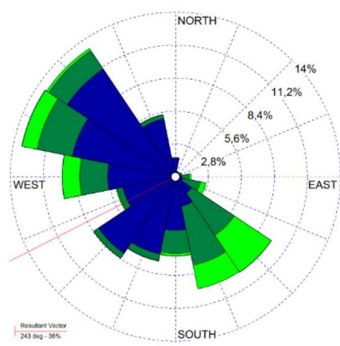
De este modo, se puede deducir que en el área de influencia de la estación Carvajal - Sevillana (donde se registran las mayores concentraciones de contaminantes de la ciudad) se presentaron velocidades entre 0,5 y 5,7 m/s con predominio de vientos del suroriente en un 27 % del tiempo, aunque son más frecuentes las velocidades bajas de entre los 0,5 y los 2,1 m/s las cuales contribuyen con la limpieza de la ciudad ejercida por la fuerza del viento, aunada a la convección térmica.

Se destacan además los porcentajes de vientos presentados en las estaciones San Cristóbal y Usaquén con porcentajes de vientos de entre 35% y 45%, provenientes del oriente y del suroriente, los cuales también contribuyen con la depuración aerodinámica de la ciudad.

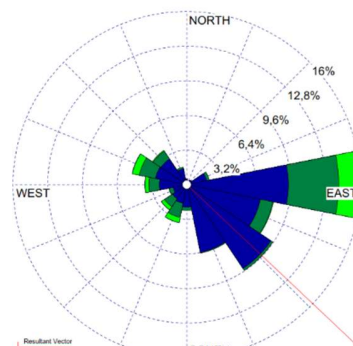




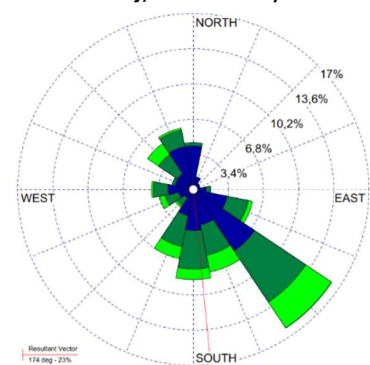
j) Kennedy



k) Jazmín

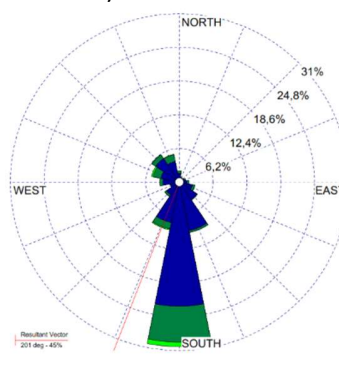


l) MinAmbiente

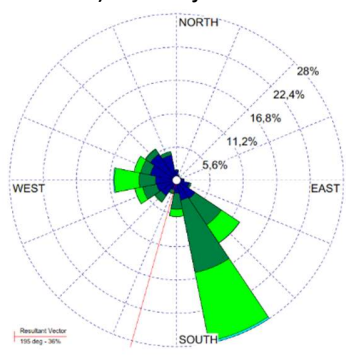


m) Carvajal - Sevillana

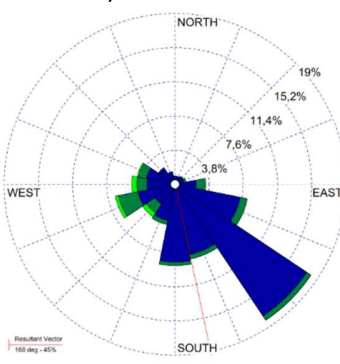
N.A.



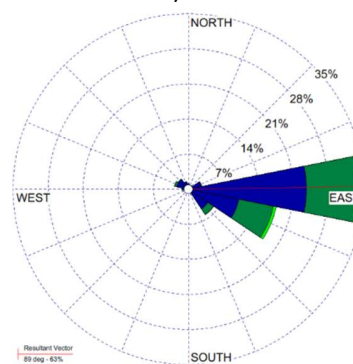
o) Usme



p) Ciudad Bolívar



q) Tunal



r) San Cristóbal

Figura 9-16 Rosas de vientos consolidadas por estación – Año 2021

9.3.3. PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

La magnitud de la velocidad de los vientos está influenciada por el ciclo diurno del sol, por lo que es importante conocer su comportamiento en diferentes horas del día tanto en velocidad como en dirección, a fin de hallar patrones intradiurnos que podrían explicar la forma en que los contaminantes son dispersados en la ciudad. Así pues, en 2021 la velocidad del viento en un día normal del año en promedio se presenta en la Tabla 9-11, en esta se resume el predominio promedio, tanto de la velocidad como de la dirección del viento, en diferentes fracciones de un día normal. Se ha dividido el día en cuatro fracciones: 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.

En la Tabla 9-11 se puede observar que en 2021 las mayores velocidades del viento se presentaron entre las horas de la mañana y la tarde, mientras que las velocidades más bajas ocurrieron en la madrugada y en la noche. El comportamiento de las direcciones del viento se puede 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
CSE	0,9	1,6	2,9	1,5	175	147	220	184
CDAR	0,6	1,2	2,1	0,9	327	358	230	325
CBV	1,5	2,5	3,8	2,2	225	132	207	203
COL	1,1	1,7	2,2	1,3	319	6	179	292
GYR	0,9	1,6	2,3	1,1	326	2	164	292
JAZ	1,0	1,8	3,1	1,4	266	221	225	243
KEN	1,1	1,8	3,4	1,8	355	134	217	211
LFR	1,3	1,9	2,8	1,7	26	134	185	22
MAM	0,6	1,1	2,0	0,9	143	74	130	129
MOV	0,7	0,9	1,3	0,9	234	284	309	262
SCR	0,7	1,0	1,8	1,3	90	75	85	86
SUB	0,8	1,5	2,0	0,9	206	221	324	190
TUN	0,7	1,1	2,0	1,0	171	163	183	171
USQ	0,9	1,3	2,0	1,3	85	71	150	115
USM	0,8	1,4	1,8	1,2	211	211	206	196
Prom.	1,0	1,6	2,7	1,4				

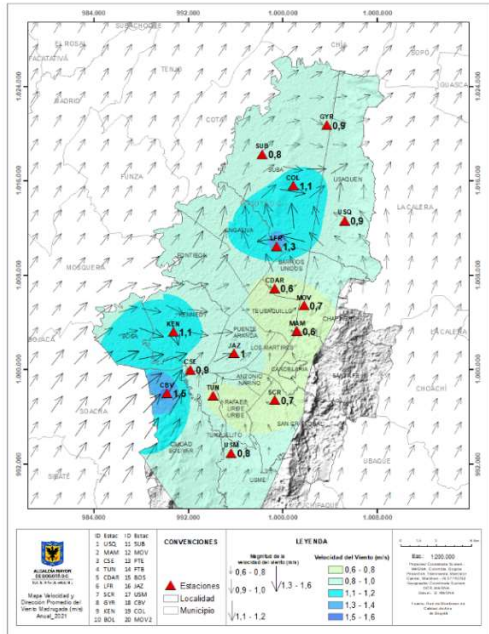
En la Figura 9-17 se presentan los mapas que permiten observar el comportamiento promedio de cada fracción del día durante el año. Las fracciones consideradas fueron así: de las 0 horas hasta las 6 am, madrugada; de las 6 am a las 12 m, mañana; de las 12 m a las 6 pm, tarde; y de las 6 pm hasta las 12 pm o 0 horas, noche. De acuerdo con esto, el comportamiento de los vientos en las diferentes fracciones del día durante el año 2021, fueron como a continuación se describe:

En las madrugadas de 2021 predominaron los vientos del suroccidente bordeando el andén occidental de la ciudad, con flujos divergentes que penetraron hasta el centro geográfico interactuando posiblemente con los vientos del sur y del suroriente. Al sur de la ciudad vientos del sur y suroccidente; en el flanco oriental, vientos del suroriente bordeando los cerros orientales para continuar hacia el norte, posiblemente evacuando la contaminación atmosférica residual con una baja eficiencia, dado que las velocidades del viento, entre 0,6 m/s y 1,5 m/s son consideradas relativamente bajas y características de dicha fracción del día. Ahora, no se descarta la introducción de material particulado y gases contaminantes desde fuentes externas a la ciudad de Bogotá y/o en las zonas periféricas del sur y del flanco occidental, debido a la componente sur y suroccidental de los vientos en las horas de la madrugada.

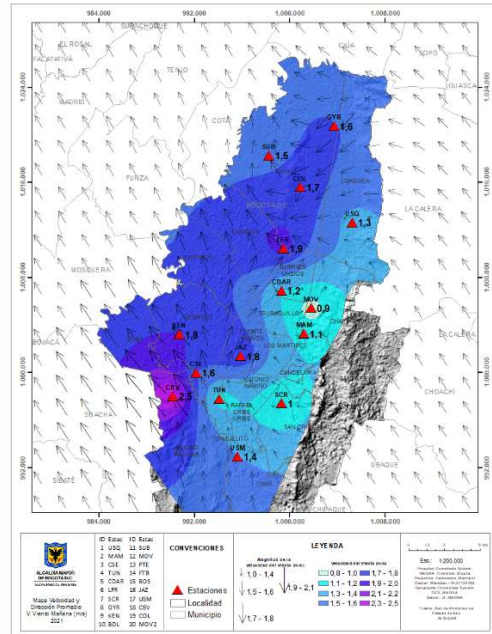
A diferencia del comportamiento promedio de los vientos en las horas de las madrugadas, en las horas de la tarde predominaron los vientos del suroriente y nororiente en toda la ciudad con algunas variaciones en cuanto a la componente norte o la componente sur. De esta manera hacia el norte de la ciudad hubo mayor predominio de los vientos del nororiente, en tanto que al sur de la ciudad se hicieron mayormente predominantes los vientos del suroriente. Naturalmente las velocidades en horas de la tarde adquirieron mayor vigor fluctuando entre 0,9 m/s hacia los cerros orientales y 2,5 m/s en el suroccidente de la ciudad donde normalmente se presentan las mayores velocidades del viento.

Con el caer de la tarde y el acumulamiento de la energía solar durante las horas anteriores, el aire adquiere mayor inercia generando velocidades mayores por lo que en esta fracción del día los vientos adquirieron velocidades medias de entre 1,3 m/s cerca a los cerros orientales junto a la estación Móvil 7ma y hasta 3,8 m/s en el sector suroccidental de la ciudad en la zona de influencia de la estación Ciudad Bolívar. Para esta fracción del día en promedio, los vientos tuvieron un predominio del suroccidente, posibilitando la ocurrencia de las lluvias durante las horas de la tarde como se observó en la Figura 9-1. El viento cargado de humedad colisiona con los cerros orientales, complementándose con condiciones de estabilidad atmosférica favorables, lo que resulta en lluvias en horas de la tarde por el ascenso y formación de nubes productoras de lluvia.

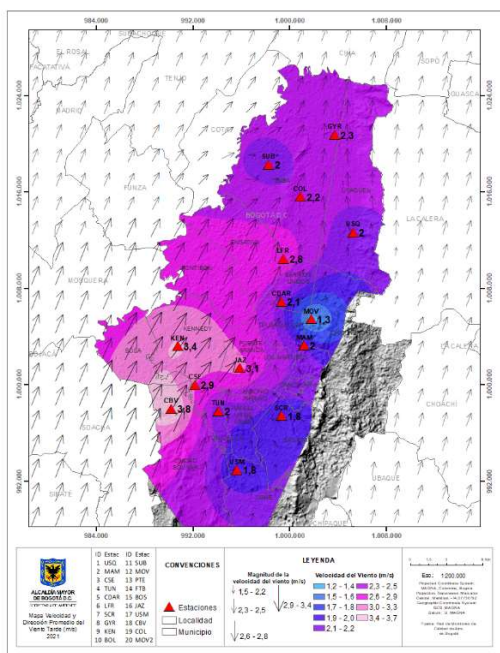
De acuerdo con los registros, se estima que en horas de la noche predominaron los vientos del oriente lo largo de los cerros orientales, pero al parecer vientos del suroccidente también hicieron presencia durante las horas de la noche, con el posible transporte o arrastre de los contaminantes descargados a la atmosfera en horas de la tarde, hacia el noroccidente y norte de la ciudad. Naturalmente, con un descenso en la velocidad del viento por la disminución de energía solar entrante.



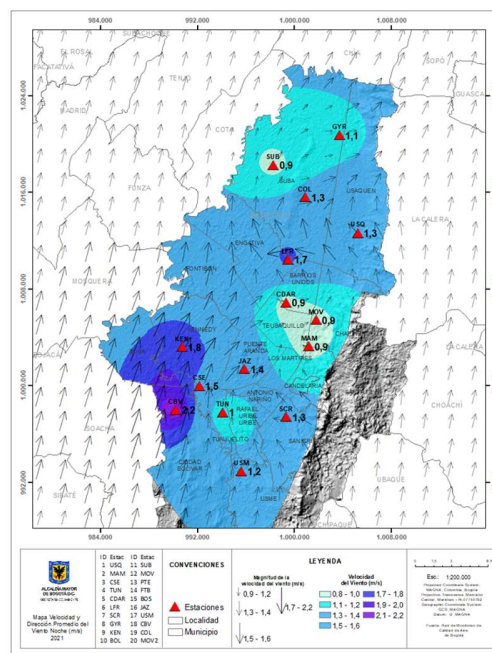
a) Madrugada



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 2021

9.3.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VIENTO

Complementariamente a la información que podrían aportar las rosas de los vientos, se presenta el mapa de la Figura 9-18 este mapa resume el comportamiento de los vientos durante la vigencia 2021, visualizando cuáles fueron las componentes del viento predominantes durante todo el año y las velocidades medias alcanzadas, las cuales estuvieron entre 1 m/s y 2,5 m/s. Así pues, se puede establecer que predominaron los vientos del suroccidente penetrando a la ciudad incluso hasta los cerros orientales en el sector norte.

En menor proporción se observa un predominio de los vientos del suroriente, de lo que se podría concluir que durante 2021 hubo un debilitamiento de los vientos alisios del suroriente, permitiendo la mayor influencia de los vientos de escala local provenientes del suroccidente.

En estos términos, posiblemente la ciudad se vio afectada por la introducción de contaminantes de fuentes externas y no se vio altamente favorecida por vientos que contribuyeran al transporte y arrastre de contaminantes por fuera de la ciudad como ocurre con frecuencia durante el ciclo anual.

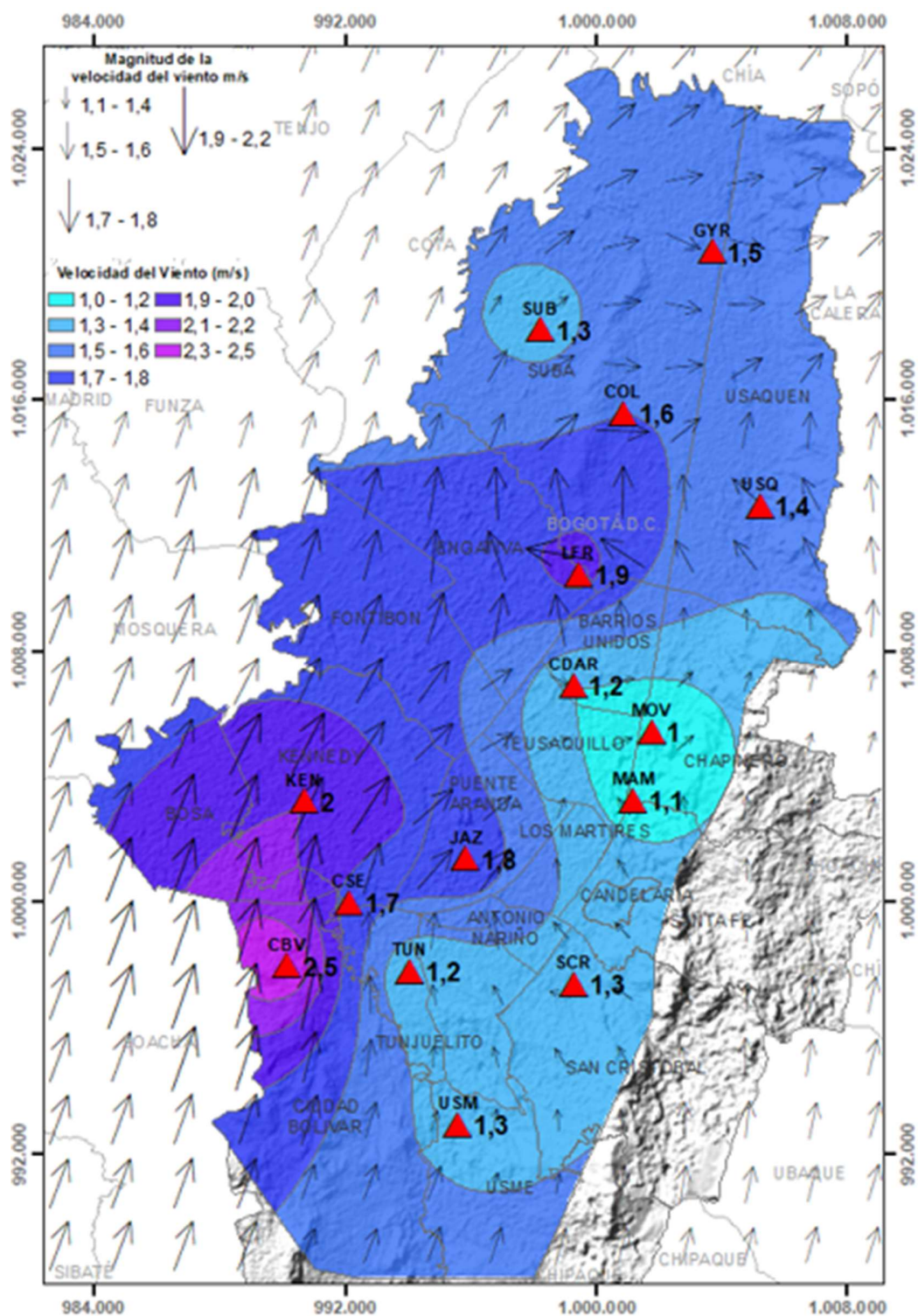


Figura 9-18 Mapa de dirección y velocidad promedio del viento – Año 2021

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 2021, contiene información de estaciones recientes y estaciones antiguas que hicieron parte de la RMCAB. Al comparar los valores históricos con el promedio de 2021, se puede observar que el promedio de este año no presentó una variación considerable, por el contrario, continúa presentando magnitudes similares a la de los años recientes como se puede evidenciar en la Figura 9-19.

De los resultados presentados en la Tabla 9-12 es importante anotar que las estaciones Bosa y Móvil Fontibón cuentan con valores indicativos dado que la representatividad de los datos es menor al 75%. Adicionalmente, estaciones nuevas como Jazmín y Ciudad Bolívar no se incorporaron al promedio por estación toda vez que el número de datos no es adecuado para ser promediados estadísticamente.

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 2021

Tabla 9-12 Comportamiento histórico de la velocidad del viento entre 2000 - 2021

Est.	BOS	CSE	CDAR	CBV	FTB	GYR	JAZ	KEN	LFR	MAM	MOV2	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ	USM	Prom.
2000	N.A.	0,9	N.A.	N.A.	2,4	N.A.	N.A.	N.A.	1,7	0,4	N.A.	N.A.	1,9	N.A.	1,4	N.A.	1,2	N.A.	1,4
2001	N.A.	1,3	N.A.	N.A.	2,8	N.A.	N.A.	N.A.	1,7	0,5	N.A.	N.A.	2,4	N.A.	1,4	N.A.	1,1	N.A.	1,6
2002	N.A.	1,2	N.A.	N.A.	2,8	0,6	N.A.	N.A.	1,6	0,5	N.A.	N.A.	2,4	N.A.	1,3	N.A.	1	N.A.	1,4
2003	N.A.	2,1	N.A.	N.A.	2,8	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2,6	N.A.	N.A.	N.A.	1,2	N.A.	2,2
2004	N.A.	N.A.	0,8	N.A.	2,7	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2,7	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2,1
2005	N.A.	N.A.	1,9	N.A.	2,8	N.A.	N.A.	N.A.	1,5	N.A.	N.A.	N.A.	2,8	N.A.	N.A.	N.A.	1,6	N.A.	2,1
2006	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2,9	N.A.	N.A.	1,5	1,4	N.A.	N.A.	N.A.	2,8	N.A.	1,3	N.A.	2,4	N.A.	2,1
2007	N.A.	1,8	1,1	N.A.	3,4	1,1	N.A.	1,5	1,4	N.A.	N.A.	N.A.	2,7	N.A.	1,5	2,1	1,8	N.A.	1,8
2008	N.A.	1,9	1,4	N.A.	2,7	1,2	N.A.	2,3	1,9	N.A.	N.A.	N.A.	2,7	N.A.	0,5	1,3	0,7	N.A.	1,7
2009	N.A.	2,4	1,7	N.A.	3	1,3	N.A.	2,7	2,1	1,2	N.A.	N.A.	2,9	N.A.	0,9	1,2	0,9	N.A.	1,8
2010	N.A.	2,1	1,5	N.A.	2,8	N.A.	N.A.	2,5	1,7	N.A.	N.A.	N.A.	2,7	1,1	1	1,2	1,2	N.A.	1,8
2011	N.A.	2,1	1,3	N.A.	2,9	0,9	N.A.	2,4	1,8	N.A.	N.A.	1,7	2,7	1,7	1,8	1,1	1,4	N.A.	1,8
2012	N.A.	2,4	1,4	N.A.	3	1	N.A.	2,6	1,9	N.A.	N.A.	2,7	2,2	1,8	2	1,1	1,6	N.A.	2,0
2013	N.A.	2,4	1,4	N.A.	3	1	N.A.	2,5	1,9	1,8	N.A.	2,9	2,1	2,2	2	1,1	1,6	N.A.	2,0
2014	N.A.	2,4	1,4	N.A.	N.A.	1,1	N.A.	2,6	1,8	1,8	N.A.	1,3	2,1	1,8	1,9	1	1,4	N.A.	1,7
2015	N.A.	2,6	1,5	N.A.	N.A.	1,1	N.A.	2,8	2	1,8	N.A.	1	2,3	1,2	1,9	1,2	1,7	N.A.	1,8
2016	N.A.	2	1,2	N.A.	N.A.	0,9	N.A.	2,4	1,7	1,5	N.A.	0,9	2,1	1,7	1,4	1,2	1,7	N.A.	1,6
2017	N.A.	2	1,2	N.A.	N.A.	0,9	N.A.	2,3	1,6	1,4	N.A.	1,2	1,9	1,6	1,3	1,1	1,6	N.A.	1,5
2018	N.A.	2	1,2	N.A.	N.A.	1	N.A.	2,3	1,6	N.A.	N.A.	1,1	2,2	1,5	1,4	1,2	1,6	N.A.	1,6
2019	N.A.	1,6	1,3	N.A.	N.A.	1,4	N.A.	2,4	1,6	1,3	N.A.	1,3	N.A.	1,5	1,2	1,4	1,6	N.A.	1,5
2020	2,4	1,1	1,2	N.A.	4,2	1,5	N.A.	2,3	1,8	1,2	N.A.	1,1	1,9	1,6	1,1	1,6	1,5	N.A.	1,8
2021	2,5	1,7	1,2	2,5	N.A.	1,5	1,8	2	1,9	1,1	1,4	1	1,8	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,6
Prom.	2,5	1,9	1,3	2,5	2,9	1,1	1,8	2,3	1,7	1,2	1,4	1,5	2,4	1,6	1,4	1,3	1,4	1,3	1,8

N.A.: no cumple criterio de representatividad.

