



# INFORME MENSUAL DE CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ

Diciembre 2019

Red de Monitoreo de Calidad del Aire  
de Bogotá - RMCAB



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.

  
**BOGOTÁ**  
Secretaría de Ambiente



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

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

**Carolina Urrutia Vásquez**  
Secretaria Distrital de Ambiente

**Julio Cesar Pulido Puerto**  
Subsecretario General y de Control Disciplinario

**Carmen Lucía Sánchez Avellaneda**  
Directora de Control Ambiental

**Oscar Alexander Ducuara Falla**  
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

**José Hernán Garavito Calderón**  
Profesional Especializado de la RMCAB

**Luis Álvaro Hernández González**  
Coordinador Técnico de la RMCAB

**Leonardo Quiñones Cantor**  
Profesional Especializado del SATAB

**Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez**  
**Eaking Ballesteros Urrutia**  
**Edna Lizeth Montealegre Garzón**  
Grupo de Validación y Análisis de la RMCAB

**Darío Alejandro Gómez Flechas**  
**Henry Ospino Dávila**  
**Luz Dary González González**  
**Jesús Alberto Herrera Dallos**  
Grupo de Operación de la RMCAB

## 1 INTRODUCCIÓN

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB es propiedad de la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA desde el año 1997, la cual realiza el monitoreo de los contaminantes PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO, y las variables meteorológicas precipitación, temperatura, presión atmosférica, radiación, solar, velocidad y dirección del viento. A continuación, se presenta el análisis de los datos registrados durante el mes de diciembre de 2019, teniendo en cuenta que se muestran los resultados que tuvieron una representatividad temporal mayor al 75% del tiempo.

En la siguiente tabla se muestran las estaciones activas para el mes de diciembre de 2019, las abreviaturas de las estaciones usadas en las tablas y gráficas, y los números con los que se identifican en los mapas.

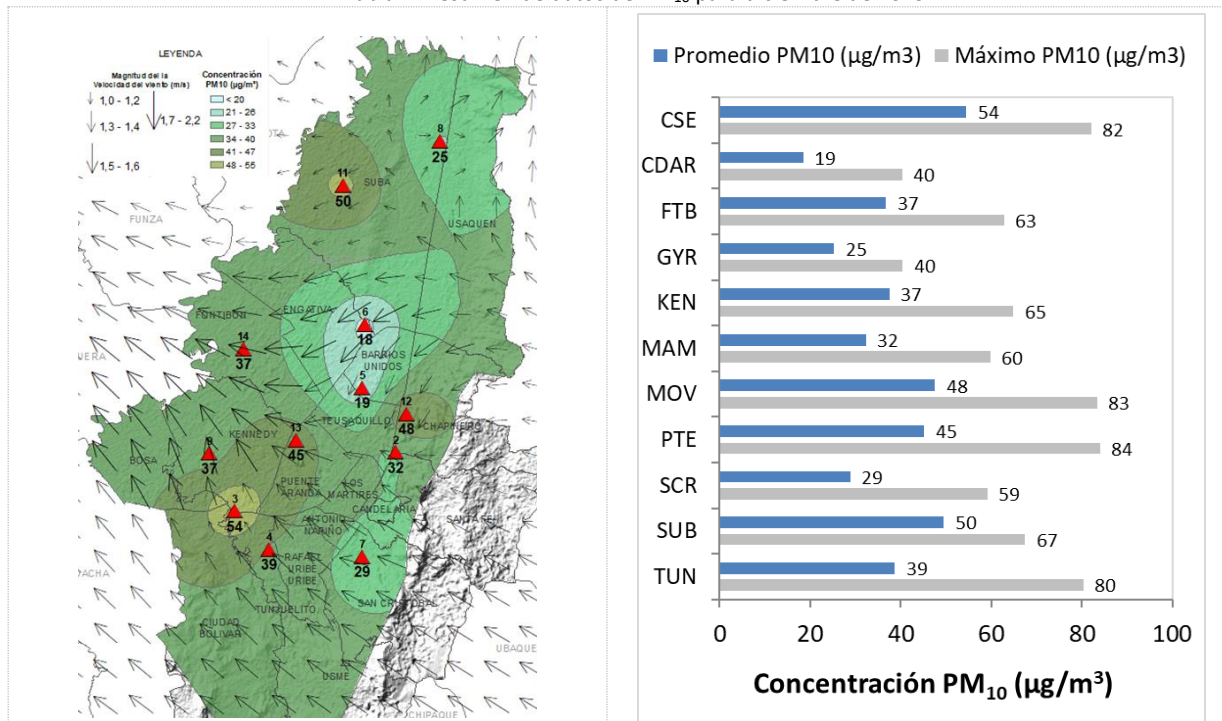
Estación	Guaymaral	Usaquén	Suba	Las Ferias	Centro de Alto Rendimiento	MinAmbiente	Móvil 7ma	Fontibón	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal-Sevillana	Tunal	San Cristóbal	Bolivia
Abrev.	GYR	USQ	SUB	LFR	CDAR	MAM	MOV	FTB	PTE	KEN	CSE	TUN	SCR	BOL
No. Estación	8	1	11	6	5	2	12	14	13	9	3	4	7	10