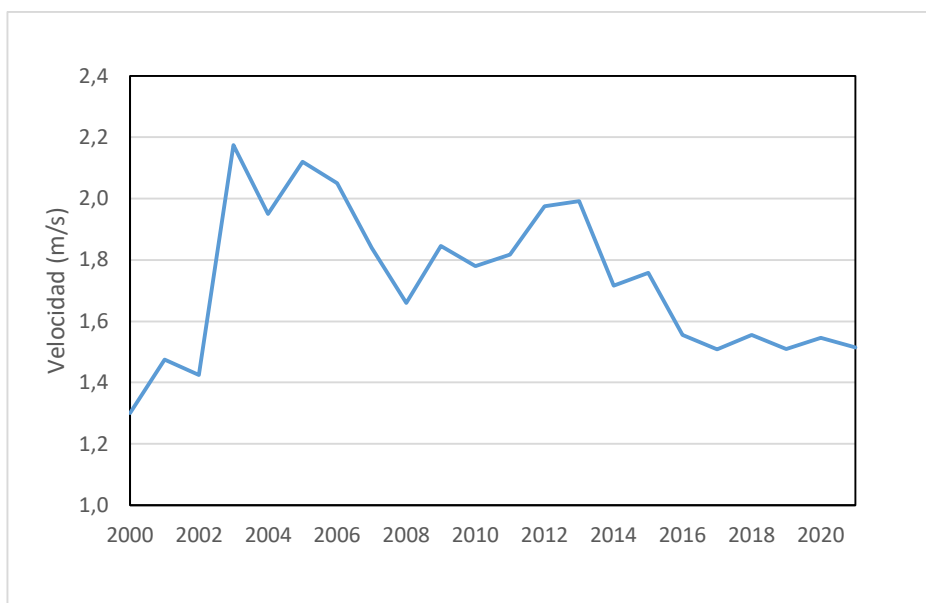


Figura 9-19 Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en Bogotá entre 2000 y 2021

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, 2010), 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

En la Figura 9-20 se evidencia que en Bogotá se acumuló en promedio aproximadamente 1,5 GW/m². La mayor cantidad de energía se recibió durante el primer mes del año, superando mínimamente el promedio multianual de 2009 a 2021. Comparado con el año anterior, el total

acumulado fue inferior, en los meses siguientes la cantidad de radiación solar se mantuvo por debajo de los registros de 2020 y ligeramente por encima el promedio multianual.

Por lo anterior, las temperaturas superficiales durante el año 2021 mostraron una disminución con respecto al año 2020.

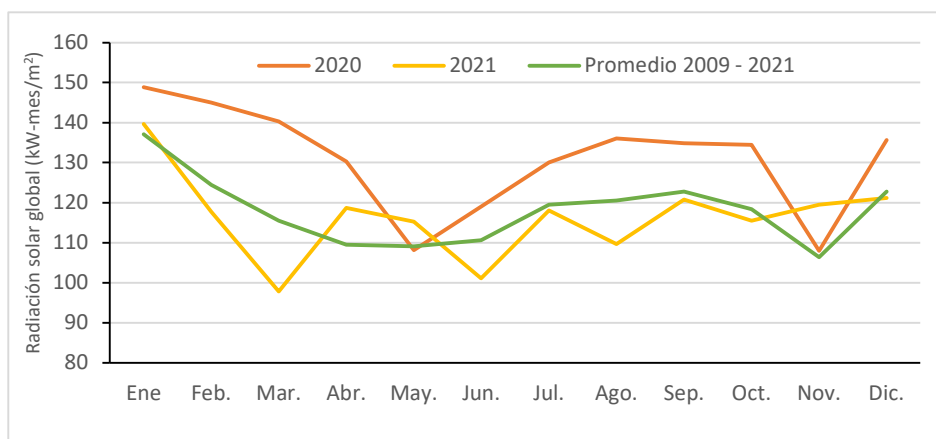


Figura 9-20 Comportamiento mensual de la radiación solar en 2020 y 2021 vs. Promedio 2009 a 2021

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 la ciudad por cada una de las estaciones y el acumulado promedio diario por estación, en esta se puede observar que en un día promedio se recibieron hasta 620 W/m^2 en la hora de mayor incidencia en la estación San Cristóbal. Por otra parte, en la Figura 9-21 se puede observar gráficamente el perfil promedio horario del año en toda la ciudad y los totales acumulados por estación, en dicho perfil se evidencia que las horas en la cuales se acumula mayor cantidad de energía en la ciudad son entre las 11 am y la 1 pm. De manera que, en las horas de la madrugada y la noche esta cantidad de energía tiende a cero.

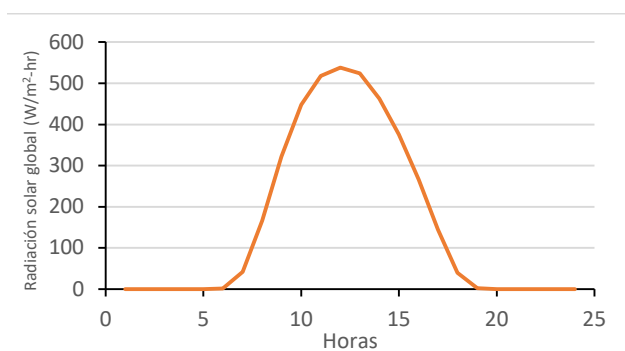
Con la acumulación de energía sobre todo en las horas de la tarde, los vientos incrementan su magnitud, así como los procesos convectivos y turbulentos, que constituyen los mecanismos para la depuración de la atmósfera de la ciudad.

En cuanto a la acumulación promedio durante un día, se puede observar que las estaciones San Cristóbal y Guaymaral fueron las que mayores acumulados registraron con totales de 4659 W/m^2 y 4429 W/m^2 , respectivamente. En 2021 las estaciones Usme y Jazmín reportaron datos que superaron el porcentaje de representatividad temporal requerido, sin embargo, la estación Bosa no contó con la misma representatividad ya que esta variable se monitoreó hasta agosto por inconvenientes de orden público.

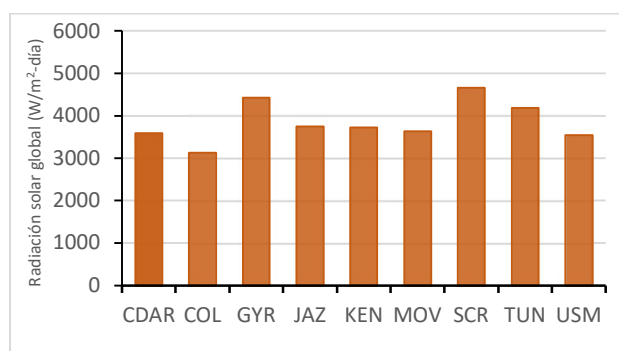
Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB
INFORME ANUAL DE CALIDAD DEL AIRE

Tabla 9-13 Cantidad de energía recibida durante el día – Año 2021

Hora	CDAR	COL	GYR	JAZ	KEN	MOV	SCR	TUN	USM	Prom.
	W-hr/m ²	W-hr/m ²	W-hr/m ²	W-hr/m ²	W-hr/m ²	W-hr/m ²	W-hr/m ²	W-hr/m ²	W-hr/m ²	
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	1	4	1	1	0	1	1	1	1	1
7:00	50	42	50	46	38	33	26	49	41	42
8:00	183	153	221	168	166	139	126	183	162	167
9:00	322	293	410	306	315	309	309	333	297	322
10:00	421	394	546	422	440	461	502	444	400	448
11:00	480	436	620	488	492	531	630	527	460	518
12:00	486	436	604	527	503	539	687	574	486	538
13:00	470	419	574	511	509	504	663	580	486	524
14:00	413	357	502	460	465	426	582	534	422	462
15:00	338	278	408	374	372	342	485	429	355	376
16:00	247	188	296	263	259	216	355	311	260	266
17:00	140	100	159	146	138	105	200	173	140	144
18:00	37	26	39	39	33	28	76	46	34	40
19:00	0	0	0	0	0	0	16	1	1	2
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3589	3125	4429	3752	3729	3635	4659	4186	3546	



a) Perfil horario



b) Total acumulado por día

Figura 9-21 Cantidad de radiación solar recibida en promedio día durante 2021

a) perfil horario; b) radiación acumulada por cada estación.

9.4.3. PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR

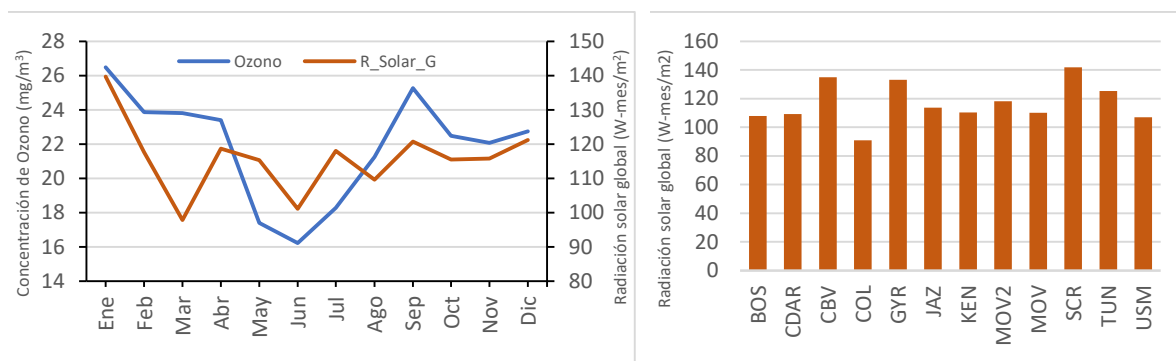
En la Tabla 9-14 se presenta un consolidado de los totales acumulados mensuales por cada una de las estaciones, así mismo, en la Figura 9-22 se detallan las variaciones mensuales de radiación solar durante el año. En la Tabla 9-14 se observa que los meses con mayores acumulados fueron enero y septiembre, entretanto, las cantidades de radiación solar registradas en la mitad del año fueron relativamente bajas en comparación con el año anterior. De la misma forma, el mes de febrero registro bajas cantidades de radiación solar. Este comportamiento está asociado con la presencia o ausencia de nubosidad en la bóveda celeste que cubre la ciudad. 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.

Contemplando la influencia de la radiación solar en las concentraciones de ozono en la Figura 9-22, se evidencia el perfil de las concentraciones de ozono promedio de 2021. Este perfil permite observar que, así como durante los meses de enero y septiembre se presentaron altos acumulados de radiación solar, así mismo las mayores concentraciones promedio de ozono se presentaron en dichos meses.

Tabla 9-14 Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m²) – Año 2021

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
BOS	138,7	115,7	94,8	114,0	115,2	101,1	117,7	66,5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	107,9
CDAR	135,4	104,5	89,0	107,5	110,8	101,8	110,6	105,7	110,0	109,0	111,8	113,6	109,1
CBV	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	107,9	149,3	139,5	137,9	140,2	135,0
COL	81,3	118,4	104,7	117,0	107,7	78,6	81,8	78,8	83,1	79,4	81,0	79,4	90,9
GYR	168,0	139,2	115,9	124,9	128,9	116,8	119,9	127,8	134,2	130,3	146,9	145,2	133,2
JAZ	140,9	108,5	90,1	116,5	113,9	108,1	119,5	113,7	118,8	110,3	112,1	111,3	113,6
KEN	146,9	116,4	96,3	121,4	103,5	85,5	111,1	111,3	108,0	101,8	111,4	110,0	110,3
MOV2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	33,8	129,8	124,0	125,9	133,5	134,5	145,4	118,1
MOV	138,5	98,6	78,7	102,6	105,7	109,7	129,1	110,7	119,3	107,8	110,3	109,9	110,1
PTE	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	75,2	125,9	100,5
SCR	178,6	145,3	119,0	150,5	140,4	140,9	144,9	138,5	143,1	131,7	131,0	136,5	141,7
TUN	149,6	122,3	99,7	123,0	124,4	126,8	129,5	126,2	127,5	120,0	130,3	123,6	125,2
USM	118,8	108,1	90,2	109,3	102,1	109,4	104,6	104,5	108,8	106,8	107,3	113,3	106,9
Prom.	132,9	117,3	98,9	116,0	115,3	101,3	109,9	100,1	119,1	113,7	117,9	117,9	115,0

N.A.: no cumple criterio de representatividad.



a) Comportamiento promedio mensual

b) Acumulado por estación

Figura 9-22 Comportamiento mensual de la radiación - Año 2021

a) promedio mensual Radiación Solar Vs concentración promedio mensual de Ozono; b) totales mensuales acumulados.

9.4.4. PROMEDIOS HISTÓRICOS DE RADIACIÓN SOLAR

En la Tabla 9-15 se presenta el comportamiento multianual de los totales acumulados en la ciudad entre los años 2009 y 2021, de manera gráfica en la Figura 9-23 se evidencia la distribución anual, y los totales anuales acumulados por cada una de las estaciones. En 2021 las cantidades de radiación solar tienen aumentos por encima de las cantidades acumuladas en los años 2015 – 2020.

Tabla 9-15 Radiación solar acumulada anual en GW-año/m² periodo 2009 – 2021

ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio
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	1,31	1,38
GYR	1,63	N.A.	N.A.	1,58	1,55	1,51	1,49	1,68	1,64	1,41	1,34	1,71	1,60	1,56
KEN	N.A.	1,26	1,06	1,30	1,38	1,44	1,52	1,33	1,46	N.A.	0,80	1,51	1,32	1,31
MOV	N.A.	N.A.	N.A.	1,14	1,44	0,97	1,05	1,10	1,01	1,55	1,55	1,23	1,32	1,24
SCR	N.A.	N.A.	N.A.	0,83	N.A.	1,48	1,86	1,87	1,74	1,82	1,82	1,96	1,70	1,68
TUN	N.A.	1,21	1,34	1,40	1,39	1,37	1,38	1,47	1,28	1,42	1,56	1,67	1,50	1,42
BOS*	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0,36	N.A.	
USM*	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0,34	1,28	
JAZ*	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0,35	1,36	
Prom.	N.A.	1,26	1,25	1,29	1,45	1,36	1,47	1,50	1,41	1,50	1,38	1,57	1,39	1,42

* Son indicativos. Numero de datos insuficientes para promediar. N.A.: no cumple criterio de representatividad

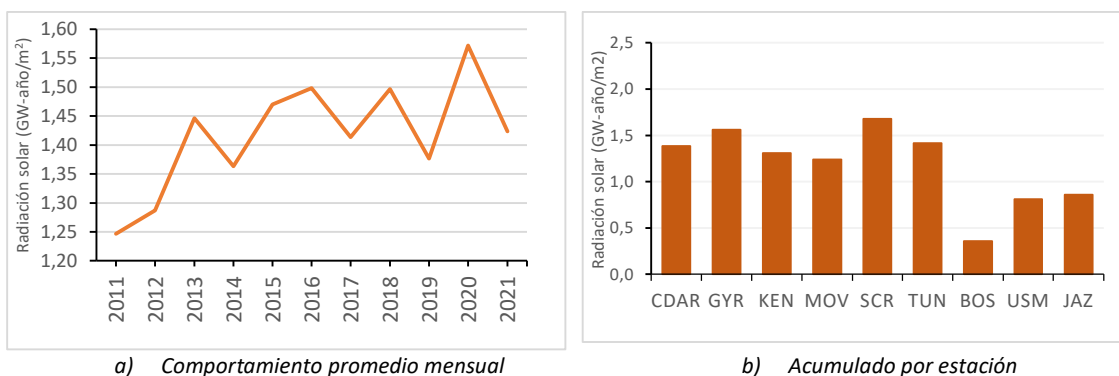


Figura 9-23 Comportamiento anual de la radiación en 2021
a) promedio anual; b) totales anuales acumulados

9.5. PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión atmosférica es la fuerza ejercida por la atmósfera 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 encima 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, este desciende, haciendo aumentar la presión y en consecuencia la estabilidad de la atmósfera. De manera contraria, cuando el aire incrementa su temperatura, 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. La presión es una variable relativamente homogénea en el espacio, y su variación está asociada al calentamiento del aire por parte del flujo radiativo solar, el cual determina su variabilidad durante el día.

9.5.1. PROMEDIOS ANUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En 2021 el comportamiento de la presión atmosférica mostró una reducción con respecto al año anterior y respecto al promedio mensual multianual 2010 - 2021. Las presiones más bajas se presentaron en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, mientras que las mayores presiones se presentaron en julio y agosto (564 mmHg). A diferencia del año anterior, mientras las máximas presiones se presentaron en los meses de abril y mayo de 2021 y estuvieron dentro de la normalidad del ciclo anual, como se puede apreciar en la Figura 9-24 y la Tabla 9-16. Posiblemente las bajas presiones registradas durante este año están asociadas con los altos registros de precipitación.

Tabla 9-16 Comportamiento de la presión media mensual multianual 2010 – 2021

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2010	564	564	565	565	565	565	565	565	565	565	564	564	565
2011	564	564	564	564	564	565	565	565	565	564	564	564	564
2012	564	564	564	564	565	565	565	565	565	564	564	564	564
2013	564	564	565	565	565	565	565	565	565	564	563	564	564
2014	564	563	564	564	564	564	565	564	564	564	563	564	564
2015	564	564	564	564	564	564	564	564	564	564	563	564	564
2016	564	564	564	564	565	565	564	564	564	563	563	563	564
2017	563	564	564	564	564	564	565	564	564	563	563	563	564
2018	563	563	563	564	564	564	564	565	564	564	563	564	564
2019	564	563	564	564	564	565	565	564	564	563	563	563	564
2020	564	564	564	564	564	564	564	564	564	563	563	563	564
2021	562	562	562	562	563	563	564	564	563	563	562	562	563
Prom. 2010 - 2021	564	563	564	564	564	564	564	564	564	564	563	563	564

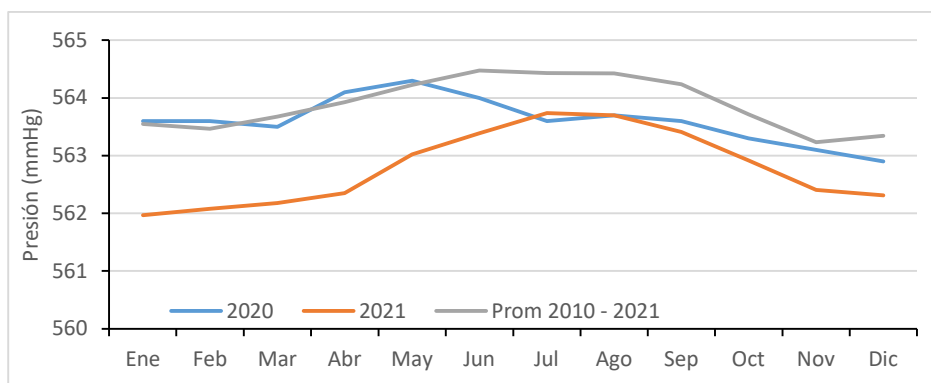


Figura 9-24 Comportamiento mensual de la presión en 2020 y 2021 frente al promedio mensual multianual 2010 – 2021

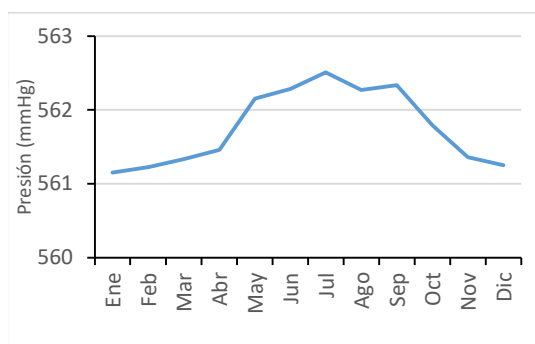
9.5.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En la Tabla 9-17 se presentan los valores medios mensuales de 2021, tanto al principio como al final del año, se evidenciaron menores presiones con una media mensual a nivel ciudad de 563 mmHg. Así mismo, dada su poca variabilidad se observa que en toda la ciudad la presión estuvo alrededor de los 563 y los 564 mmHg.

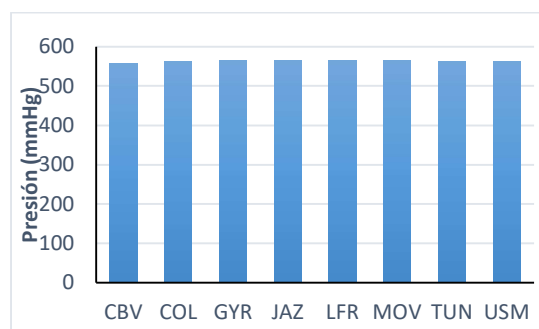
Tabla 9-17 Comportamiento promedio mensual de la presión - Año 2021

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
BOS	564	564	564	564	565	565	565	566	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	565
CBV	556	556	556	557	557	557	558	558	557	557	557	557	557
COL	562	563	563	563	564	564	564	564	564	563	563	563	563
FTB	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	565	565	565	565	564	564	N.A.
GYR	563	563	563	564	564	564	565	564	565	564	563	563	564
JAZ	563	563	563	563	564	564	564	564	564	564	563	563	564
KEN	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
LFR	563	564	564	564	564	565	565	565	565	564	564	563	564
MOV2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	565	566	565	565	565	564	564	N.A.
MOV	562	562	562	562	563	563	563	563	563	562	562	562	562
PTE	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	562	562	N.A.
TUN	563	563	563	563	564	564	564	564	564	563	563	563	563
USM	561	561	561	561	562	562	563	562	562	562	561	561	562
Prom.	562	562	562	562	563	563	564	564	563	563	562	562	563

N.A.: no cumple criterio de representatividad



a) Promedio mensual ciudad 2021



b) Promedio anual por estación 2021

Figura 9-25 Comportamiento medio mensual de la presión atmosférica – Año 2021
a) promedio ciudad; b) promedio por estación

9.5.3. PROMEDIOS DIARIOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

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 en la Figura 9-26, la presión en la ciudad varía regularmente entre las 10 de la mañana y las 10 de la noche aproximadamente, por lo cual se considera que su variación es semi-diurna. En cada período de 12 horas se tienen dos máximos y dos mínimos.

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 DE CALIDAD DEL AIRE

El máximo más alto ocurre a las 10 de la mañana y el mínimo a las 4 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 convectiva, que son los mecanismos principales de la atmósfera para mezclar y transportar los contaminantes que se encuentran en la capa límite planetaria. Por ello en las tardes, la atmósfera de la ciudad es más eficiente en la remoción de contaminantes atmosféricos.

En cuanto al comportamiento espacial, las presiones más bajas en promedio día durante el año se localizaron hacia el suroccidente de la ciudad representadas por la estación Ciudad Bolívar con 557 mmHg, lo que resulta coherente con la altura a la cual se encuentra la zona donde se ubica la estación (100m) con respecto al nivel medio de la sabana de Bogotá. En cuanto a las estaciones Bosa, Usme y Jazmín sus promedios son coherentes a los valores históricos registrados en las antiguas estaciones la RMCAB.

Tabla 9-18 Variación de la presión horaria – Año 2021

Hora	CBV	COL	GYR	JAZ	LFR	MOV	TUN	USM	Prom. (mmHg)
	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	
1:00	557	564	564	564	564	565	563	564	563
2:00	557	563	564	564	564	565	562	563	563
3:00	557	563	564	563	564	565	562	563	562
4:00	556	563	564	563	564	564	562	563	562
5:00	557	563	564	563	564	565	562	563	563
6:00	557	563	564	564	564	565	562	563	563
7:00	557	564	564	564	564	565	563	564	563
8:00	558	564	565	564	565	566	563	564	564
9:00	558	564	565	565	565	566	563	564	564
10:00	558	564	565	565	565	566	563	564	564
11:00	558	564	565	564	565	566	563	564	564
12:00	557	564	564	564	564	565	563	564	563
13:00	557	563	564	564	564	565	562	563	563
14:00	556	563	563	563	563	564	561	563	562
15:00	556	562	563	562	563	564	561	562	562
16:00	556	562	563	562	563	563	561	562	561
17:00	556	562	563	562	563	563	561	562	561
18:00	556	562	563	563	563	564	561	562	562
19:00	556	563	563	563	563	564	562	563	562
20:00	557	563	564	564	564	565	562	563	563
21:00	557	564	564	564	564	565	563	564	563
22:00	558	564	565	564	565	566	563	564	564
23:00	558	564	565	565	565	566	563	564	564
24:00	558	564	565	564	565	566	563	564	564
Prom.	557	563	564	564	564	565	562	563	563

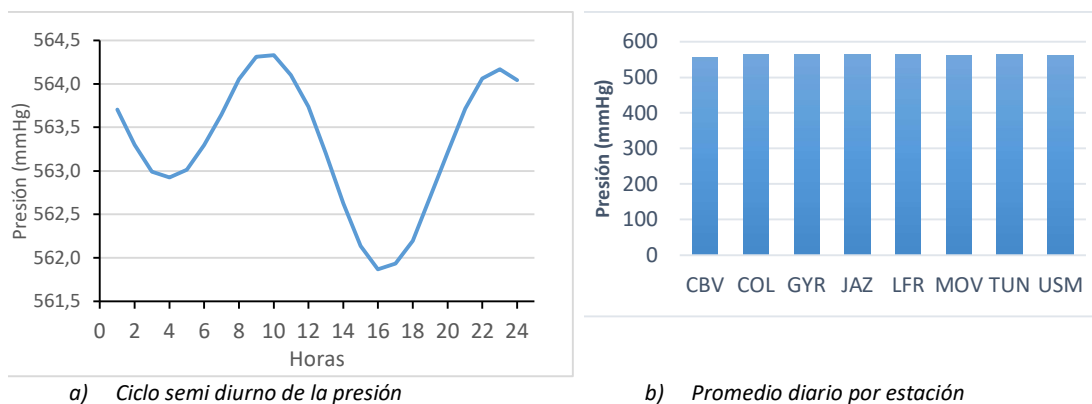


Figura 9-26 Comportamiento del ciclo semi-diurno de la presión atmosférica - Año 2021

9.5.4. PROMEDIOS ANUALES HISTORICOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Anualmente se estima que los niveles de presión en la ciudad, en promedio, varían entre 563 y 565 mmHg. Se observa un descenso de aproximadamente 1 mmHg en los niveles de presión atmosférica, con respecto al año anterior como se puede visualizar en la Figura 9-27.

Tabla 9-19 Comportamiento multianual de la presión atmosférica en la ciudad 2009 – 2021

Estación	BOS	CBV	COL	FTB	GYR	JAZ	KEN	LFR	MOV2	MOV	PTE	TUN	USM	Prom.
2009	N.A.	N.A.	564	N.A.	565	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	565
2010	N.A.	565	564	564	565	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	565
2011	N.A.	565	564	564	564	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	564
2012	564	565	564	564	564	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	564
2013	564	566	564	564	565	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	565
2014	562	N.A.	564	564	565	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	564
2015	562	N.A.	564	564	565	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	564
2016	563	N.A.	564	564	565	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	564
2017	562	N.A.	564	564	565	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	564
2018	562	N.A.	564	564	564	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	564
2019	562	N.A.	564	N.A.	564	564	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	564
2020	562	N.A.	564	N.A.	564	564	564	561	557	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	564
2021	N.A.	557	563	N.A.	564	564	N.A.	564	N.A.	562	N.A.	563	562	562
Prom.	563	564	564	564	565	564	564	563	557	562	N.A.	563	562	564

N.A.: no cumple criterio de representatividad

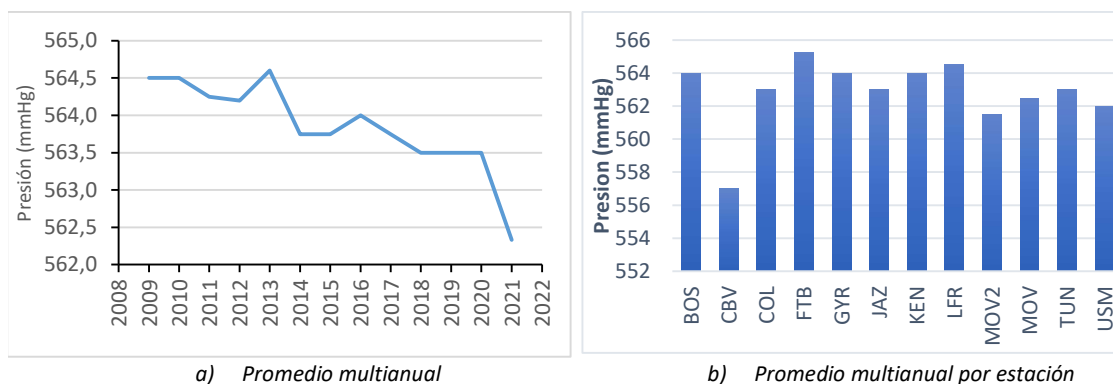


Figura 9-27 Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2021

9.6. HUMEDAD

Es 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 en el aire, 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 SO_x y NO_x, 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, cuando este sistema productor de lluvias por excelencia 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 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. De esta manera, como se observa en la Figura 9-28, se observa un incremento en las cantidades de humedad respecto del promedio multianual. Esta cantidad de humedad está relacionada con la cantidad de agua precipitada en todo el año.

Tabla 9-20 Comportamiento de la humedad mensual multianual 2010 - 2021

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	61	64	65	73	73	70	71	67	69	69	74	70
2011	66	68	69	71	68	65	65	62	64	70	73	67
2012	66	64	65	69	64	60	63	64	60	64	65	64
2013	62	67	65	66	68	63	62	64	63	64	69	68
2014	66	63	64	62	64	64	62	62	61	65	67	65
2015	61	62	65	63	62	64	62	61	58	60	65	58
2016	61	59	62	67	65	62	61	61	62	64	69	65
2017	64	60	69	62	67	67	64	62	61	64	69	65
2018	64	64	64	70	69	65	65	63	64	68	70	61
2019	63	63	67	68	66	65	60	60	61	64	66	64
2020	63	61	65	65	66	65	66	64	64	63	71	66
2021	62	65	70	65	69	68	66	68	65	69	71	67
Prom.	63	63	66	67	67	65	64	63	63	65	69	65

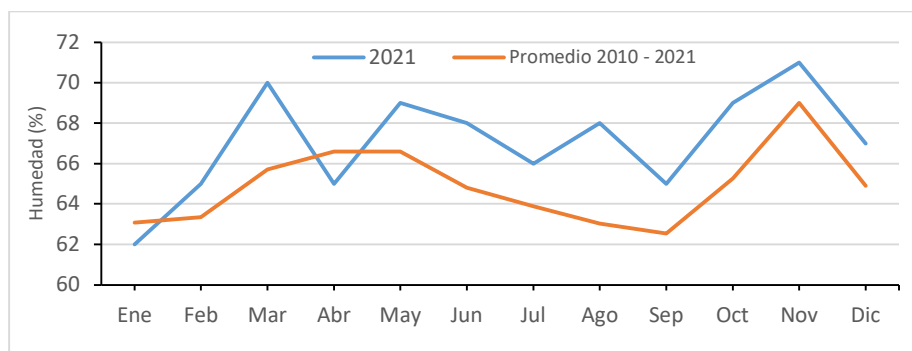


Figura 9-28 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2021 vs. Promedio mensual multianual 2010 - 2021

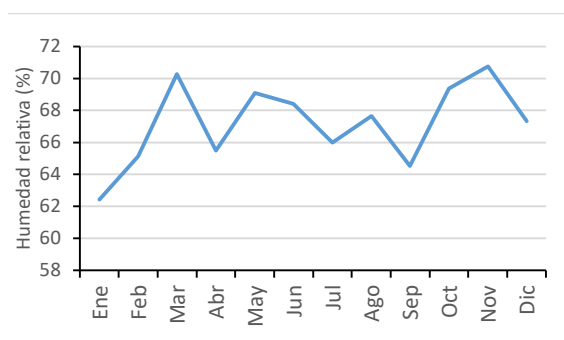
9.6.2. PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD

En 2021 la atmósfera presentó condiciones relativamente secas en los dos primeros meses, sobre todo durante el mes de enero, en marzo abril y mayo la humedad superó los promedios históricos. Aunque hubo mayor disponibilidad de humedad durante el mes de marzo, esta no se vio reflejada proporcionalmente en la cantidad de agua precipitada, a diferencia de los registros de precipitación del mes de mayo donde hubo menor disponibilidad de humedad que durante el mes de marzo, pero las lluvias fueron más abundantes. En el segundo semestre la correlación entre la cantidad de humedad y la cantidad de agua precipitada fue más estrecha.

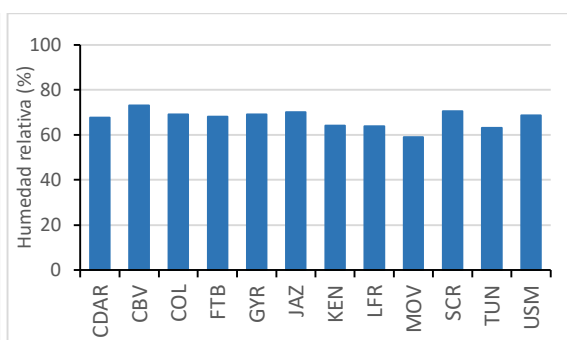
En cuanto a su distribución espacial, Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Jazmín fueron las estaciones en las que se registró la mayor cantidad de humedad, mientras que en la Móvil 7ma se presentaron las menores cantidades.

Tabla 9-21 Comportamiento mensual de la humedad por estación – Año 2021

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
CDAR	65	67	71	66	68	68	65	67	65	71	71	68	68
CBV	69	72	78	71	76	74	73	75	69	73	75	75	73
COL	63	66	72	68	71	71	68	69	67	67	73	70	69
FTB	65	67	72	67	69	69	65	68	65	71	72	68	68
GYR	66	67	71	69	71	70	68	68	68	70	71	69	69
JAZ	59	63	71	66	72	73	69	72	68	77	78	74	70
KEN	60	63	67	63	64	66	61	64	61	67	68	65	64
LFR	61	63	67	63	65	65	61	64	61	66	67	64	64
MOV	55	58	63	58	60	60	58	59	56	62	62	58	59
SCR	65	68	74	69	74	71	72	72	68	72	72	69	71
TUN	59	61	66	62	66	64	62	63	60	66	66	63	63
USM	62	66	72	66	73	70	71	70	66	70	74	67	69
Prom.	62	65	70	65	69	68	66	68	65	69	71	67	67



a) Promedio mensual 2021



b) Promedio por estación 2021

Figura 9-29 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2021:

a) promedia ciudad; b) promedio por estación

9.6.3. PROMEDIOS DIARIOS DE HUMEDAD

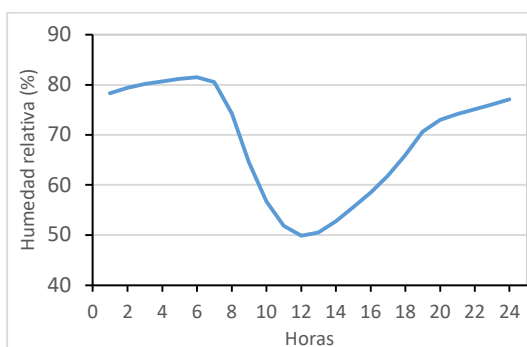
Respecto al comportamiento diario anual de la humedad, dada su relación inversa con la temperatura, en las horas de la madrugada y la noche, es normal que la atmósfera se sature por el descenso de la temperatura, alcanzando el pico más alto de humedad conforme ocurre el valor más bajo de temperatura, es decir, entre las 5 y las 6 de la madrugada. De manera contraria, conforme el aire se calienta se hace más seco y la humedad relativa disminuye (Tabla 9-22 y Figura 9-30a).

De acuerdo con el promedio mensual, a nivel diario, las estaciones con mayores valores de humedad fueron Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Jazmín durante el año 2021.

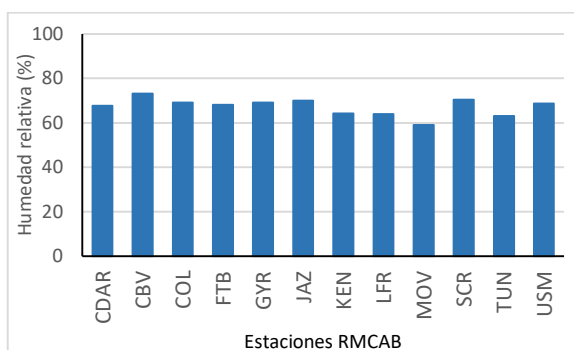
Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB
INFORME ANUAL DE CALIDAD DEL AIRE

Tabla 9-22 Variación de la humedad horaria - Año 2021

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



a) Perfil horario anual



b) Promedio horario por estación

Figura 9-30 Comportamiento de la humedad relativa horaria en 2021:
a) perfil horario; b) promedio por estación

9.6.4. PROMEDIOS HISTÓRICOS ANUALES DE HUMEDAD

En cuanto al comportamiento histórico anual de la humedad en 2021, se observa una ligera disminución con respecto al año anterior como se puede apreciar en la Tabla 9-23 y en la Figura 9-31. Este ligero cambio se pudo dar por la variabilidad del elemento meteorológico en el tiempo.

Tabla 9-23 Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente – Año 2021

Año	BOS	CDAR	CBV	COL	FTB	GYR	JAZ	KEN	LFR	MOV	SCR	TUN	USM	Prom.
2009	N.A.	69	N.A.	N.A.	N.A.	72	N.A.	68	66	N.A.	N.A.	67	N.A.	68
2010	N.A.	71	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	69	67	N.A.	N.A.	68	N.A.	69
2011	N.A.	69	N.A.	N.A.	N.A.	65	N.A.	70	67	N.A.	N.A.	67	N.A.	68
2012	N.A.	66	N.A.	N.A.	N.A.	63	N.A.	66	64	64	61	64	N.A.	64
2013	N.A.	67	N.A.	N.A.	N.A.	63	N.A.	66	63	62	N.A.	64	N.A.	64
2014	N.A.	67	N.A.	N.A.	N.A.	66	N.A.	65	63	60	59	63	N.A.	63
2015	N.A.	62	N.A.	N.A.	N.A.	64	N.A.	57	57	53	55	58	N.A.	58
2016	N.A.	70	N.A.	N.A.	N.A.	69	N.A.	67	64	58	59	64	N.A.	64
2017	N.A.	68	N.A.	N.A.	N.A.	68	N.A.	65	64	58	72	62	N.A.	65
2018	N.A.	67	N.A.	N.A.	N.A.	68	N.A.	64	63	59	72	63	N.A.	65
2019	N.A.	66	N.A.	N.A.	69	68	N.A.	61	63	59	N.A.	63	N.A.	64
2020	84	67	78	N.A.	67	68	74	62	63	58	70	62	74	69
2021	N.A.	68	73	69	68	69	70	64	64	59	71	63	69	67
Prom.	84	67	76	69	68	67	72	65	64	59	65	64	72	69

N.A.: no cumple criterio de representatividad

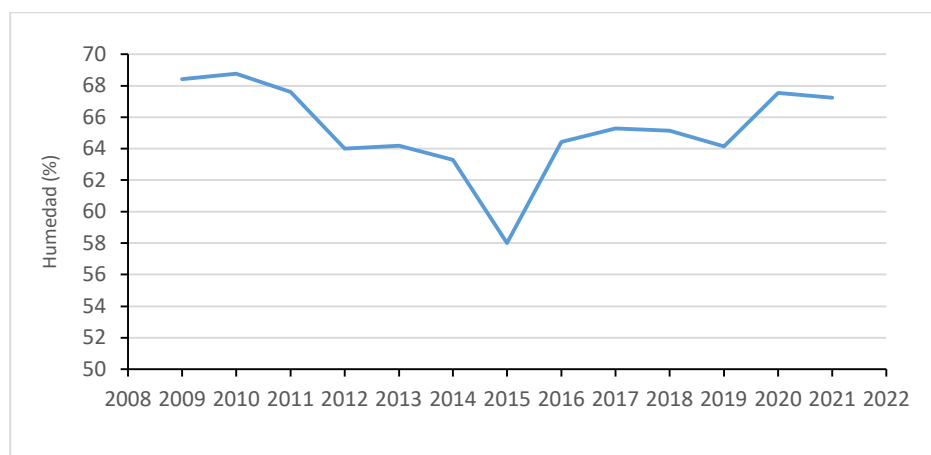


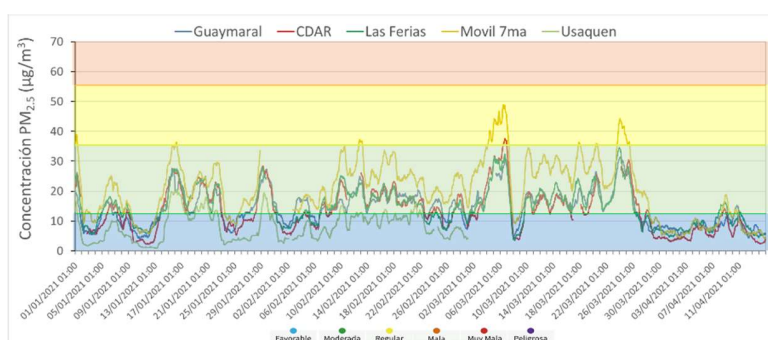
Figura 9-31 Comportamiento histórico de la humedad relativa promedio multianual

10. EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Durante el año 2021 no se realizó la declaración de alertas ambientales por contaminación atmosférica, ya que no se registraron las condiciones para establecer los niveles de alerta en la ciudad. El primer trimestre, en el cual se registran usualmente las concentraciones más altas de material particulado, estuvo influenciado por la llegada de precipitaciones en febrero y marzo, que atenuaron las concentraciones en varias zonas de la ciudad con respecto a años anteriores.

En las siguientes gráficas se muestran las concentraciones como promedio móvil 24 horas de $PM_{2.5}$ para dos periodos, entre enero y abril 14 y entre abril 15 y diciembre de 2021, ya que en abril 15 inició la vigencia de la Resolución 868 de 2021, mediante la cual se cambiaron los colores y los estados de alerta de calidad del aire en la ciudad. Por ello, en el primer periodo se muestran las concentraciones con los estados de calidad del aire de la Resolución 2410 de 2015, en las cuales se observa una prevalencia de la condición “moderada” en verde de la mayoría de las estaciones, solamente en las estaciones Carvajal – Sevillana y Kennedy se observaron varios datos en “regular” durante febrero y marzo principalmente, y algunos datos en la primera y cuarta semana del mes en la estación Móvil 7ma.