## 2 COMPORTAMIENTO TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE PM<sub>10</sub>

La Tabla 1 muestra los datos obtenidos para material particulado PM<sub>10</sub> en el mes de diciembre de 2019, incluyendo las concentraciones promedio mensuales, concentraciones diarias máximas, número de excedencias a la norma diaria establecida por la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y porcentaje de datos válidos en el mes (de acuerdo al total de datos diarios registrados), además de la distribución espacial de las concentraciones.

En este mes, las concentraciones promedio mensual más altas se presentaron en la zona suroccidente de la ciudad en la estación Carvajal - Sevillana (**54.5 µg/m<sup>3</sup>**) y en la zona noroccidente en la estación Suba (**49.5 µg/m<sup>3</sup>**), mientras que las menores concentraciones se registraron en la zona centro de la ciudad, en la estación Centro de Alto Rendimiento (**18.5 µg/m<sup>3</sup>**) y en el norte en la estación Guaymaral (**25.3 µg/m<sup>3</sup>**). Las concentraciones de PM<sub>10</sub> en este mes permanecen altas al suroccidente de la ciudad, y también se incrementaron en la zona noroccidente, debido a una reducción en la velocidad del viento; por otro lado se observó un descenso notable de las concentraciones en el centro de la ciudad, por influencia del incremento en las velocidades del viento en esta zona, que contribuyeron a la dispersión de los contaminantes en proporción más alta que en meses anteriores. Las concentraciones máximas diarias más altas para el mes corresponden a **84.0 µg/m<sup>3</sup>** en la estación Puente Aranda, y **83.4 µg/m<sup>3</sup>** en la Estación Móvil; las concentraciones diarias máximas registradas en estas estaciones sobrepasaron el nivel máximo definido por la norma nacional diaria (75 µg/m<sup>3</sup>).

Tabla 1. Resumen de datos de PM<sub>10</sub> para diciembre de 2019



Est.	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR*	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN
<b>Prom. PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>	54.5	18.5	36.7	25.3	37.5		32.3	47.5	45.2	28.9	49.5	38.7
<b>Máx. PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>	82.0	40.3	62.9	40.4	64.9	32.8	59.8	83.4	84.0	59.1	67.4	80.4
<b>Exc. 24h</b>	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	1
<b>Datos válidos (%)</b>	90%	87%	100%	97%	90%	71%	100%	100%	100%	90%	100%	100%

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

La Figura 1 presenta las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> del mes comparadas con el valor máximo establecido por la norma nacional. De acuerdo a la ubicación, se observa que las concentraciones más altas de PM<sub>10</sub> se presentaron en el suroccidente de la ciudad (Carvajal-Sevillana y Puente Aranda) y centro-oriente (Estación Móvil 7ma), principalmente en los la primera semana del mes. Las concentraciones diarias más bajas se observaron en la zona centro (Las Ferias), durante la segunda semana del mes. En este periodo se registraron seis (6) excedencias de los promedios diarios de concentración con respecto a la norma nacional diaria de PM<sub>10</sub> según la Resolución 2254 de 2017 del MADS (75 µg/m<sup>3</sup>), en las estaciones Móvil 7ma (3), Carvajal-Sevillana (1), Puente Aranda (1) y Tunal (1).

El monitor de PM<sub>10</sub> de la estación Usaqué registró un comportamiento diferente al del monitor de PM<sub>2.5</sub>, por lo cual, estuvo en mantenimiento y observación operativa lo que obligó a invalidar la mayoría de los datos del mes y por lo cual no se incluyeron en el análisis de diciembre.