El incremento mencionado estuvo asociado a incendios forestales en el oriente y norte de la ciudad, y a la reactivación de varias actividades en el Distrito al final del mes de marzo. En el inicio del mes de abril hubo una reducción notable de las concentraciones, con lo cual predominó la condición “favorable” en azul; en el inicio del segundo semestre del año las condiciones meteorológicas favorecen la dispersión de contaminantes, por lo cual se observó una reducción generalizada de las concentraciones en 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 – RMCAB
INFORME ANUAL DE CALIDAD DEL AIRE

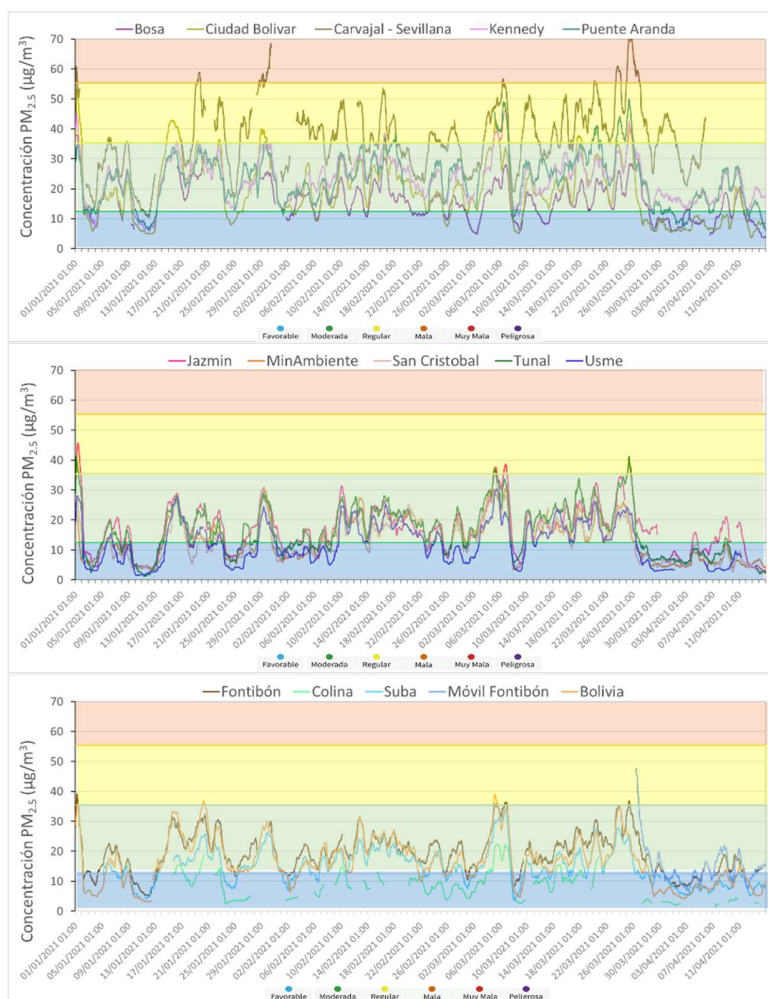


Figura 10-1 Concentraciones media móvil 24h de PM2.5 - enero - abril 15 de 2021

En la Figura 10-2 se representan las concentraciones promedio media móvil 24h de PM_{2.5} para el periodo entre el 15 de abril y diciembre de 2021, con los colores actualizados de acuerdo con la Resolución 868 de 2021. Se observa que en la zona suroccidental hasta el mes de julio se presentaron varios registros en la condición “favorable” en verde, y desde este mes se evidenció un incremento gradual de las concentraciones en el resto del segundo semestre del año, con los valores más altos en la última semana de noviembre, predominando las concentraciones en la condición “moderada” en amarillo.

En la zona norte y occidente se observó un comportamiento similar, pero con concentraciones de menor magnitud en el segundo semestre, en la zona nororiental, oriental y suroriental la condición “favorable” predominó incluso hasta finales de septiembre y mediados de octubre, y se observó un incremento gradual en menor proporción en la mitad occidental de la ciudad, con los valores más altos en noviembre de 2021.

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 DE CALIDAD DEL AIRE

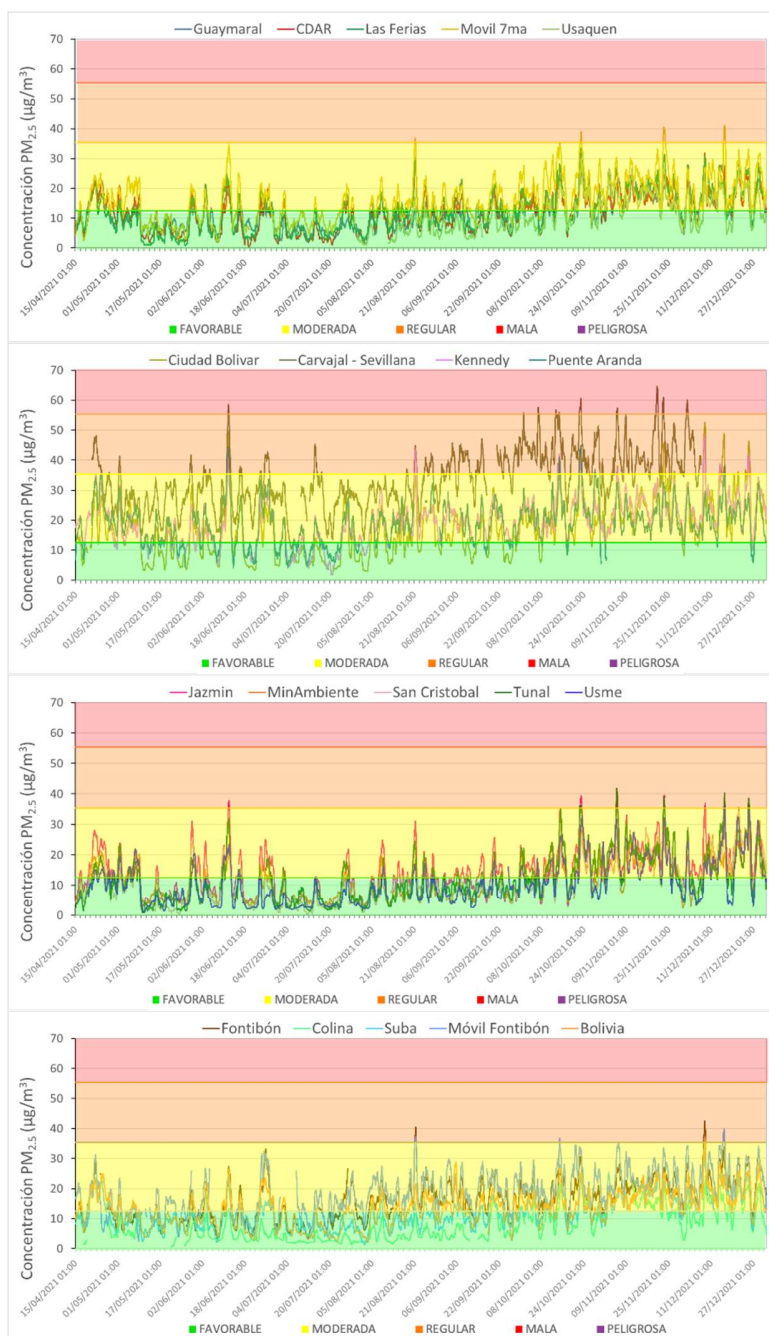


Figura 10-2 Concentraciones media móvil 24h de PM2.5 - abril 15 - diciembre de 2021

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 la región de Las Américas en 2016. Se distinguen grandes diferencias entre grupos de población y zonas 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) (Organización Panamericana de la Salud - OPS, 2021).

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 saludables (Dimensión de Salud Ambiental, Plan Decenal de Salud Pública, 2012 - 2021).

El Plan de Desarrollo Distrital de Bogotá 2020-2024 denominado “El Plan que nos Reactiva” busca 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 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 contaminación (Plan de Desarrollo: Mejorar la calidad el aire 10%, prioridad para esta administración. , 2020 - 2024).

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 Ambiental (Secretaria Distrital de Salud, 2011).

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 Tabla 11-1 que reorganizaron la oferta pública de prestación de servicios de salud de la ciudad, por medio del Decreto 641 de 2016.

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

Norte	Centro Oriente	Suroccidente	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



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 en el aire que tiene un diámetro de 2.5 micras que pueden llegar a causar enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2021).

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 más reportados en la literatura son aumento de síntomas respiratorios exacerbaciones de patologías crónicas como el asma, consultas a urgencias por estas causas y a largo plazo muestran reducción en la función pulmonar (Dr Ubilla & Dra Yohannessen , 2021).

Por otra parte, los adultos mayores constituyen otro grupo susceptible a la contaminación del aire debido a que se ve disminuida la función pulmonar por longevidad y a la presencia de otras comorbilidades como enfermedades cardiovasculares y pulmonares crónicas, que hacen a esta población más vulnerable a los contaminantes del aire, cuyos efectos dependen por una parte de la concentración y tiempo de exposición y por otra de las características de las personas expuestas (Oyarzún G, 2010).

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 aumento (Soldevila, Vinyoles, Agudo Ugena, & Camps Vila, 2018).

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 vida (Vargas, Sandra, 2008).

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, realizó 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 años (Solarte, Caicedo, & Restrepo, 2021).

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 micras (PM_{10}) ocasionaría un incremento del 4% en las consultas por ERA con un periodo de latencia de seis días en niños menores a 5 años (Arciniegas, Rodríguez, Pachón, Sarmiento, & Hernández, 2006).

En el año 2007 Hernández et al, realizaron un estudio en el cual encontraron diferencias en el promedio de PM_{10} en el exterior de jardines más y menos expuestos a material particulado ($91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 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 expuestos (Hernández, y otros, 2012).

En el año 2020 durante la pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2 un grupo de investigadores realizó una revisión rápida sobre contaminación del aire y morbimortalidad por COVID-19 encontrando que la incidencia y el riesgo de morbilidad y mortalidad por COVID-19 se incrementan con la exposición crónica y aguda a la contaminación del aire, particularmente a material particulado ($PM_{2.5}$, PM_{10}) y dióxido de nitrógeno NO_2 (Arellano EE, Schilmann A, HurtadoDíaz M, Texcalac Sangrador JL, & Riojas Rodríguez H, 2020).

La OMS menciona que las personas que padecen afecciones subyacentes corren un riesgo mayor de desarrollar una enfermedad grave en caso de infección por el virus de la COVID-19; por tanto, es muy probable que la contaminación del aire sea un factor que contribuya a la carga de morbilidad provocada por la COVID-19. Si bien la COVID-19 ha sido una tragedia, también cabe señalar que las medidas adoptadas para responder a ella han demostrado que las políticas relacionadas con el transporte, así como la forma de la gente de trabajar, estudiar y consumir, pueden contribuir a mejorar la calidad del aire. Este hecho se debería tener en cuenta a la hora de definir las políticas de recuperación para la etapa posterior a la pandemia en las que ya trabajan muchos países (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2021).

11.2. VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA

Desde el año 2007 la Secretaría Distrital de Salud formuló y ejecutó 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, seleccionando instituciones educativas (hogares y/o jardines infantiles). 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 en las poblaciones menores de 14 años y persona mayor de 60 años, incrementando su cobertura de forma progresiva en todas las localidades de la ciudad.

En la actualidad y teniendo en cuenta los aportantes que hacen parte de la contaminación del aire (fuentes fijas, fuentes móviles y áreas fuente), la dispersión de los contaminantes por incidencia de precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, se estableció una metodología de Análisis Acumulado de Riesgo de Exposición (ACRE) para dar una clasificación de exposición por contaminación atmosférica en la ciudad, se realizó la actualización del mapa de zonas de exposición teniendo en cuenta la carga de la contaminación y características sociodemográficas.

El desarrollo de las actividades se realizó a partir de la agrupación de las localidades de acuerdo a la proporción de la densidad demográfica de las 19 localidades de Bogotá usando las proyecciones Secretaría Distrital de Planeación 2021, a su vez se realizó una distribución de acuerdo a la proporción de población en cada una de las unidades de planeación zonal usando como fuente de información los datos de las proyecciones de población Secretaría Distrital de planeación por UPZ 2020 se definió el 30% de las manzanas para la aleatorización y 5% para las manzanas de reemplazo con el fin de apoyar y orientar la implementación del sistema de vigilancia epidemiológico y ambiental de calidad del aire.

A la fecha la Secretaría Distrital de Salud realiza el seguimiento continuo y sistemático de las diferentes estrategias para la vigilancia de la infección respiratoria aguda y cardiovascular de acuerdo con los procesos establecidos para la notificación, recolección y análisis de los datos; que permite generar 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. En los países en desarrollo 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 oscilan entre 60 a 100 casos por 1.000 niños menores de 5 años (Enfermedad Respiratoria Aguda. Vigilancia en Salud Pública. , 2021).

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 (El impacto mundial de la enfermedad respiratoria, 2021).

En el año 2021 se presentaron 7 muertes por IRA en menores de 5 años en Bogotá, se mostró una disminución en la tasa de mortalidad de 1,4 por 100.000 menores de 5 años, comparado con los últimos 4 años se observa una disminución de casos, los años 2018 y 2019 mostraron las tasas de mortalidad más altas con 3,3 y 3,8 por 100.000 menores de 5 años (Figura 11-2). Con respecto a la neumonía, en el año 2021 ocurrieron 21 muertes observando un aumento respecto al año 2020 donde se presentaron 13 muertes, se evidencia un ascenso en la tasa de mortalidad por neumonía en el año 2021 con 3,4 por 100.000 menores de 5 años. La localidad que más registro defunciones en menores de 5 años por neumonía durante el año 2021 fue Ciudad Bolívar con 6 casos lo que corresponde al 26,6% de los casos distritales.

Esta reducción particular de los casos 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 y a la circulación viral rutinaria.

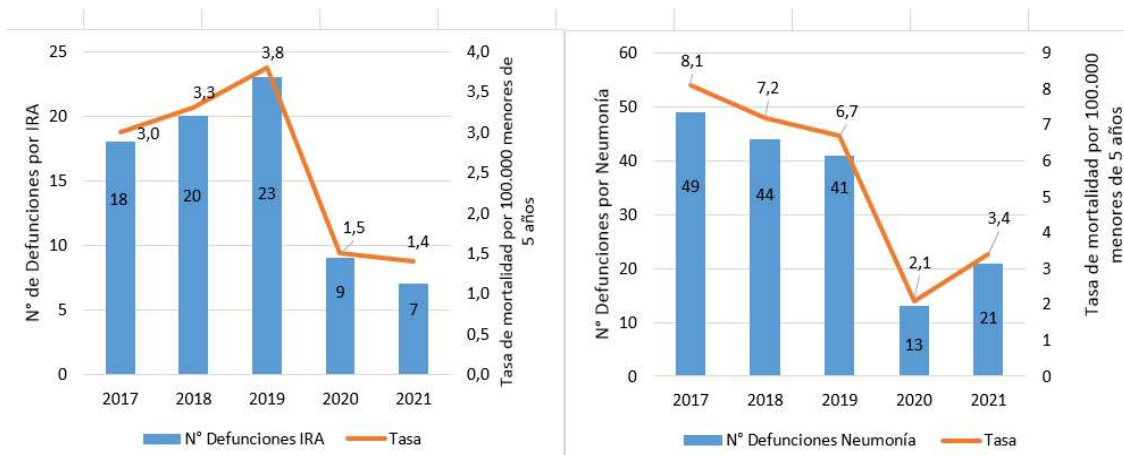


Figura 11-2 Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, periodo 2017 a 2021. Base de datos SDS- información para mapeo semana 52 -2020

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. La ubicación espacial permite identificar que los casos se concentraron en las localidades de Kennedy, Bosa, Engativá, Suba, Ciudad Bolívar, Tunjuelito y Santa fe.

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 DE CALIDAD DEL AIRE

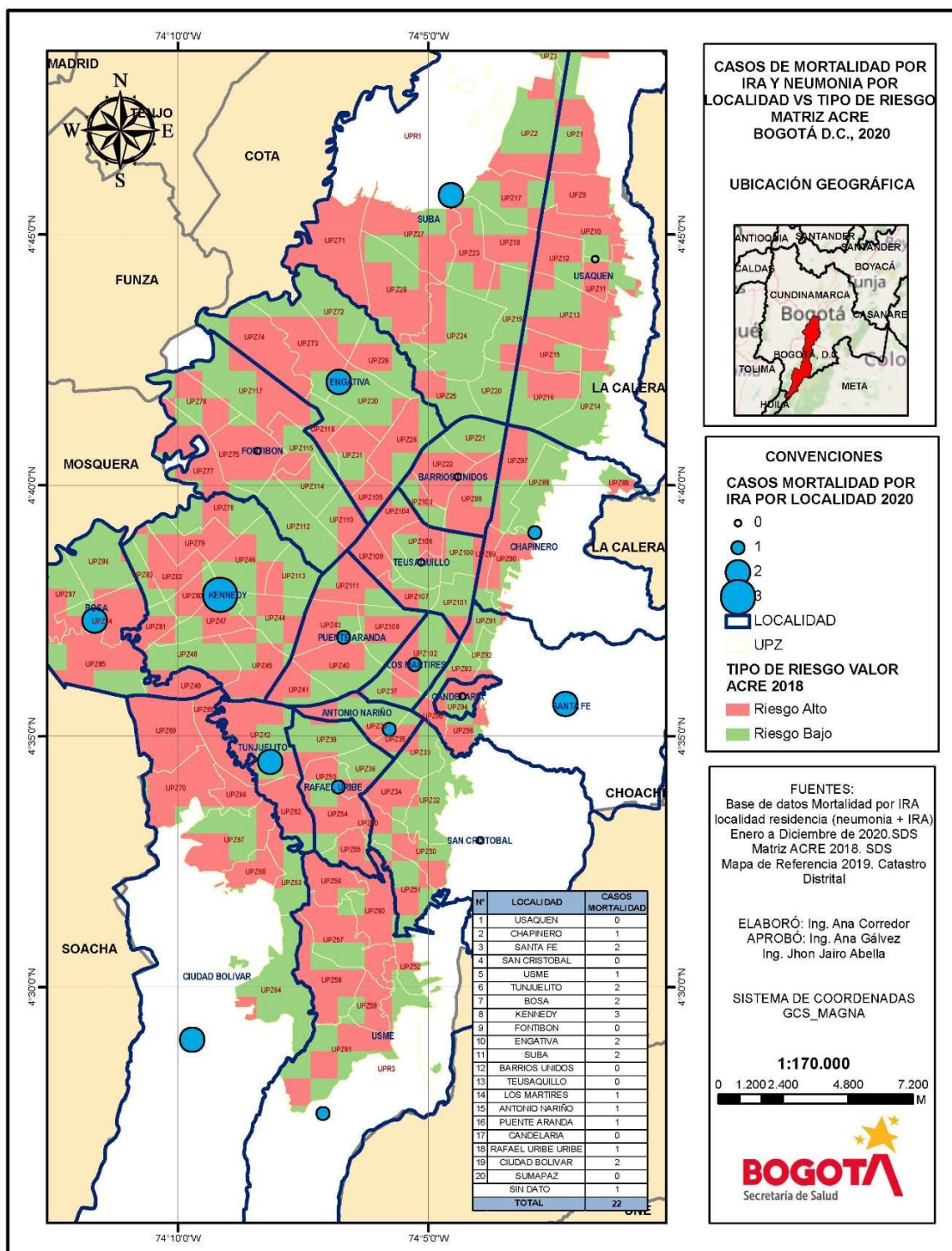


Figura 11-3 Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria y Neumonía en menores de 5 años en Bogotá vs Tipo de Riesgo Matriz ACRE – Año 2020

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 la vía respiratoria, con valores en promedio de periodos de incubación hasta de 14 días y 10 a 15 días de duración de los síntomas. Pueden ser causados por diferentes microorganismos, principalmente virus seguido de bacterias y otros menos frecuentes como hongos en personas con características de salud que los hace susceptibles. Dichos microorganismos entran por nariz y/o boca y pueden 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 la enfermedad. Las infecciones del sistema respiratorio superior son causadas frecuentemente por virus como el virus sincitial respiratorio, para influenza, 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 también pueden ser agentes causales las bacterias, las cuales causan infecciones más severas que requieren tratamiento antibiótico y pueden llegar a causar la muerte, dentro de los agentes más comunes se encuentran streptococcus pneumoniae, haemophilus influenzae y staphylococcus aureus (Salud, 2012).

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 2021 en Bogotá se notificaron 1.191.382 casos de Infección Respiratoria Aguda en la población general, comparado con el año 2020 se observa un aumento de 4,3% de los casos del año 2021, 230.806 se presentaron en menores de 5 años lo que corresponde al 19,4%, mientras en el mismo grupo etario para el año 2020, el número de casos fue de 176.691, lo que corresponde al 15,5% de los casos totales de ese año, este comportamiento puede relacionarse con el levantamiento de las restricciones por la pandemia por COVID-19.

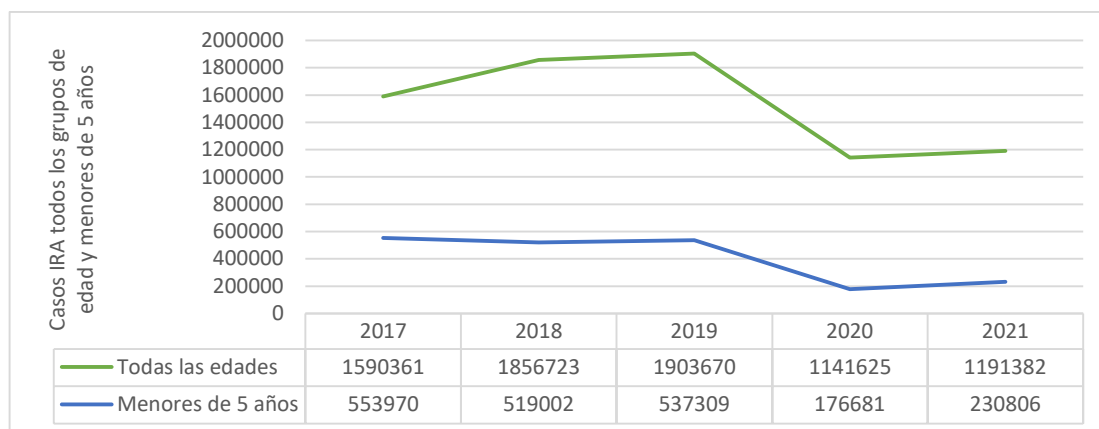


Figura 11-4 Morbilidad por IRA (evento 995-SIVIGILA) en la población general y menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2017 a 2021. Base de datos SIVIGILA. Vigilancia de IRA 2017-2021

Dentro de la vigilancia de la morbilidad por IRA en el Distrito Capital se cuenta con la estrategia de Salas ERA, siendo una atención primaria en salud, en donde se atienden a menores entre los 2 a 4 años y 11 meses de edad de manera oportuna en el manejo del cuadro agudo de enfermedad respiratoria con una estancia no mayor de 4 a 6 horas; esto con el propósito de 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. Desde la línea de Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética (vigilancia sanitaria y ambiental) se verifica la notificación y el comportamiento de los casos atendidos con el fin de determinar la posible relación con la contaminación ambiental.

En el año 2021 se atendieron 6.015 casos en las salas ERA de Bogotá, disminuyendo en un 34,7% con respecto al año anterior, los casos atendidos en los meses de octubre y noviembre fueron 2.516 lo que corresponde a una proporción del 41,8%. Según la localidad de residencia, el mayor número de atenciones se presentó en Puente Aranda con 1.377 casos (22,8%), seguido de Suba con 895 casos (14,8%). Los menores de 1 año representaron el 23,4 % 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 56,7% seguido de los casos agrupados de Síndrome Bronco obstructivo Recurrente (SBOR), asma y equivalentes que correspondieron al 24,9% de los casos. De igual manera, el 38% de los casos requirió hospitalización por la complejidad del cuadro clínico.



Figura 11-5 Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá - Año 2021.

- **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 de escolares menores de 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 2021 se aplicaron 12.632 encuestas de prevalencia de sintomatología respiratoria a población vulnerable, de las cuales el 31,9% fueron realizadas a menores de 5 años, 40,7% a niños de 5 a 14 años, y 27,4% a personas mayores de 60 años. En la población menor de 14 años se realizaron 9.165 encuestas, de las cuales el 52% correspondió al sexo masculino. En los adultos mayores predominó el sexo femenino con el 65,1%.

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

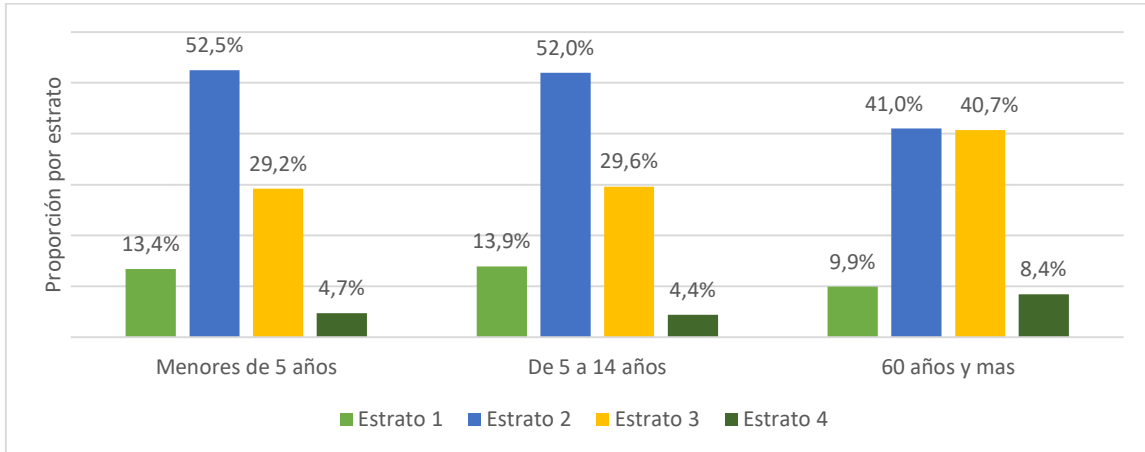


Figura 11-6 Distribución por Estrato Socioeconómico según grupos de población encuestada Bogotá - Año 2021. Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM

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 seguido del régimen subsidiado como se observa en la Figura 11-7.

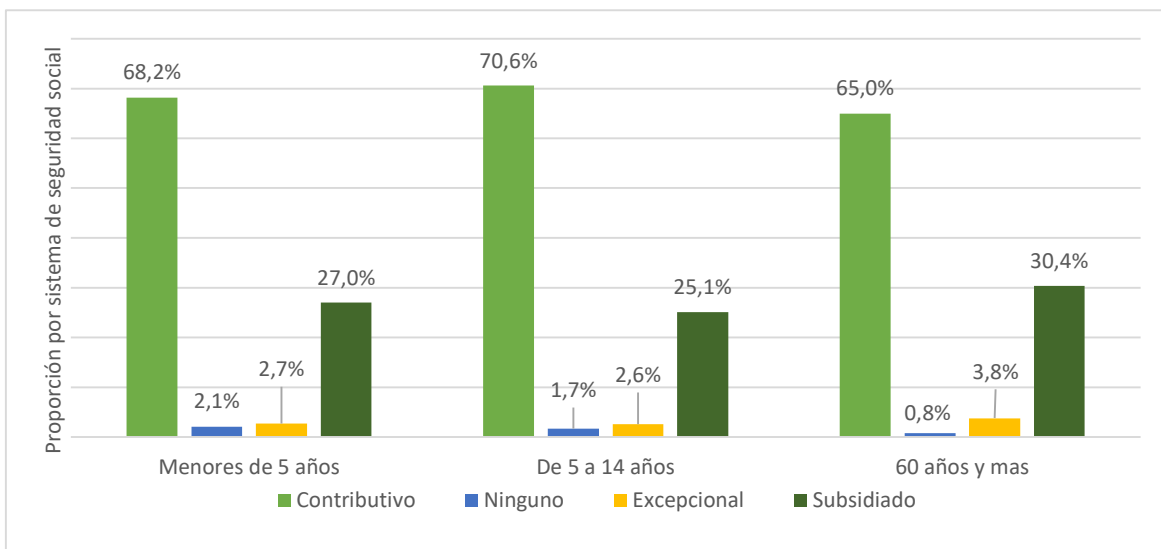


Figura 11-7 Distribución por el Sistema General de Seguridad Social en Salud según grupos de población encuestada Bogotá - Año 2021. Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM

En el marco de la vigilancia de los efectos en salud por contaminación del aire se identifican síntomas trazadores los cuales son, sibilancias (ruidos en el pecho), tos (seca diferente de gripa), despertar por tos y síntomas como mocos, lagrimeo, nariz tapada, rasquiña en los ojos sin presencia de gripa. Estos síntomas son objeto de seguimiento a través de indicadores y su monitoreo se acompaña del cálculo del impacto de la enfermedad respiratoria medio por indicadores de, ausentismo escolar y ausentismo laboral del cuidador del niño.

En la Tabla 11-2 se muestra la prevalencia de sintomatología respiratoria de los menores de 14 años, donde los “síntomas sin gripa en el último año” representan la mayor prevalencia (12%). Por su parte, “tos seca sin gripa en el último año” fue mayor en los niños de 5 a 14 años (5,9%) que en los menores de 5 años (2,7%). La proporción de los demás síntomas como sibilancias en el último año, despertar por tos, así como el ausentismo escolar y ausentismo laboral fue mayor en los menores de 5 años que entre los niños de 5 a 14 años.

Tabla 11-2 Prevalencia de síntomas respiratorios en menores de 5 años y 5 a 14 años Bogotá - Año 2021

Síntomas	Menores de 5 años (n=4030)		Niños de 5 a 14 años (n= 5135)		Total menores de 14 años (n=9165)	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%
Sibilancia en el último año	113	2,8	67	1,3	180	2,0
Tos seca sin gripa en el último año	107	2,7	305	5,9	412	4,5
*Síntomas sin gripa en el último año	487	12,1	615	12,0	1102	12
Despertar por tos	93	2,3	80	1,6	173	1,9
**Ausentismo escolar	47	3,8	82	1,6	129	2,1
***Ausentismo laboral	54	1,3	53	1,0	107	1,2

* Los síntomas sin gripa corresponden a mocos, lagrimeo, nariz tapada, rasquiña en los ojos cuando no hay presencia de gripa.

**El ausentismo escolar se calcula a partir de los niños que asisten o asistieron a institución educativa en el último año.

***Ausentismo laboral del padre o cuidador del niño.

En los adultos mayores, el síntoma “Sibilancia en el último mes” tuvo una prevalencia del 3% (105/3.467) y el indicador de impacto despertar por tos fue de 2,2% (79/3.467). 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 durante el año 2021, encontrando que el 4,4% de los menores de 14 años se encuentran expuestos al tabaquismo pasivo en sus hogares, en comparación al año 2020 estuvieron expuestos en 3,1%. El tabaquismo pasivo 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 con la alteración el desarrollo neurológico (alteraciones cognitivas). A largo plazo se

pueden presentar otros problemas de adicción a sustancias psicoactivas, déficit de atención y bajo rendimiento escolar (A.Labbé, 2014).

El 1,6% de los niños estuvieron expuestos al humo de tabaco durante la gestación, esta exposición se asocia con un menor crecimiento fetal y disminución en el peso al nacer. Los menores expuestos nacen con una disminución en la función pulmonar, mayor riesgo de asma, bronquiolitis y sibilancias. También tienen mayor riesgo de aumento de peso rápido en la infancia, predisponiendo a sobrepeso u obesidad, lo que eleva el riesgo de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2 en la adultez temprana (Chinchilla Araya & Durán Monge, 2019).

En los adultos mayores de 60 años, se obtuvo una prevalencia de 14,3% de tabaquismo pesado (consumo de más de 10 paquetes de cigarrillos/ año) (Saldías Peñafiel, Elola Aránguiz, Uribe Monasterio, Morales Soto, & Díaz Patiño, 2016), este indicador es utilizado para calcular el impacto del consumo de tabaco y el riesgo de desarrollar cáncer 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 en 2021 a 9,8% para el año 2020, anualmente mueren 34.800 personas por enfermedades atribuibles al consumo de tabaco en Colombia (Bautista, 2020).

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 gasto (Instituto Nacional de Cancerología - ESE, 2021).



Figura 11-8 Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años Bogotá - Año 2021

- **Menores de 5 años**

A continuación, se describe la relación de posibles factores de riesgo con la presencia de síntomas trazadores en menores de 5 años mediante el análisis bivariado y cálculo de razones de prevalencia Tabla 11-3. La presencia de sibilancias en el último año se relacionó principalmente con el diagnóstico de malnutrición, vivienda de permanencia cerrada o sin ventanas y cocina compartida con espacio para dormir, es decir que los niños que tuvieron estos factores de riesgo mostraron mayor prevalencia de sibilancias con respecto a los niños que no tienen estos factores de riesgo.

El síntoma “Tos sin gripa en el último año” mostró relación estadística con malnutrición, cocina sin ventilación, pisos en material de riesgo y exposición a tabaquismo, se anota que algunos de estos los factores de riesgo presentaron los intervalos de confianza amplios por lo que se recomienda precaución en la interpretación. Con respecto a los síntomas sin gripa, se evidenció una relación estadística principalmente con la cocina compartida con espacio para dormir, así como con el hacinamiento no mitigable (5 personas o más por dormitorio).

Tabla 11-3 Factores relacionados con la presencia de Sibilancias, tos sin gripa y síntomas sin gripa en el último año en menores de 5 años Bogotá – Año 2021

Menores de 5 años			
Sibilancias en el Último año			
Variables o factores de riesgo	RP	IC 95%	p valor
Contacto con fumadores los dos primeros años de vida	1,71	1,19-2,74	0,007
Diagnóstico de malnutrición	2,01	1,13-3,60	0,046
Ingresos (No alcanzan para cubrir los gastos del hogar)	1,74	1,24-2,45	0,003
Ventanas cerradas o sin ventanas	2,19	1,58-3,04	0,001
Cocina en espacio también para dormir	2,35	1,14-3,89	0,007
Humedad en la vivienda	1,6	1,13-2,27	0,01
Tos sin gripa Último Año			
Variables o factores de riesgo	RP	IC 95%	p valor
Cocina no ventilada	3,17	1,58-6,34	0,005
*Material de los pisos	2,07	1,27-3,36	0,006
Humedad en la vivienda	1,64	1,08-2,50	0,023
Diagnóstico de malnutrición	3,08	1,54-6,16	0,006
Madre fumo durante la gestación	4,45	2,04-9,70	0,003
Madre estuvo en contacto con fumadores durante la gestación	2,79	1,88-4,23	0,001
Contacto con fumadores los dos primeros años de vida	2,64	1,71-4,06	0,001
Síntomas sin gripa			
Variables o factores de riesgo	RP	IC 95%	p valor
Bajo peso al nacer	1,4	1,12-1,75	0,004
Diagnóstico de malnutrición	1,71	1,16-2,54	0,014
Tabaquismo pasivo	1,56	1,04-2,34	0,04
Madre estuvo en contacto con fumadores durante la gestación	1,57	1,26-1,94	0,001
Contacto con fumadores los dos primeros años de vida	1,52	1,22-1,91	0,001
**Hacinamiento no mitigable	1,73	1,01-2,95	0,057
Cocina en espacio también para dormir	2,08	1,55-2,79	0,001
Material de los pisos	1,42	1,12-1,81	0,006
Humedad en la vivienda	1,64	1,37-1,97	0,001

RP: Razón de Prevalencias

*Material pisos: se considera de riesgo Alfombra/Tierra/Caucho corrugado/Cemento/Ladrillo/Madera sin procesar.

**Hacinamiento no mitigable: 5 o más personas por dormitorio.

• Niños de 5 a 14 años

En los niños de 5 a 14 el análisis bivariado permitió identificar que los factores como exposición al tabaquismo y diagnóstico de bajo peso al nacer estuvieron relacionados con los tres desenlaces estudiados (tos sin gripa, síntomas sin gripa y sibilancias en el último año), al mostrar prevalencias mayores entre los expuestos a los factores de riesgo en comparación con los no expuestos.

Así mismo, se evidenció que la presencia de síntomas sin gripa se relacionó con la mayoría de los factores de riesgo intramurales y sociodemográficos, pero se resalta la asociación con la variable cercanía de la vivienda a tráfico pesado (buses, busetas y camiones), que indica que los niños cuyas viviendas cuentan con ese factor de exposición, presentaron mayor prevalencia de síntomas sin gripa con respecto a los niños que viven cerca de tráfico liviano.

Lo anterior denota la importancia que tienen las fuentes móviles en el aporte a la contaminación del aire y la relación de esta con la presencia de síntomas de enfermedad respiratoria en la población expuesta en la Tabla 11-4.

Tabla 11-4 Factores relacionados con la presencia de tos, síntomas sin gripa y sibilancias en los niños de 5 a 14 años Bogotá - Año 2021

Niños de 5 a 14 años			
Tos sin gripa Último año			
VARIABLES O FACTORES DE RIESGO	RP	IC 95%	p valor
Diagnóstico de malnutrición	2,23	1,47-3,45	0,001
Bajo peso al nacer	1,69	1,28-2,24	0,001
Consumo de tabaco en el hogar	1,38	1,08-1,76	0,01
Tabaquismo pasivo	1,57	1,02-2,43	0,044
Madre en contacto con fumadores durante la gestación	2,01	1,55-2,61	0,001
Madre fumó durante los dos primeros años de vida del niño	2,05	1,31-2,21	0,005
Humedad en la vivienda	1,73	1,36-2,20	0,001
Síntomas sin gripa			
VARIABLES O FACTORES DE RIESGO	RP	IC 95%	p valor
Diagnóstico de malnutrición	1,72	1,24-2,39	0,003
Bajo peso al nacer	1,49	1,23-1,82	0,001
Consumo de tabaco en el hogar	1,21	1,02-1,44	0,026
Tabaquismo pasivo	1,55	1,14-2,10	0,007
Madre fumó durante la gestación	1,59	1,04-2,43	0,053
Madre en contacto con fumadores durante la gestación	1,97	1,62-2,30	0,001
Madre fumó durante los dos primeros años de vida del niño	1,79	1,30-2,46	0,001
Familiar en contacto con tóxicos	1,64	1,17-2,29	0,007
Ingresos del hogar (No alcanza para los gastos mínimos)	1,20	1,009-1,43	0,042
Secado intradomiciliario de ropa	1,28	1,10-1,48	0,001
Humedad en la vivienda	1,77	1,50-2,07	0,001
Material del piso	1,38	1,10-1,72	0,007
Dormir con la mascota en la misma habitación	2,11	1,54-2,89	0,001
Tráfico pesado cerca de la vivienda (a menos de 100 metros)	1,25	1,07-1,45	0,003
Sibilancias en el último año			
VARIABLES O FACTORES DE RIESGO	RP	IC 95%	p valor
Diagnóstico de malnutrición	2,86	1,40-5,86	0,012
Madre en contacto con fumadores durante la gestación	1,8	1,07-3,02	0,041

RP: Razón de Prevalencias

*Material pisos: se considera de riesgo Alfombra/Tierra/Caucho corrugado/Cemento/Ladrillo/Madera sin procesar.

• Mayores de 60 años

Para esta población los resultados del análisis bivariado mostraron relación estadística entre la presencia de sibilancias en el último mes y tos, con los factores de riesgo consumo de tabaco en el presente y exposición a contaminantes en el trabajo.). El desenlace sibilancias en el último mes también se relacionó con tener construcciones cerca de la vivienda, el cual es un factor extramural que aumenta la contaminación del aire.

Por su parte el síntoma tos en el último mes, se relacionó con la no realización de actividad física y el factor extramural de presencia de canales de agua cerca de la vivienda.

Tabla 11-5 Factores relacionados con la presencia de Sibilancias y por tos en adultos mayores de 60 años Bogotá - Año 2021

Personas de 60 años y mas			
Sibilancias en el último mes			
Variables	RP	IC 95%	p valor
Consumo de tabaco en el presente	1,75	1,09-2,81	0,036
Exposición a polvo, gases, humo, vapores en el tiempo laborado	1,44	1,005-2,07	0,045
Material de las paredes	1,47	1,01-2,12	0,053
Construcciones cerca de la vivienda (menos de 100 metros)	1,46	1,20-1,78	0,001
Tos			
Variables	RP	IC 95%	p valor
No realización de actividad física	1,32	1,07-1,62	0,009
Consumo de tabaco en el presente	1,48	1,073-2,06	0,026
Consumo de tabaco en el pasado	1,23	1,003-1,51	0,053
Contacto con fumadores en el pasado	1,39	1,13-1,72	0,002
Exposición a polvo, gases, humo, vapores en el tiempo laborado	1,75	1,42-2,16	0,001
Uso de alcohol como combustible	3,03	1,78-5,14	0,001
Presencia de canales de agua cerca de la vivienda	1,66	1,09-2,52	0,031

11.3. VIGILANCIA AMBIENTAL

La Secretaría Distrital de Salud realiza el análisis de las concentraciones y estados de calidad del aire en la ciudad de Bogotá así como las excedencias presentadas teniendo en cuenta los valores referidos en la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de Salud – OMS, como los Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3), los cuales esta dirigidos a las ciudades para que progresivamente reduzcan las concentraciones de los contaminantes y logren alcanzar el valor guía recomendado por la OMS.

Dicho análisis se realiza a partir de los datos reportados por la RMCAB, en donde se tiene en cuenta que para procesamiento de los datos se debe tener el 75% de representatividad de los datos reportados para el periodo analizado, sin embargo, para efectos del presente informe se incluirán en el análisis identificando aquellas estaciones que no contaron con la representatividad y se indicara en la descripción y en la gráfica con un color diferente.

Por otra parte, han pasado más de 15 años desde la publicación de Global Update 2005. En este tiempo ha habido un incremento notable de las pruebas sobre los efectos adversos de la contaminación atmosférica para la salud, gracias a avances en la medición de la contaminación y la evaluación de la exposición y a una base mundial ampliada de datos en la materia. En nuevos estudios epidemiológicos realizados en países de ingresos bajos y medianos se han documentado efectos adversos para la salud debidos a la exposición a altos niveles de contaminación del aire, y en estudios en países de ingresos altos con un aire relativamente limpio se han registrado efectos adversos por niveles mucho más bajos de los que se habían estudiado anteriormente, por consiguiente, durante el mes de septiembre de 2021, la OMS publico la nueva guía 2021, con valores más restrictivos.

Igualmente, durante el mes de abril de 2021, se publicó la Resolución 868 de 2021, resolución conjunta entre la Secretaría Distrital de Ambiente y la Secretaría Distrital de Salud, en la cual se actualiza el Índice Bogotano de Calidad del Aire y riesgo en salud, IBOCA, en donde se establece el nuevo IBOCA, para la gestión conjunta del riesgo de deterioro del ambiente y de la salud humana, ajustando los colores, y escalas del índice, armonizando los atributos con el Índice de Calidad de Aire-ICA a nivel nacional, en pro de la implementación del Plan Estratégico para la Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá.

- **Calidad del aire extramural**

Como ya se mencionó anteriormente, las guías de calidad del aire de la OMS tienen como objetivo orientar a las ciudades, en busca de la reducción los efectos de la contaminación del aire en la salud, con valores de concentración guía de contaminantes como PM_{10} 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 OMS (OMS, 2006) y para efectos de este documento se tiene en cuenta la Guía-OMS 2005.

- **Material particulado PM_{10} en Bogotá 2021**

Para el análisis de PM_{10} , se contó con 6009 datos diarios de 6935 posibles, es decir se contó con una representatividad del 86,6% para 19 estaciones la RMCAB para los 365 días del año; en la Figura 11-9, se muestra en barras azules la concentración anual de PM_{10} de los últimos 6 años en Bogotá, donde se observa una reducción progresiva siendo el año 2021 el año de con menor concentración promedio anual.