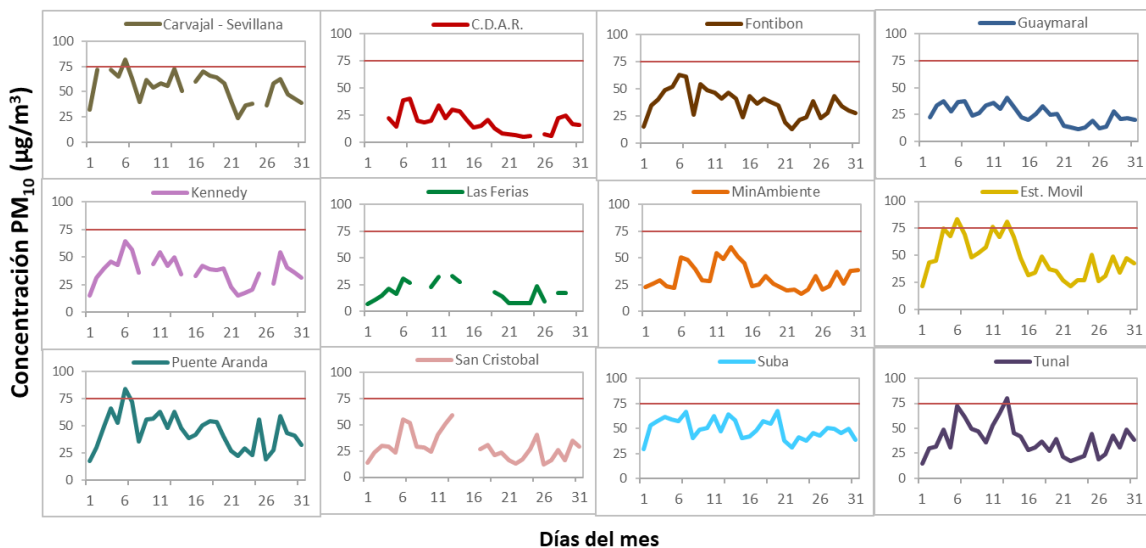


Figura 1. Comportamiento de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> para diciembre de 2019

La Figura 2 presenta el comportamiento interanual de las concentraciones promedio mensual de PM<sub>10</sub> para el mes de diciembre en los últimos 4 años. Se observa que en la mayoría de las estaciones los registros del 2019 fueron menores a los de años anteriores, a excepción de la estación móvil y San Cristóbal, que presentaron aumentos en relación al valor del 2018.

Las concentraciones más altas para este mes se registraron en el año 2016, y se observa en general una tendencia a la reducción de las concentraciones; la mayor reducción se registró en Kennedy con una diferencia de 12 µg/m<sup>3</sup>.

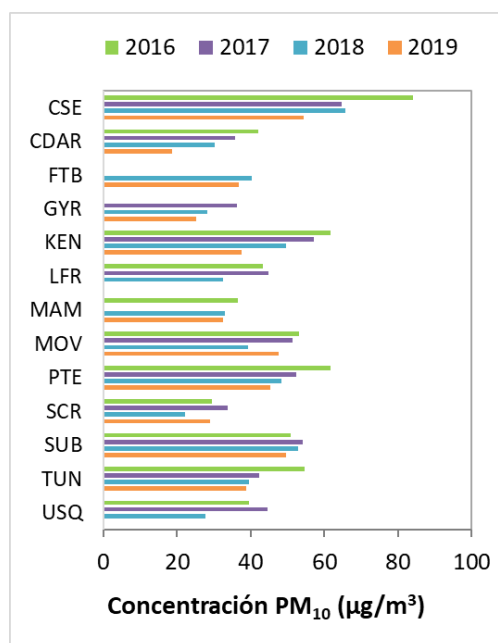


Figura 2. Comportamiento interanual de las concentraciones de PM<sub>10</sub> (2016-2017-2018-2019) para los meses de diciembre