En cuanto al cumplimiento de los objetivos intermedios para concentraciones promedio anuales, se observa que entre 2016 y 2021 se ha cumplido el objetivo 1 (OI-1) de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el objetivo 2 (OI-2) de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no obstante, frente al Objetivo 3 (OI-3) de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no se dio cumplimiento a dicho objetivo, así mismo la línea punteada coincide con la meta al año 2030 establecida en la Resolución 2254 de 2017, finalmente la línea roja representa la concentración recomendada en la Guía-OMS de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

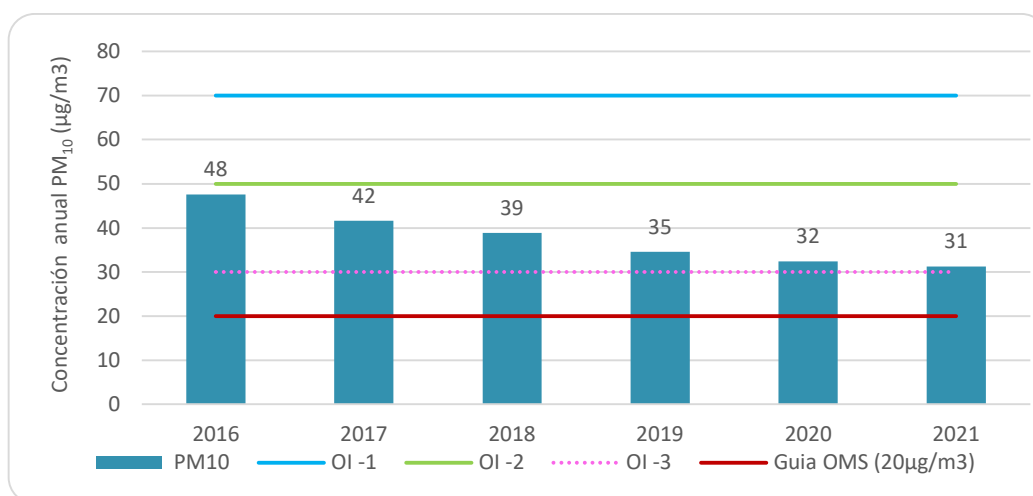


Figura 11-9 Concentración anual y cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para PM10 Bogotá 2016-2021

Históricamente en Bogotá se presentan dos picos de concentraciones, siendo el primero en los meses de febrero y marzo y el segundo entre octubre y noviembre, mientras que, por el contrario, durante los meses de junio y julio las concentraciones suelen ser menores; en la Figura 11-10 se muestra el porcentaje de excedencias para concentraciones promedio de 24 horas por mes, donde se presentó 12,9% (776/6009) de excedencias totales en 2021 en las 19 estaciones monitoreo, aquí se observa en los meses de enero, noviembre y diciembre, mayor cantidad de excedencias, mientras que los meses de abril, mayo y julio, presentaron menos excedencias.

Ahora bien, se puede observar que durante el año 2021 el porcentaje de excedencias respecto a años anteriores, fue menor, igualmente durante el año 2020, a partir del mes de abril se observa la disminución notable de excedencias, comparada con años anteriores, teniendo en cuenta que producto de las acciones para la mitigación de la propagación del COVID-19, como las medidas de aislamiento social, suspensión de actividades industriales, comerciales o la movilización de vehículos, impactaron en la dinámica de la ciudad y por tanto en la disminución de concentraciones de los contaminantes atmosféricos.

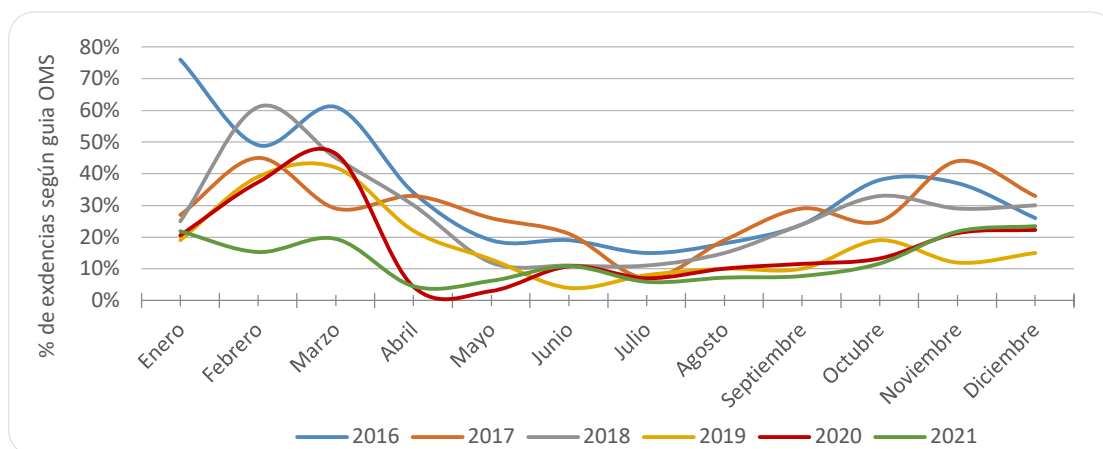


Figura 11-10 Porcentaje de excedencias de PM10, respecto a la Guía-OMS, Bogotá año 2016-2021

En cuanto a la concentración anual de PM₁₀, durante el año 2021, las estaciones Carvajal - Sevillana 68,5 µg/m³, Kennedy 43,5 µg/m³ y Ciudad Bolívar 35,0 µg/m³ se encuentran entre las estaciones con concentraciones más altas, siendo Carvajal - Sevillana la única estación que supero el valor máximo recomendado en la Guía-OMS, por el contrario, las estaciones San Cristóbal 20,5 µg/m³, MinAmbiente 19,8 µg/m³, Usaquén 19,5 µg/m³ y Colina 17,5 µg/m³, registraron los promedios anuales más bajos, cabe mencionar que las estaciones Usaquén, Colina y Bosa no cumplieron con la representatividad del 75% de los datos reportados en el año, sin embargo, para efectos del presente informe se incluirán en el análisis identificándolas en la Figura 11-11 con diferente color.

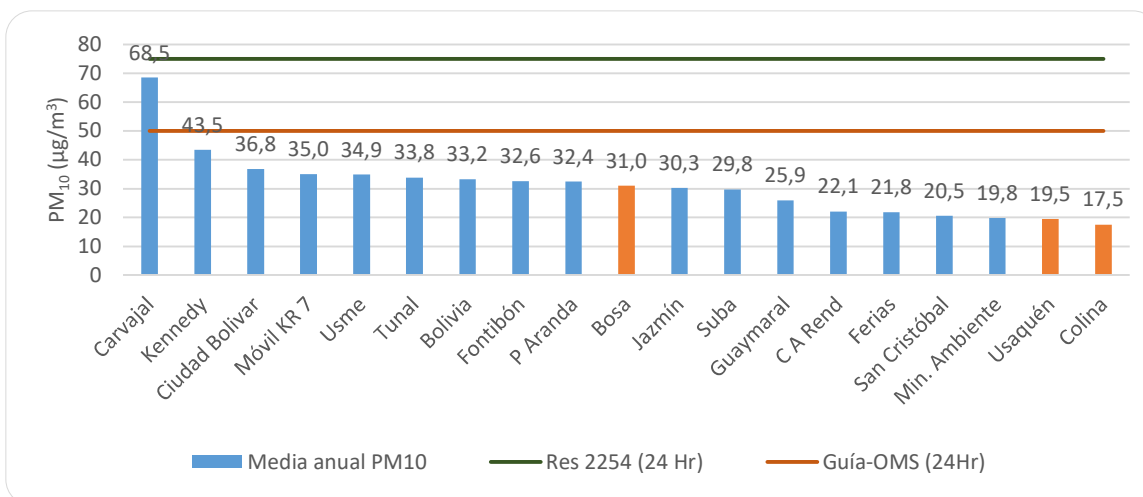


Figura 11-11 Concentración promedio anual de PM10 por estación de monitoreo de la RMCAB y excedencia a la Guía-OMS y valores permisibles de la Resolución 2254 de 2019 – Año 2021

Por otra parte, en cuanto a concentraciones promedio diarias, se destaca la estación Carvajal - Sevillana presentando más altas concentraciones diarias, así mismo se puede observar que durante el primer trimestre del año se presentan concentraciones más altas las cuales disminuyen hacia junio y julio, pero hacia el cuarto trimestre, principalmente hacia noviembre y diciembre se registraron un aumento de las concentraciones, como se observa en la Figura 11-12.

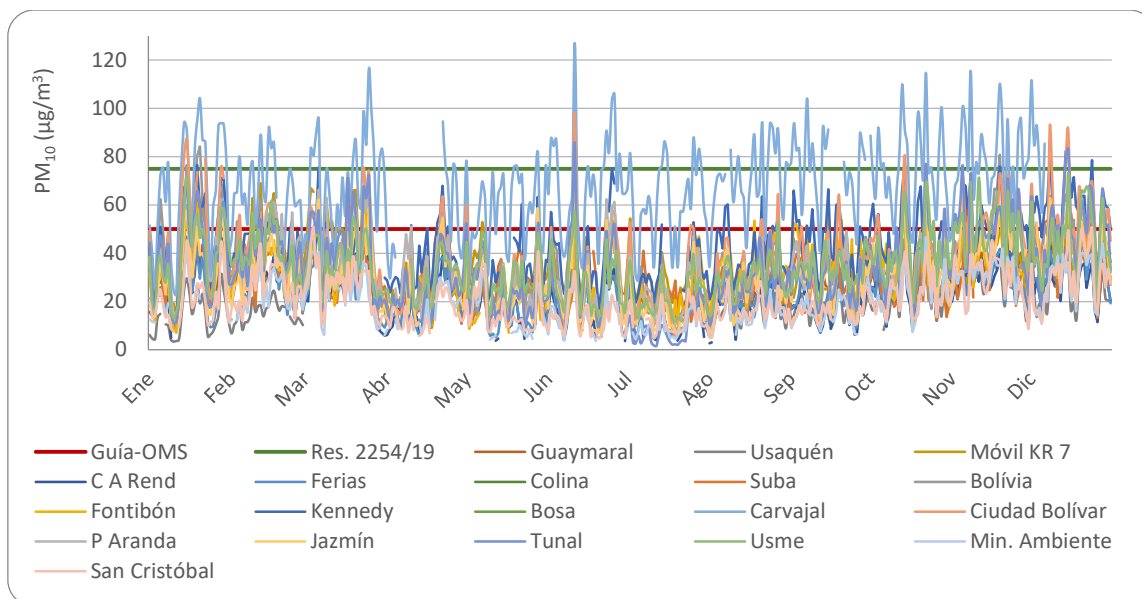


Figura 11-12 Concentración promedio diaria de PM₁₀ y valor Guía-OMS y Resolución 2254 de 2019 – Año 2021

En cuanto a las excedencias diarias de PM₁₀ teniendo en cuenta el valor de la Guía-OMS de 50µg/m³ por estación, se tiene que las estaciones con el mayor porcentaje de excedencias se encuentran Carvajal - Sevillana 82,8% (260/314), Kennedy 31,7% (106/334), Ciudad Bolívar 21,0% (74/352) y Tunal 17,6% (63/358), mientras que las estaciones con menos excedencias fueron Suba 5,2% (17/326), Guaymaral 1,2% (4/325), San Cristóbal 0,6% (2/350) y Centro Alto Rendimiento 0,3% (1/325), por otro lado las estaciones Usaquén, Ferias, Colina y MinAmbiente no presentaron excedencias, según el análisis del total de los promedios diarios reportados de PM₁₀ (Figura 11-13).

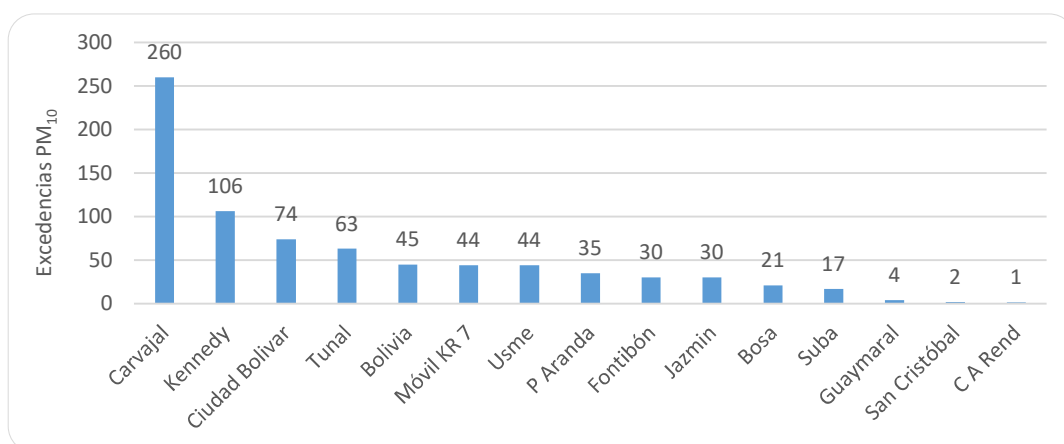


Figura 11-13 Excedencias diarias de PM₁₀ respecto a la Guía-OMS en las estaciones de la RMCAB – Año 2021

De igual manera que la Guía-OMS cuenta con objetivos intermedios para concentraciones anuales, la Guía establece tres objetivos intermedios uno más restrictivo que el otro a fin de dar cumplimiento y alcanzar el valor guía recomendable para concentraciones de 24 horas. A continuación, se presenta el porcentaje de excedencias de PM₁₀ para cada objetivo de la Guía, en donde todas las estaciones presentaron concentraciones por debajo de 150 µg/m³ y cumplieron el primer objetivo intermedio, respecto al OI-2 el 94,7% (18/19) de las estaciones cumplieron con el objetivo, respecto al OI-3 el 73,7% (14/19) de las estaciones cumplieron con el objetivo y frente al valor Guía-OMS el 26,3% (5/19) de las estaciones cumplieron Tabla 11-6.

Tabla 11-6 Porcentaje de excedencias de PM₁₀ para concentraciones diarias por estación de la RMCAB, respecto a la Guía y Objetivos Intermedios de la OMS – Año 2021

PM ₁₀ EXCEDENCIAS OMS AÑO 2021	% CON RESPECTO AL OI-1 150µg/m ³	% CON RESPECTO AL OI-2 100µg/m ³	% CON RESPECTO AL OI-3 75µg/m ³	% CON RESPECTO A LA GUÍA OMS 50µg/m ³
Guaymaral	0%	0%	0%	1%
Usaquén	0%	0%	0%	0%
Móvil 7ma	0%	0%	0%	14%
C.D.A.R.	0%	0%	0%	0%
Ferías	0%	0%	0%	0%
Colina	0%	0%	0%	0%
Suba	0%	0%	0%	5%
Bolivia	0%	0%	1%	13%
Fontibón	0%	0%	0%	9%
Kennedy	0%	0%	3%	32%
Bosa	0%	0%	0%	10%
Carvajal - Sevillana	0%	4%	38%	82%
Ciudad Bolívar	0%	0%	3%	21%
Puente Aranda	0%	0%	0%	13%
Jazmín	0%	0%	0%	9%
Tunal	0%	0%	1%	18%

PM ₁₀ EXCEDENCIAS OMS AÑO 2021	% CON RESPECTO AL OI-1 150µg/m ³	% CON RESPECTO AL OI-2 100µg/m ³	% CON RESPECTO AL OI-3 75µg/m ³	% CON RESPECTO A LA GUÍA OMS 50µg/m ³
Usme	0%	0%	0%	12%
MinAmbiente	0%	0%	0%	0%
San Cristóbal	0%	0%	0%	1%

- **Material Particulado PM_{2.5}**

A continuación, se presenta el análisis del comportamiento del material particulado PM_{2.5}, en cual se contó con 6063 datos diarios de 6935 posibles, es decir se contó con una representatividad del 87,4% para 19 estaciones la RMCAB, para los 365 días del año; en la Figura 11-14, se muestra en barras azules la concentración anual de PM_{2.5} de los últimos 6 años en Bogotá, donde se observa una reducción progresiva siendo el año 2021 el año de con menor concentración promedio anual.

En cuanto a la concentración promedio anual de material particulado PM_{2.5} entre 2017 y 2021 se observa una concentración entre los 16 y 18 µg/m³, siendo la menor concentración la del año 2021, en este sentido, se observa un cumplimiento frente a los Objetivos Intermedios 1 y 2, sin embargo respecto al objetivo 3 el año 2021 fue el año que más cerca ha estado de cumplir con el objetivo de 15 µg/m³, el cual se establece como objetivo nacional al año 2030 establecido en la Resolución 2254 de 2017, claramente no ha alcanzado el valor Guía de la OMS de 10 µg/m³.

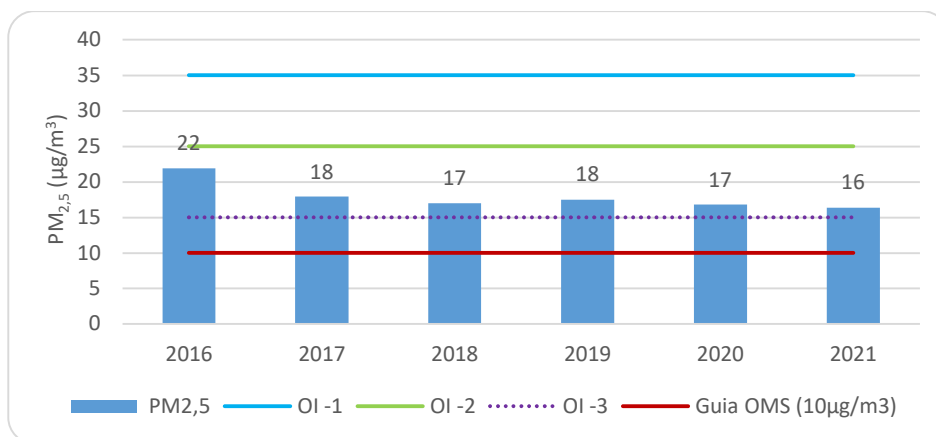


Figura 11-14 Concentración anual y cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para PM_{2.5} Bogotá 2016-2021

Teniendo en cuenta que históricamente el comportamiento de PM_{2.5} presenta dos picos de altas concentraciones, principalmente entre febrero y marzo y otro pico hacia octubre y noviembre, durante el año 2020 se observa durante el primer trimestre gran número de excedencias, sin embargo, a partir del mes de abril hasta septiembre, se presentan menos excedencias, y por debajo de lo presentado en años anteriores, en donde, como ya se mencionó anteriormente, las medidas de mitigación para la disminución de propagación del COVID-19, influyo en la reducción de concentraciones y por ende menos excedencias.

Nos obstante, el año 2021, las excedencias también fueron bajas, pero se observa que, durante el primer trimestre de año, un pico de excedencias, igualmente se observa que a partir del mes de septiembre, las excedencias comienzan un aumento paulatino, al tiempo en que se realizaba la reactivación socioeconómica; para el año 2021 las mayores excedencias se presentaron en el mes de marzo y diciembre mientras que las menores excedencias se presentaron durante el mes de julio (Figura 11-15)

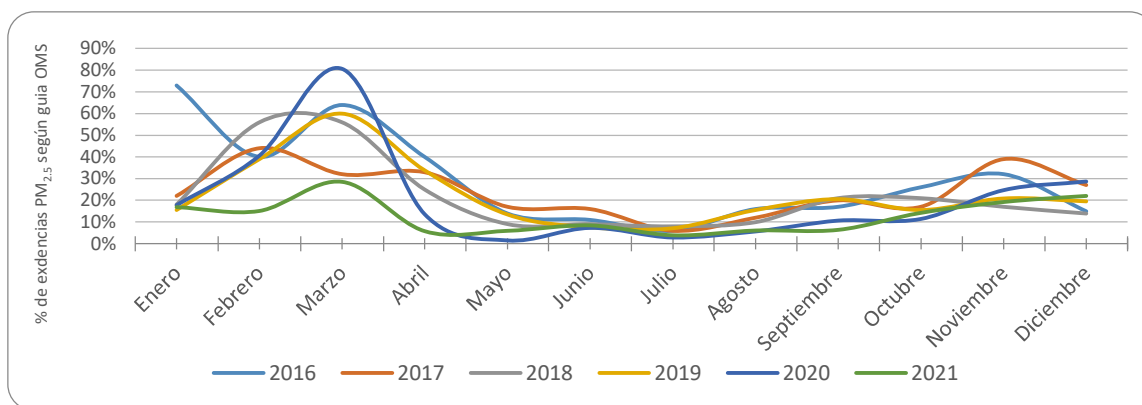


Figura 11-15 Porcentaje de excedencias de PM_{2.5} respecto a la Guía-OMS en Bogotá años 2016-2021

Por otra parte, en cuanto a las concentraciones promedio anuales, las mayores concentraciones durante el año 2021 se registraron en las estaciones Carvajal - Sevillana 34,5 µg/m³, superando el valor máximo permisible establecido en la Resolución 2254 de 2017 para promedio anual, le sigue la estación Kennedy 20,6 µg/m³ y Puente Aranda 20,1 µg/m³; las estaciones que reportaron la menor concentración en el periodo analizado fueron MinAmbiente 11,9 µg/m³, Usme 11,0 µg/m³, Usaquén 10,2 µg/m³ y Colina con 7,9 µg/m³, como se muestra en la Figura 11-16, cabe mencionar que las estaciones Usaquén, Bosa y Colina no contaron con la representatividad del 75% para promedio anual.

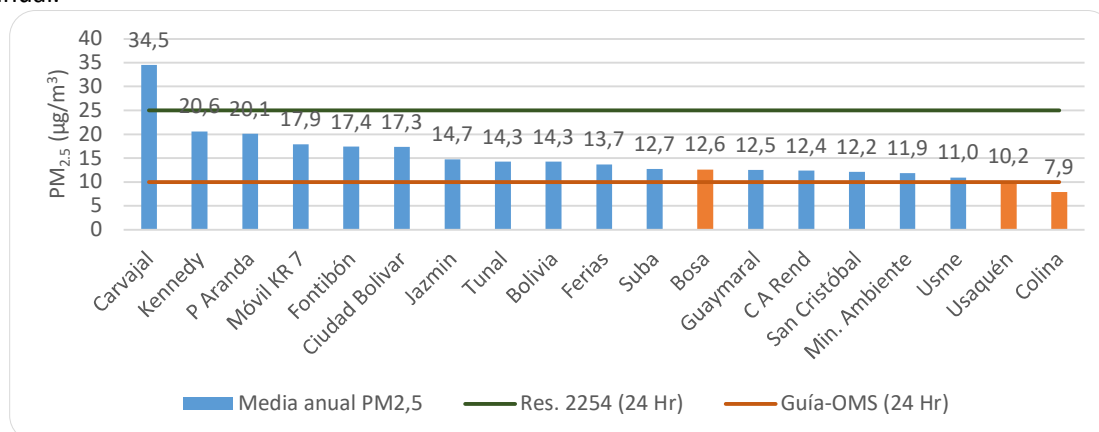


Figura 11-16 Concentración promedio anual de PM_{2.5} por estación de monitoreo de la RMCAB y excedencia a la Guía-OMS y valores permisibles de la Resolución 2254 de 2019 - Año 2021

En cuanto a concentraciones promedio diarias, se destaca la estación Carvajal - Sevillana presentando las concentraciones diarias más altas, principalmente durante el mes de marzo en donde la concentración diaria más alta durante el año se presentó el 25 marzo $66,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Carvajal, sin embargo, el 11 de junio se observa un pico de contaminación $57,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Carvajal-Sevilla y $48,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Ciudad Bolívar, por el contrario durante los meses de mayo y junio se registraron las concentraciones más bajas, el segundo pico de contaminación se presentó en los entre octubre y noviembre, como se observa en la Figura 11-17.