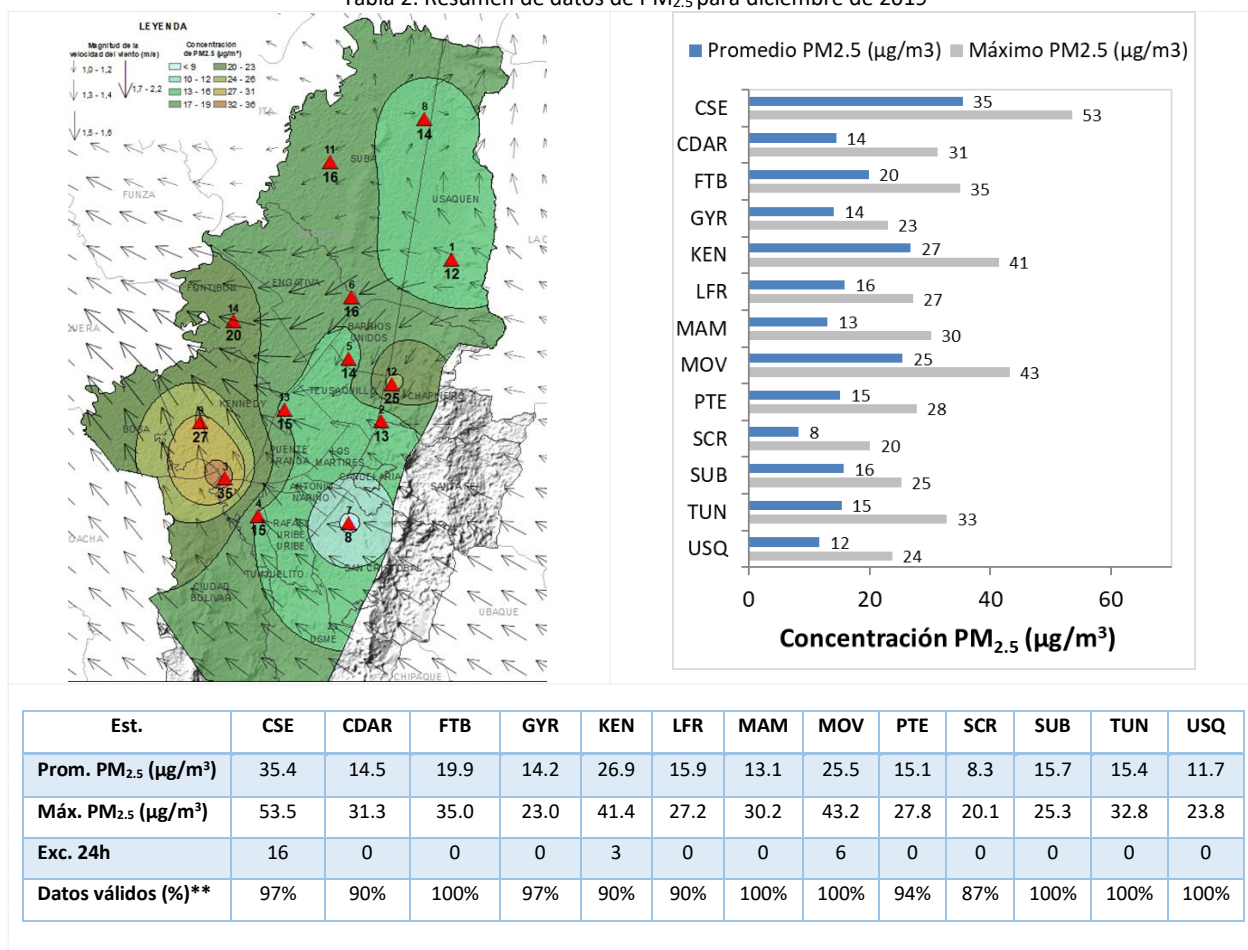
### 3 COMPORTAMIENTO TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE PM<sub>2.5</sub>

La Tabla 2 muestra los datos obtenidos para material particulado PM<sub>2.5</sub> en el mes de diciembre de 2019, incluyendo las concentraciones promedio mensuales, concentraciones diarias máximas, número de excedencias a la norma diaria establecida por la

Resolución 2254 de 2017 del MADS y el porcentaje de datos válidos en el mes (de acuerdo al total de datos diarios registrados), además de la distribución espacial de las concentraciones.

Se evidencia que las concentraciones promedio mensuales más altas se presentaron en la zona suroccidental de la ciudad en las estaciones Carvajal - Sevillana con **35.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  y Kennedy con **26.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** ; mientras que las menores concentraciones se registraron en el suroriente de la ciudad en San Cristóbal con **12.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  y en el norte de la ciudad la estación Usaquén con **11.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . La concentración máxima diaria de  $\text{PM}_{2.5}$  más alta en el mes fue de **53.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  en la estación Carvajal - Sevillana, seguida de **43.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  en la Estación Móvil; dichas concentraciones máximas excedieron la norma nacional diaria (37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Tabla 2. Resumen de datos de  $\text{PM}_{2.5}$  para diciembre de 2019



\*\* Los promedios diarios calculados no tienen en cuenta los ceros registrados en los datos horarios de cada día, sin embargo, si se incluyeron para la estimación del porcentaje de datos válidos, para no afectar el número de mediciones válidas obtenidas en el mes.

La Figura 3 presenta las concentraciones diarias de  $\text{PM}_{2.5}$  comparadas con el nivel máximo permisible establecido por la norma nacional. De acuerdo a la ubicación, se observa que las concentraciones más altas de  $\text{PM}_{2.5}$  se presentaron en la zona suroccidente (Carvajal-Sevillana y Kennedy) y en la zona centro oriente en la estación Móvil, en las dos primeras semanas del mes; mientras que las concentraciones más bajas se registraron en la zona suroriente (San Cristóbal) y

centro (MinAmbiente), la cuarta semana del mes. En diciembre de 2019 se presentaron veinticinco (25) excedencias al valor establecido por la norma nacional diaria de  $PM_{2.5}$  ( $37 \mu g/m^3$ ), en las estaciones Carvajal-Sevillana (16), Móvil (6), y Kennedy (3).

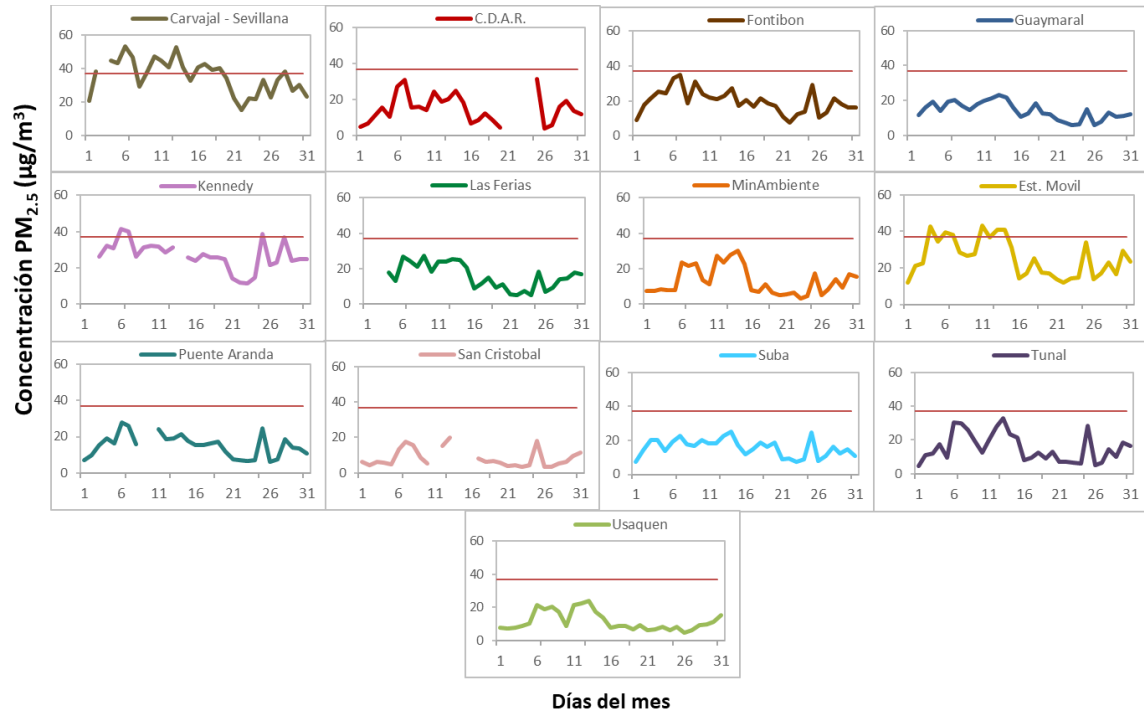


Figura 3. Comportamiento de las concentraciones diarias  $PM_{2.5}$  para diciembre de 2019

La Figura 4 presenta el comportamiento interanual de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  para el mes de diciembre en los últimos 4 años. Se evidencia que en las estaciones Carvajal – Sevillana, Kennedy y Tunal predominan las concentraciones más altas durante el mes.

En algunas estaciones los registros más altos se obtuvieron en el año 2016, y en otras estaciones en el año 2019, en diferentes ubicaciones de la ciudad. La estación Carvajal-Sevillana registró el dato más alto de los últimos cuatro años en el 2019.

La mayor disminución de concentración respecto al año anterior se registró en Puente Aranda, con  $3 \mu g/m^3$ .