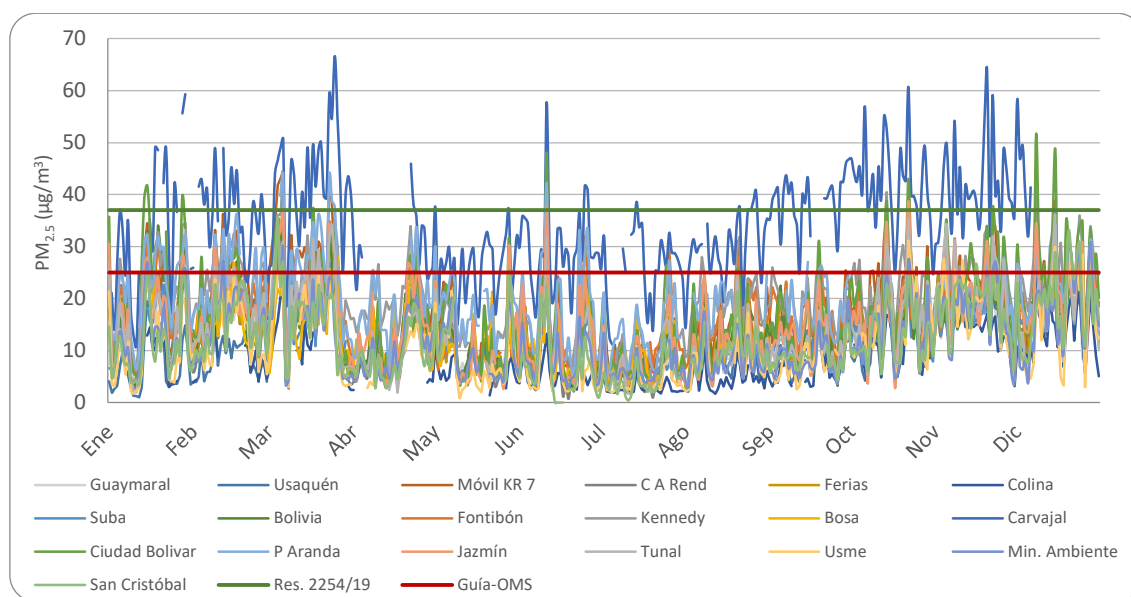


Figura 11-17 Concentración promedio diaria de PM_{2.5} y valor Guía-OMS y Resolución 2254 de 2019 - Año 2021

En cuanto a las excedencias diarias de PM_{2.5} teniendo en cuenta el valor de la Guía-OMS de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por estación, se tiene que las estaciones con el mayor porcentaje de excedencias se encuentran Carvajal - Sevillana 83,9% (256/305), Kennedy 28,0% (97/346), Puente Aranda 22,9% (68/297) y Ciudad Bolívar 19,3% (68/352), mientras que las estaciones con menos excedencias fueron Suba 2,1% (7/339), Guaymaral 1,4% (5/356) y Usaquén 0,6% (1/168), por otro lado la estación Colina no presento excedencias, según el análisis del total de los promedios diarios reportados de PM_{2.5}.

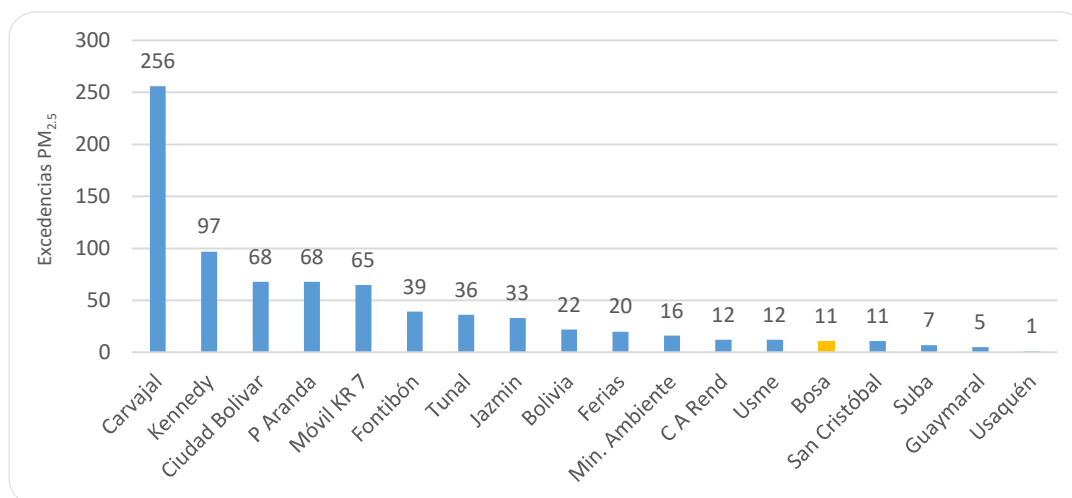


Figura 11-18 Excedencias de PM_{2.5} con respecto a la Guía-OMS en las estaciones la RMCAB - Año 2021

Según la guía de la OMS el seguimiento a los valores guía para la media de 24 horas podrá proteger a la población 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; así mismo, la Guía-OMS define tres objetivos intermedios para concentraciones anuales, uno más restrictivo que el otro a fin de dar cumplimiento y alcanzar el valor guía recomendable para concentraciones de 24 horas.

A continuación, se presenta el porcentaje de excedencias de PM_{2.5} para cada objetivo de la Guía, en donde todas las estaciones presentaron concentraciones por debajo de 75 µg/m³ y cumplieron el primer objetivo intermedio, respecto al OI-2 el 94,7% (18/19) de las estaciones cumplieron con el objetivo, respecto al OI-3 el 68,4% (13/19) de las estaciones cumplieron con el objetivo y frente al valor Guía-OMS 5,2% (1/19) de las estaciones cumplió con la Guía-OMS.

Tabla 11-7 Porcentaje de excedencias del contaminante PM_{2.5} con respecto a la guía OMS y los Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3) – Año 2021

PM _{2.5} EXCEDENCIAS OMS AÑO 2021	% CON RESPECTO AL OI-1 75µg/m ³	% CON RESPECTO AL OI-2 50µg/m ³	% CON RESPECTO AL OI- 3 37,5µg/m ³	% CON RESPECTO A LA GUIA OMS 25µg/m ³
Guaymaral	0%	0%	0%	1%
Usaquén	0%	0%	0%	1%
Móvil 7ma	0%	0%	2%	19%
C.D.A.R.	0%	0%	0%	3%
Ferías	0%	0%	0%	6%
Colina	0%	0%	0%	0%
Suba	0%	0%	0%	2%
Bolivia	0%	0%	0%	6%
Fontibón	0%	0%	0%	12%

PM _{2.5} EXCEDENCIAS OMS AÑO 2021	% CON RESPECTO AL OI-1 75µg/m ³	% CON RESPECTO AL OI-2 50µg/m ³	% CON RESPECTO AL OI- 3 37,5µg/m ³	% CON RESPECTO A LA GUIA OMS 25µg/m ³
Kennedy	0%	0%	1%	27%
Bosa	0%	0%	0%	5%
Carvajal- Sevillana	0%	6%	38%	84%
Ciudad Bolívar	0%	0%	2%	19%
Puente Aranda	0%	0%	2%	23%
Jazmín	0%	0%	1%	9%
Tunal	0%	0%	0%	11%
Usme	0%	0%	0%	4%
MinAmbiente	0%	0%	0%	4%
San Cristóbal	0%	0%	0%	3%

- **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, Suroccidente 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 en salud ambiental.

La Secretaría Distrital de Salud a través de la Subred Suroccidente, realiza acciones de Monitoreo Ambiental a nivel intramuros conforme a las competencias establecidas en la Ley 715 de 2001, realizando monitoreos intramurales de material particulado PM₁₀, PM_{2.5} y gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), amoníaco NH₃, compuestos orgánicos volátiles (VOC's) y formaldehído (H₂SO₄) así como monitoreos sobre olores ofensivos, en las localidades urbanas de Bogotá.

Es importante 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. Estos monitoreos pueden contribuir a una aproximación de la exposición intramural y tomar dichos resultados como línea base a la formulación de las concentraciones que se pueden encontrar a nivel intramuros.

Durante el año 2021, se realizaron 41 monitoreos intramurales en 18 localidades de la ciudad, para dichos monitores se priorizaron zonas con fuentes cercanas de emisiones atmosféricas fijas o móviles, como hornos crematorios (cementeros), industria cementera, relleno sanitario o sitios de disposición inadecuada de residuos sólidos, o actividades comerciales de manufactura, metalmecánica, mecánica automotriz, que puedan afectar negativamente a la población cercana. En la Tabla 11-8, se pueden ver los monitoreos intramurales totales por localidad.

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 DE CALIDAD DEL AIRE

Tabla 11-8 Monitoreos intramurales por localidad - Año 2021

Localidad	Contaminación del aire	Olores ofensivos
Usaquén	1	
Chapinero	3	
Barrios Unidos	1	2
Teusaquillo	1	2
Engativá	1	1
Suba	2	
Santa fe	3	
Los Mártires	2	
San Cristóbal	2	
Antonio Nariño	1	
Rafael Uribe	2	
Usme	2	1
Tunjuelito	3	
Ciudad Bolívar	3	
Bosa	2	
Kennedy	1	
Puente Aranda	4	
Fontibón	1	
Bogotá	35	6

Así mismo, en la Tabla 11-9 se muestran los monitoreos intramurales de material particulado dentro de la vigilancia de la línea realizados durante el periodo 2021, la cual involucra un promedio de los datos totales registrados durante el muestreo, dichos puntos se programaron y priorizaron teniendo en cuenta problemáticas asociadas a material particulado.

Tabla 11-9 Monitoreos intramurales material particulado por localidad – Año 2021

SUBRED	LOCALIDAD	PUNTO DE MONITOREO	MONITOREOS 2021						
			Material Particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
			FECHA INICIO	FECHA FINAL	PM ₁	PM _{2.5}	RESP	PM ₁₀	TOTAL
CENTRO ORIENTE	SANTA FÉ	Establecimiento comercial	13/04/2021	21/05/2021	22,46	22,70	23,48	24,95	20,50
		Establecimiento comercial	27/10/2021	8/11/2021	27,10	27,26	27,66	28,14	24,60
	SAN CRISTÓBAL	Unidad habitacional	23/09/2021	19/10/2021	11,11	11,20	11,44	11,78	7,77
	LOS MÁRTIRES	Geriátrico Oasis de Amor	17/003/2021	12/04/2021	22,12	22,30	22,82	23,81	20,45
SUR	CIUDAD BOLÍVAR	USS Casa de Teja	28/01/2021	23/02/2021	26,84	27,32	28,54	30,48	25,31
		Cemex de Colombia	25/02/2021	19/03/2021	43,76	45,68	48,18	54,50	46,58
	TUNJUELITO	CAPS San Benito	12/04/2021	6/05/2021	22,63	23,15	23,82	25,87	23,31
SUROCCIDENTE	PUENTE ARANDA	Establecimiento comercial	22/01/2021	15/02/2021	25,09	25,29	25,93	26,93	23,84

SUBRED	LOCALIDAD	PUNTO DE MONITOREO	MONITOREOS 2021						
			Material Particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
			FECHA INICIO	FECHA FINAL	PM ₁	PM _{2.5}	RESP	PM ₁₀	TOTAL
	BOSA	Unidad habitacional	24/03/2021	9/04/2021	22,22	22,77	23,34	24,69	19,22
NORTE	TEUSAQUILLO	Unidad habitacional	25/03/2021	9/04/2021	10,50	10,62	10,88	11,32	10,13
	CHAPINERO	Unidad habitacional	9/04/2021	26/05/2021	22,55	22,78	23,32	24,25	15,98
	SUBA	Cementerio Jardines del Recuerdo	29/01/2021	22/01/2021	20,92	21,28	21,62	22,34	20,77
	ENGATIVÁ	Unidad habitacional	24/02/2021	26/03/2021	38,06	38,39	39,17	40,30	38,07

11.3.1. ATENCIÓN Y GESTIÓN DE QUEJAS POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Como proceso de transversal a la vigilancia ambiental, se cuenta con la actividad de atención de 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.

Durante el año 2021 como se muestra en la Figura 11-19, se atendieron 208 quejas en Bogotá, lo que representa un incremento del 101,9% respecto al año anterior; del total de las quejas presentadas a durante 2021 se tiene que el 62,5% (130/208) se encontraban relacionadas a molestias por olores ofensivos, el 28,4% (59/208) de las peticiones estuvieron relacionadas a contaminación del aire y 9,1% (19/208) relacionadas a exposición al humo de tabaco.

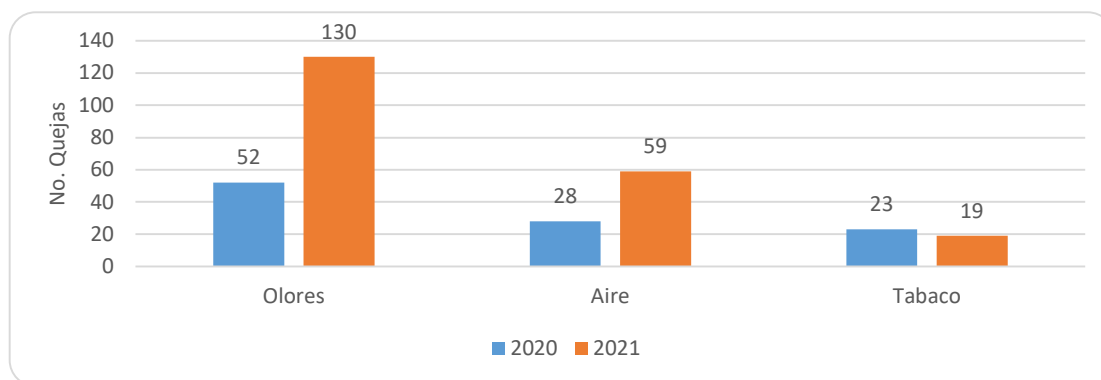


Figura 11-19 Atención a quejas por contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco, Bogotá, 2020-2021

Uno de los motivos por los cuales se observa un aumento en el número de quejas durante 2021, se debe a que, a partir del mes de abril hasta octubre de 2020, se suspendió la aplicación de encuestas en atención a quejas, atendiendo las restricciones y medidas de prevención a causa de la pandemia por COVID-19, sin embargo, respecto al número de quejas presentadas en el año 2019, se presentó una reducción de 7,5%.

En la Figura 11-20 se puede observar el número de quejas por Subred Integrada de Servicios de Salud, de las cuales la Subred Norte presentó el mayor porcentaje de quejas 40,9% (85/208), seguido por la Subred Suroccidente 30,3% (63/208), la Subred Sur 21,2% (44/208) y la Subred Centro Oriente 7,7% (16/208).

Las localidades que más reportaron quejas fueron Engativá 11,1% (23/208), Kennedy 10,6% (22/208) y Suba y Bosa 9,1% (19/208) cada una, mientras que las localidades que presentaron menos quejas fueron Puente Aranda 3,4% (7/208), Teusaquillo y San Cristóbal 2,9% (6/208) cada una y Rafael Uribe 1,0% (2/208), por otra parte, las localidades de Santa Fe, Los Mártires y Candelaria no se presentaron quejas.

En cuanto a quejas por olores ofensivos la localidad de Kennedy 13,1% (17/130), Engativá 11,5% (15/130), Suba y Ciudad Bolívar 10,0% (13/130) fueron las localidades con mayor número de quejas por este motivo.

En cuanto al número de quejas por contaminación del aire, las localidades de Bosa y Usme presentaron el mayor número de quejas, 13,6% (8/59) cada una, Suba, Engativá y Puente Aranda 8,5% (5/59), mientras que las localidades con menos quejas por este motivo fueron Teusaquillo, Tunjuelito, Antonio Nariño 1,7% (3/59) cada una, mientras que Fontibón, San Cristóbal y Rafael Uribe 1,7% (1/59) cada una, solo las localidades de Usaquén, Santa Fe, Los Mártires y La Candelaria no presentaron quejas.

La localidad con mayor número de quejas por exposición al humo de tabaco fue Fontibón con el 26,3% (5/19) de las quejas presentadas en la ciudad, le sigue las localidades de Engativá 15,8% (3/19), Usaquén, Barrios Unidos, Bosa y San Cristóbal 10,5% (2/19) cada una y Suba, Kennedy, Chapinero presentaron 5,3% (1/19) cada una, las demás localidades no presentaron quejas por este motivo.



Figura 11-20 Distribución de quejas por contaminación del aire, olores y humo de tabaco, por Subred - Año 2021

11.3.2. PROMOCIÓN DE LA SALUD Y PREVENCIÓN DEL RIESGO

Como un componente importante del proceso de salud ambiental se encuentran las actividades de información, educación y comunicación social del riesgo de la exposición a contaminación del aire a nivel intramuros y extramural, que van encaminadas al cambio de comportamiento, actitudes y prácticas de la comunidad y cuidados en salud, sin embargo producto de la pandemia de COVID-19 desde el mes de abril del año 2020 no se han realizado actividades que requieran convocatoria y aglomeración de personas, como medida de prevención de propagación del virus; es así que durante el año 2020, se realizaron actividades de información, educación y comunicación social del riesgo en temáticas de calidad del aire, ruido, tabaquismo donde participaron 2036 personas.

No obstante, se sigue brindando información, mediante publicación de infografías, difundidas en la página WEB y redes sociales de la Secretaría Distrital de Salud, como se muestra a continuación:

Tabla 11-10 Infografías temáticas de la línea de aire ruido y radiación electromagnética – Año 2021

TEMA	TÍTULO	ENLACE
Radiación Electromagnética	¿Un día sin red WI-FI?	https://drive.google.com/file/d/1SUtH6WTMVTVS9Zl8dgNnndxWSOIYgOIR/view
Radiación electromagnética	Usa saludablemente la tecnología	https://drive.google.com/file/d/12sMsaz8MMatDkmZBveaML4m9neLcmm03/view
Calidad del aire	17 de noviembre Cómo podemos contribuir para respirar un aire más puro	https://drive.google.com/file/d/1cUMvOuCWJMNjiEht_iR2DsHG1tFPjQr9/view
Olores Ofensivos	Un entorno saludable, es un entorno sin olores ofensivos	https://drive.google.com/file/d/1ym17jCoaO7DzidQrMVKn89iTp2xCeWiw/view
Olores Ofensivos	Olores ofensivos, ambiente y salud	https://drive.google.com/file/d/1HvGRQlzW2ir6xEITxqUByoQbPYnAb_Uk/view
Calidad del aire	Preservar la capa de ozono, es preservar la vida en el planeta	https://drive.google.com/file/d/1jMGHegnhUO8xaviIWDeAyAdHFmJID2CZ/view
Tabaco	Dispositivos electrónicos de tabaco	https://drive.google.com/file/d/1B6dUHOVbtFpfDKMuj3oZDFBBePbljznq/view
Tabaco	COVID y dispositivos 2021.	https://drive.google.com/file/d/1IWqkEcozuQ-jcZbHtAJUiWh-dMSIMqbh/view
Calidad del aire	Día interamericano de la calidad del aire	https://drive.google.com/file/d/1Ez44Fnxu_Lw1w0pcdTfmzZFbikx9ZKq/view
Calidad del aire	¿Qué aire queremos respirar?	https://drive.google.com/file/d/1PHM1ZgOeuO5O00uT22LiOgqHtZKk0Bl/view
Radiación Electromagnética	Día internacional contra la contaminación electromagnética	https://drive.google.com/file/d/1rUeO5SRaBbS6HrI5aqy8jWUk1OfZpS8W/edit
Calidad del aire	Semana Ambiental	https://drive.google.com/file/d/1_piFikbFqslfCs3oJDN-zm5L3DYd8Es7/view

TEMA	TÍTULO	ENLACE
Tabaco	Día Mundial sin Tabaco	https://drive.google.com/file/d/1_xdmAqojKrqa6seEWtfd1Yw1EHXV9e2Z/edit
Ruido	Cuidado del oído y la audición	https://drive.google.com/file/d/1n_eWX9Oo-hgazZQelKa4Py2vjPT9fK4-/view
Ruido	Día internacional de concienciación sobre el Ruido	https://drive.google.com/file/d/1KCRGX4MEgdUZQIB8P49aEinytKDYHJy/edit
Calidad del aire	Efectos en la salud por contaminación del aire	https://drive.google.com/file/d/109EZxKbV3w2ZtqeNyu5BkfHRiBwlgQbQ/edit
Calidad del aire	Contaminación del aire	https://drive.google.com/file/d/1RKRR_lmsHFA8og8sfH6TezqH2BFS5usd/edit
Ruido	Cuida tu sueño, garantiza un buen futuro	https://drive.google.com/file/d/1eekvFB2_80cRyJmLdFq3v95uaB7IRYHH/view
Tabaco	Humo de tabaco de segunda y tercera mano	https://drive.google.com/file/d/1ivbeL5-Wp4QD5K4btHvPi5-2vuzYiD7f/edit
Tabaco	Normas para el control de tabaco en propiedad horizontal	https://drive.google.com/file/d/1ivbeL5-Wp4QD5K4btHvPi5-2vuzYiD7f/edit
Tabaco	Productos de tabaco y sistemas electrónicos con o sin dispensación de nicotina y similares	https://drive.google.com/file/d/1VW4ickHo6msr52XTj0TJbTQGZyJ9G0gB/edit



Figura 11-21 La contaminación atmosférica es el mayor riesgo ambiental para la salud pública mundial y se estima que el 92% de la población está expuesto al aire contaminado, lo que causa aproximadamente siete millones de muertes prematuras cada año

- ▶ Cambiar las bolsas de plástico por otras reutilizables (canastos, bolsas de tela).
- ▶ Usar bombillas y lámparas LED.
- ▶ Elegir papel 100% reciclado y blanqueado sin cloro.
- ▶ No usar vasos, platos y cubiertos de plástico cuando estés fuera de casa.
- ▶ Comprar tu comida a granel y evita el exceso de bolsas.
- ▶ Adquirir electrodomésticos de mayor eficiencia energética.
- ▶ Evitar la quema de residuos, basura o llantas.
- ▶ Aplicar las tres R: reducir, reusar y reciclar.
- ▶ Evitar el uso de aerosoles que contengan gases de efecto invernadero.
- ▶ Evitar el uso del automóvil durante las horas pico; en su lugar usar el transporte público, bicicleta o caminar.
- ▶ Apagar el motor cuando el vehículo o moto se encuentre detenido.