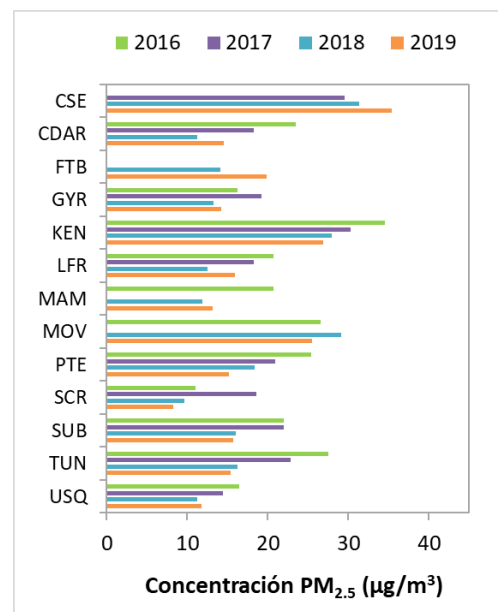


Figura 4. Comportamiento interanual de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  (2016-2017-2018-2019) para los meses de diciembre

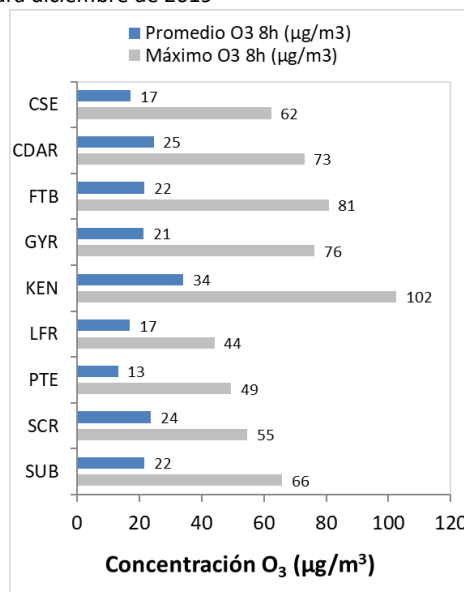
#### 4 COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO (O<sub>3</sub>). PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS.

La Tabla 3 presenta los datos obtenidos para ozono (O<sub>3</sub>) en el mes de diciembre de 2019, incluyendo los promedios mensuales, concentraciones 8 horas máximas, número de excedencias a la norma 8 horas establecida por la Resolución 2254 de 2017 del MADS y porcentaje de datos válidos en el mes (de acuerdo al total de datos de media móvil 8 horas).

Se observa que las mayores concentraciones como promedio mensual con base en datos 8 horas se presentaron en la zona suroccidente y centro de la ciudad, en la estación Kennedy con **34.042 µg/m<sup>3</sup>** y en Centro de Alto Rendimiento con **24.632 µg/m<sup>3</sup>**, mientras que las menores concentraciones se presentaron en la zona occidente, en la estación Puente Aranda con **13.139 µg/m<sup>3</sup>** y la estación Las Ferias (**16.951 µg/m<sup>3</sup>**). Se observa que en este mes se mantienen los cambios en la distribución espacial de las concentraciones de ozono, las cuales han aumentado en la zona de influencia de Kennedy y del centro de la ciudad, por posibles cambios en la química de la atmósfera. La concentración máxima más alta con base en promedios 8 horas fue de **102.465 µg/m<sup>3</sup>** en la estación Kennedy; la cual excedió la norma nacional 8 horas (100 µg/m<sup>3</sup>).

Tabla 3. Resumen de datos de O<sub>3</sub> para diciembre de 2019

	Prom. O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Máx. O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exc. 8h	Datos válidos (%)
CSE	17.245	62.367	0	99%
CDAR	24.632	73.011	0	100%
FTB	21.654	80.834	0	97%
GYR	21.307	76.191	0	100%
KEN	34.042	102.465	3	97%
LFR	16.951	44.145	0	100%
MAM*	14.614	56.702	0	59%
PTE	13.139	49.442	0	98%
SCR	23.637	54.715	0	90%
SUB	21.572	65.899	0	100%
USQ*	29.240	64.771	0	70%



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

La Figura 5 presenta el comportamiento de los datos promedio media móvil 8 horas durante el mes de diciembre y la comparación respecto a la norma nacional 8 horas. De acuerdo a las gráficas por estación, se observa que las concentraciones más altas de O<sub>3</sub> se presentaron en las zonas occidente y centro de la ciudad, en las estaciones Kennedy, Fontibón y Centro de Alto Rendimiento, durante la segunda semana del mes; mientras que las concentraciones más bajas se observaron en la zona de influencia de las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda, en la tercera semana del mes. Se



observa que las bajas concentraciones se mantienen hacia el sur de la ciudad, y hay reducciones de las concentraciones de ozono al norte respecto a otros meses. En diciembre de 2019, se registraron tres (3) excedencias en la estación Kennedy de los promedios 8 horas de concentración con respecto a la norma nacional 8 horas de O<sub>3</sub> según la Resolución 2254 de 2017 del MADS (100 µg/m<sup>3</sup>).

Las estaciones MinAmbiente y Usaquén registraron una representatividad temporal menor al 75%, debido a que se están ajustando los equipos y se presentaron varios datos inválidos bajo el rango normas de las concentraciones.

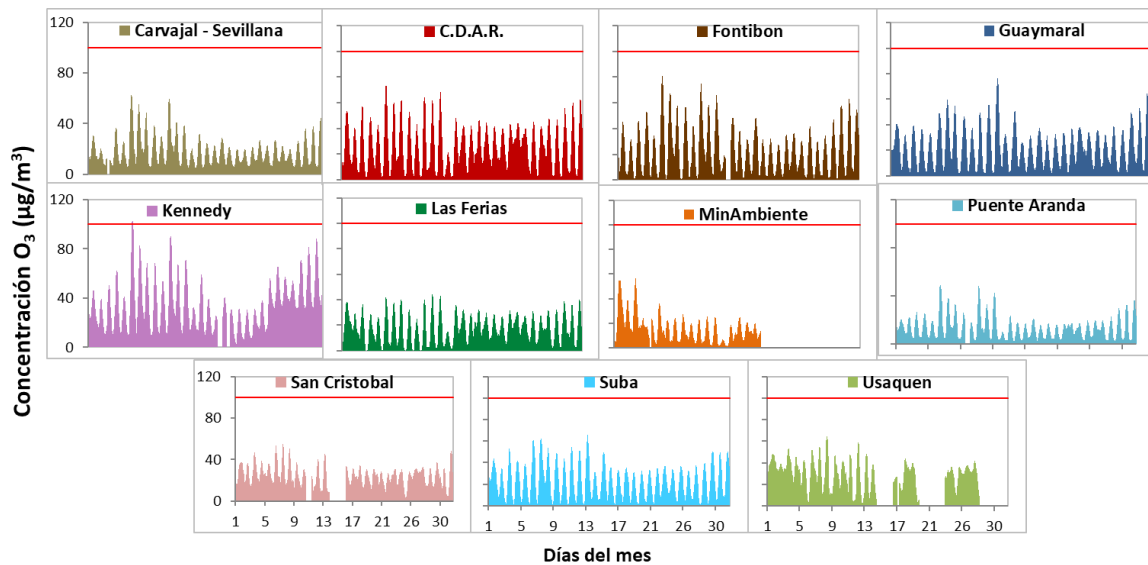


Figura 5. Comportamiento de las concentraciones 8h de O<sub>3</sub> para diciembre 2019 y comparación con norma nacional.

La Figura 6 muestra el comportamiento interanual de las concentraciones de O<sub>3</sub> del mes de diciembre en los últimos 4 años. Se observa que hay variaciones diferentes de las concentraciones en la ciudad, en el norte Usaquén registró el valor más alto en 2018, en el occidente la estación Kennedy registró la concentración más alta de ozono en diciembre para los últimos cuatro años, en el oriente las concentraciones más altas se registraron en 2018, y en el suroccidente se mantienen estables.

Kennedy registró el mayor incremento de la concentración respecto al 2018, con 12 µg/m<sup>3</sup>.

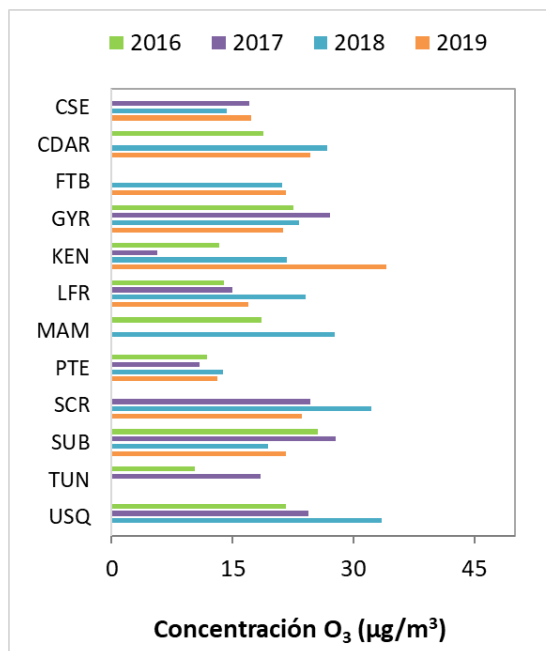
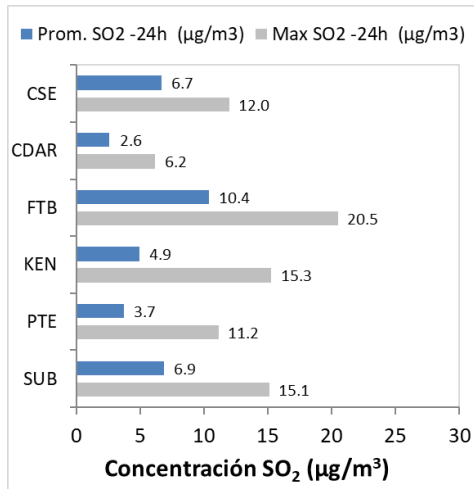