Figura 11-22 ¿Cómo podemos contribuir para respirar un aire más puro?
Consulté aquí: https://drive.google.com/file/d/1cUMvOuCwJMNjiEHt_iR2DsHG1tFPjQr9/view



¿Qué conoces sobre los dispositivos electrónicos de tabaco?

"PTC, SEAN Y SESN"

Sabías qué...

Los Productos de Tabaco Calentados "PTC"
Se compone de aerosoles que contienen nicotina y otras sustancias químicas. Calientan el tabaco hasta **350°C** con sistemas alimentados por baterías.(2)

Los Sistemas Electrónicos de Administración Con Nicotina y Sin Nicotina "SEAN" Y "SESN"
Generan un aerosol que suele contener saborizantes, aromatizantes, normalmente disueltos en propilenglicol o glicerina vegetal, mediante el calentamiento de una solución líquida. Pueden contener nicotina (**SEAN**) o no (**SESN**) comúnmente conocidos como "**VAPEADORES o Mods**".(3)

Figura 11-23 ¿Qué conoces sobre los dispositivos electrónicos de tabaco?
Consulte aquí: <https://drive.google.com/file/d/1B6dUHOVbtFpfDKMuj3oZFDfBePbljznq/view>



- Usar tapabocas el tiempo que considere necesario para mitigar el olor percibido.
- Si la fuente generadora es intramural, se sugiere abrir ventanas o utilizar los sistemas de ventilación disponibles.
- Si la fuente generadora es extramural, se sugiere evitar que el olor ingrese a la unidad habitacional o sitio afectado a través del flujo del aire, por ende, se pueden cerrar puertas y ventanas.
- Las comunidades y las industrias pueden trabajar juntas para controlar olores utilizando «Leyes y ordenanzas de control de olores» (2).



Figura 11-24 Recomendaciones para proteger nuestra salud.

Puede consultarla en el siguiente enlace: <https://drive.google.com/file/d/1ym17jCoaO7DzidQrMVKn89iTp2xCeWiw/view>

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Enfermedad Respiratoria Aguda. Vigilancia en Salud Pública.* . (2021). Obtenido de <http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Paginas/ENFERMEDADRESPIRATORIAAGUDA.aspx>
- A.Labbé. (2014). *Tabaquismo pasivo en el niño*. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1245178914672723>
- Arciniegas , A., Rodríguez , C., Pachón , J., Sarmiento , H., & Hernández , L. (2006). *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*. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892006000100002
- Arellano EE, F., Schilman A, HurtadoDíaz M, Texcalac Sangrador JL, & Riojas Rodríguez H. (2020). *Revisión rápida: contaminación del aire y morbimortalidad por Covid-19*. Obtenido de Salud Pública de México: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=95392>
- Bautista, N. (2020). *Colombia mantiene tendencia a la baja en consumo de tabaco*. Obtenido de MinSalud: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-mantiene-tendencia-a-la-baja-en-consumo-de-tabaco.aspx>
- Chinchilla Araya, T., & Durán Monge, M. (2019). *Efectos fetales y posnatales del tabaquismo durante el embarazo*. Obtenido de Scielo: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152019000200068
- Dimensión de Salud Ambiental, Plan Decenal de Salud Pública.* (2012 - 2021). Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-saludambiental.pdf>
- Dr Ubilla , C., & Dra Yohannessen , K. (2021). *Contaminación Atmosférica Efectos en la Salud Respiratoria en el niño*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S071684017300214>
- El impacto mundial de la enfermedad respiratoria.* (2021). Obtenido de https://www.who.int/gard/publications/The_Global_Impact_of_Respiratory_Disease_ES.pdf
- EPA, U. (Diciembre de 2020). *List of designated reference and equivalent methods*. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-08/documents/designated_reference_and-equivalent_methods.pdf

FOPAE. (2001). *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Rio Tunjuelito*. Bogotá D.C.

GAW Report, & Petzold et al. (2013, 2016).

Hastenrath, S. (1991). *Climate Dynamics of the Tropics*. Madison: Kluwer Academic Publisher.

Hernández, J., Aristizabal, G., Slagado, Y., Cantor, L., Medina, K., & Reyes, J. (2012). *Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidades de Bogotá*. Obtenido de Sociedad Colombiana de Pediatría: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0120491215300112>

Ichoku. (2008). *Estimating smoke emissions over the US Southern Great Plains using MODIS fire radiative power and aerosol observations*. Atmospheric Environment.

Instituto Nacional de Cancerología - ESE. (2021). *Instituto Nacional de Cancerología*. Obtenido de <https://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/Hoja%20informativa%20tabaco%202019.pdf>

LII, L. (2020). *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*. Obtenido de https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-Table_A-1_to_subpart_A_of_part_53

María Piñero-Iglesias, J. A.-G.-L.-M.-R. (2021). *Study of Temporal Variations of Equivalent Black Carbon*. Applied Sciences.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*.

Montoya Gaviria, G. de J, & Eslava Ramírez, J. A. (2000). *Análisis de las condiciones que favorecen el desarrollo de la actividad convectiva de las tormentas eléctricas en la Sabana de Bogotá*. Earth Sciences Research Journal.

OMM. (2010). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos* (Vols. OMM-No 8). Ginebra, Zuisa: OMM.

OMS, O. M. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Obtenido de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

Organización Mundial de la Salud - OMS. (2021). Obtenido de Calidad del aire y Salud: [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)

Organización Panamericana de la Salud - OPS. (2021). Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

Oyarzún G, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias.*

Plan de Desarrollo: Mejorar la calidad el aire 10%, prioridad para esta administración. . (2020 - 2024). Obtenido de http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/historial-de-noticias/-/asset_publisher/1RkX/content/plan-de-desarrollo%3A-mejorar-la-calidad-del-aire-10-prior

Saldías Peñafiel, F., Elola Aránguiz, J., Uribe Monasterio, J., Morales Soto, A., & Díaz Patiño, O. (2016). *Predictores clínicos y funcionales del riesgo de cáncer pulmonar en el seguimiento de una cohorte de adultos fumadores.* Obtenido de Rev Med Chile : <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rmc/v144n11/art03.pdf>

Salud, O. P. (2012). *Unidad de Atención de Enfermedad Respiratoria Aguda Comunitaria UAERAC/UAIRAC.* Obtenido de Manual para Agentes Comunitarios Voluntarios de Salud: https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/UAIRAC_15062012%5B1%5D.pdf

Sandradewi. (2008). *Using Aerosol Light Absorption Measurements for the Quantitative Determination of Wood Burning and Traffic Emission Contributions to Particulate Matter.* ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY.

Secretaria Distrital de Salud. (2011). *Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá, D.C. Decreto N° 566 de 2011.* Obtenido de <http://www.saludcapital.gov.co/Paginas2/PoliticadeSaludambiental.aspx>

Solarte, P., Caicedo, M., & Restrepo, S. (2021). Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá . https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/20110628lec.ad.articulo_estudio_iv_an_solarte.pdf.

Soldevila, N., Vinyoles, E., Agudo Ugena, J., & Camps Vila, L. (2018). Contaminación atmosférica, riesgo cardiovascular e hipertensión arterial.

Vargas, Sandra. (2008). Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y en adultos mayores. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica,* <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v11n1/v11n1a06.pdf>.

13. ANEXOS

A. Lectura de gráficos de cajas

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

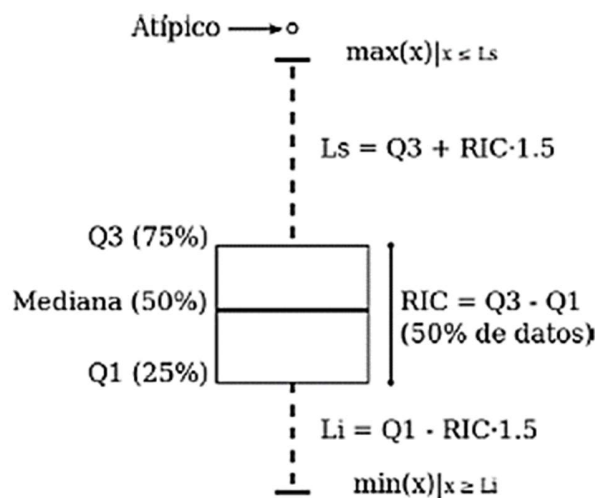


Figura 13-1 Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes.

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. **Li**, límite inferior, corresponde a $Q_1 - (RIC \times 1.5)$, donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ($Q_3 - Q_1$). **Ls**, 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. Diagramas de cajas de datos 24h, 1h y 8h de los contaminantes en 2021

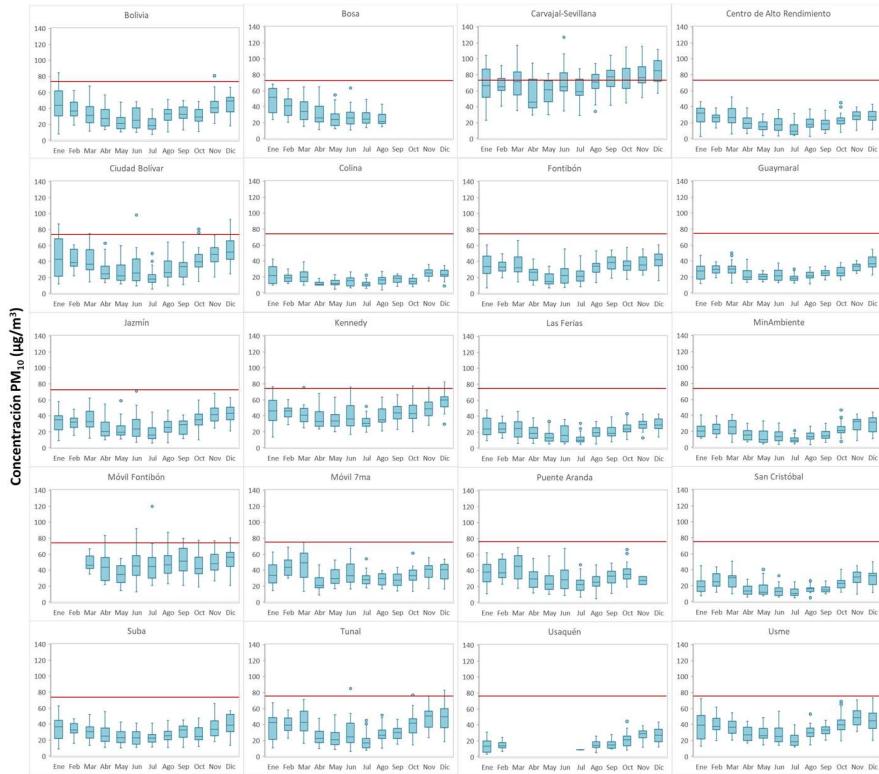


Figura 13-2. Diagrama de cajas de concentraciones 24h de PM₁₀ por mes y por estación en el año 2021

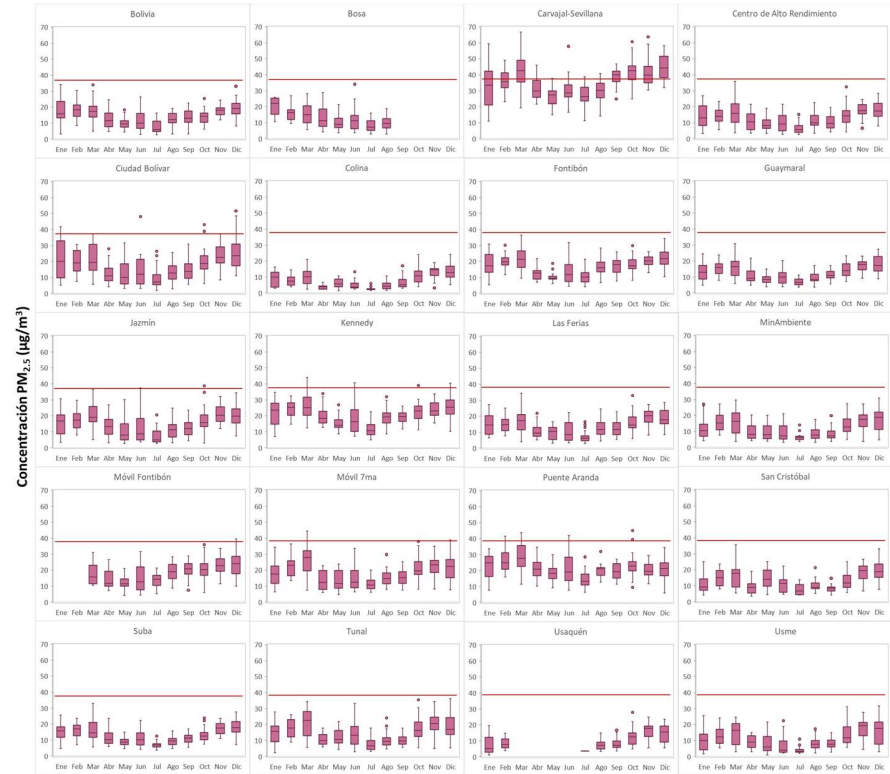


Figura 13-3. Diagrama de cajas de concentraciones 24h de PM_{2.5} por mes y por estación en el año 2021

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 DE CALIDAD DEL AIRE

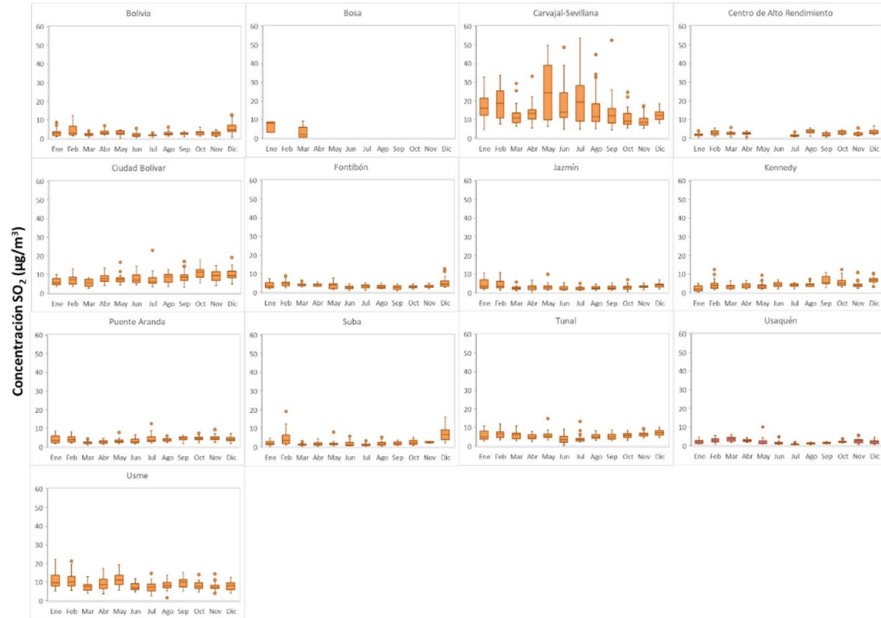


Figura 13-4. Diagrama de cajas de concentraciones 24h de SO₂ por mes y por estación en el año 2021

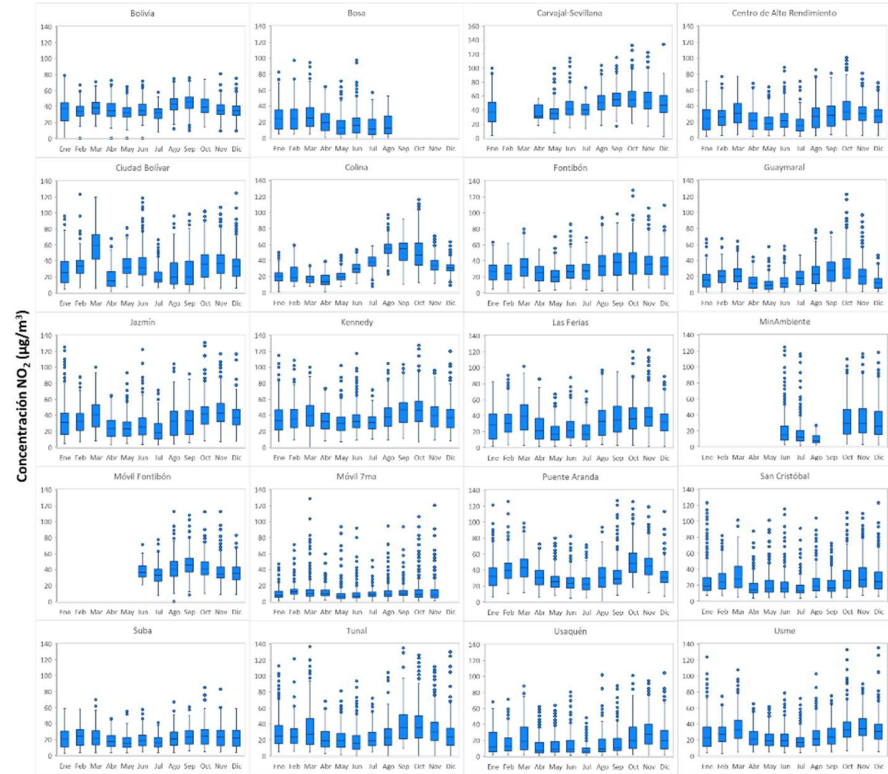


Figura 13-5. Diagrama de cajas de concentraciones 1h de NO₂ por mes y por estación en el año 2021

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 DE CALIDAD DEL AIRE

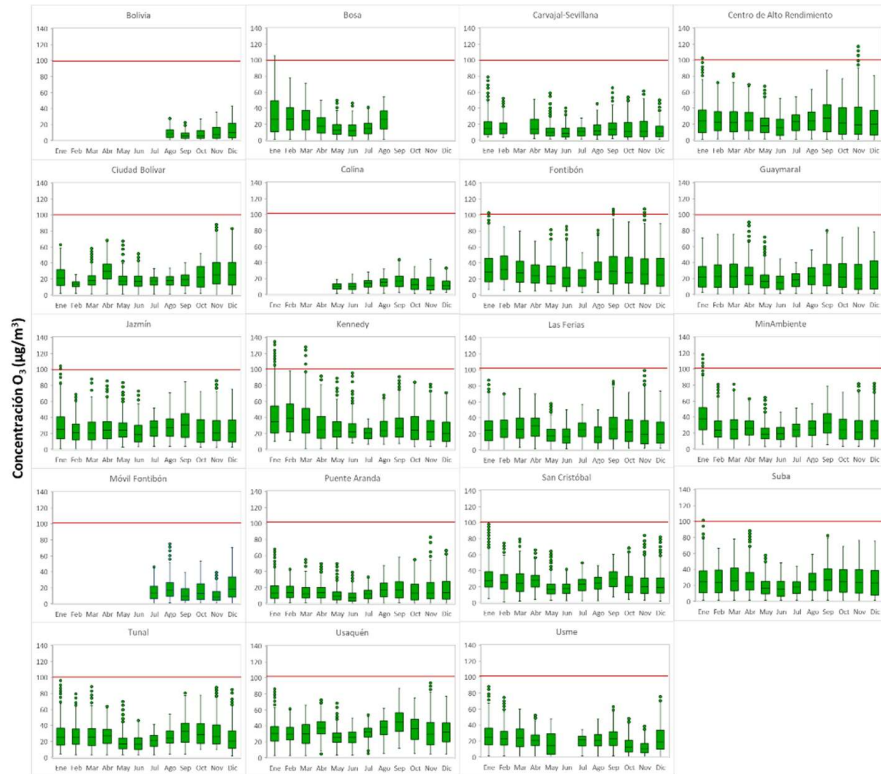


Figura 13-6. Diagrama de cajas de concentraciones 8h de O_3 por mes y por estación en el año 2021

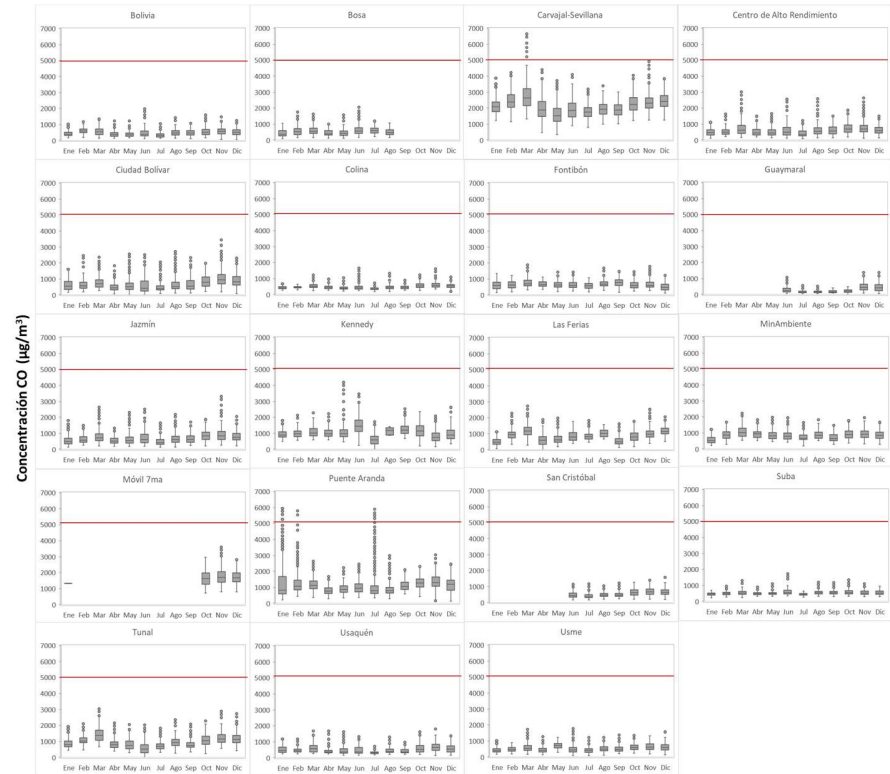


Figura 13-7. Diagrama de cajas de concentraciones 8h de CO por mes y por estación en el año 2021

C. 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente:

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

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

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°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:

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

Donde:

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

P: presión atmosférica [Pa]

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

T: temperatura absoluta [K]

D. 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	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	

E. 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 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 2021.

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

FIN DEL INFORME