Figura 6. Comportamiento interanual de las concentraciones de O<sub>3</sub> (2016-2017-2018-2019) para los meses de noviembre

## 5 COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO.

La Tabla 4, Tabla 5, y Tabla 6 presentan las concentraciones promedio mensuales y máximas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO), correspondientes al mes de diciembre de 2019. Igualmente se presenta el resumen de datos válidos y las excedencias, donde se observa que las concentraciones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO, presentaron magnitudes relativamente bajas durante el mes, e históricamente las concentraciones se han mantenido por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad vigente (Resolución 2254 de 2017 del MADS) en sus respectivos tiempos de exposición; solamente se registraron dos (2) excedencias en las estaciones Carvajal-Sevillana y Suba a la norma horaria de SO<sub>2</sub> (100 µg/m<sup>3</sup>). Adicionalmente, la afectación a la salud pública causada por los efectos potenciales de estos contaminantes es menor que la generada por el material particulado y el ozono.

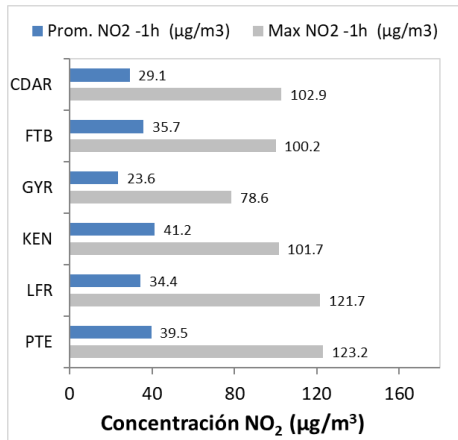
Tabla 4. Resumen de los promedios 24 horas para SO<sub>2</sub>. diciembre 2019.



Est.	Prom. SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Máx. SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exc. 24h	Exc. 1h	Datos válidos (%)
CSE	6.7	12.0	0	1	97%
CDAR	2.6	6.2	0	0	100%
FTB	10.4	20.5	0	0	100%
KEN	4.9	15.3	0	0	100%
PTE	3.7	11.2	0	0	100%
SUB	6.9	15.1	0	1	100%
TUN*	2.7	3.3	0	0	58%
USQ*	1.8	4.6	0	0	52%

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

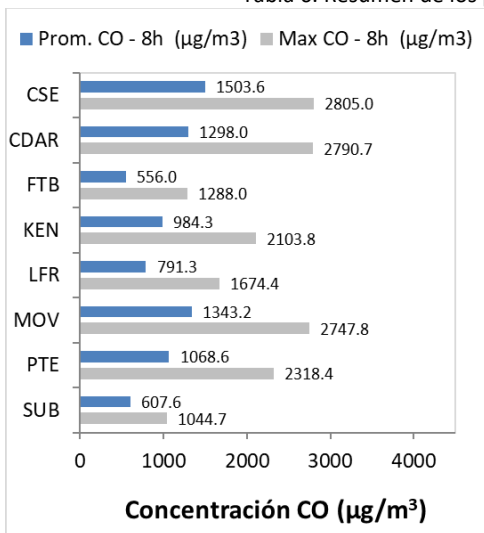
Tabla 5. Resumen de los promedios horarios para NO<sub>2</sub>. diciembre 2019.



Est.	Prom. NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Máx. NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exc. 1h	Datos válidos (%)
CSE*	47.4	107.6	0	48%
CDAR	29.1	102.9	0	99%
FTB	35.7	100.2	0	99%
GYR	23.6	78.6	0	99%
KEN	41.2	101.7	0	100%
LFR	34.4	121.7	0	98%
PTE	39.5	123.2	0	99%
TUN*	14.7	60.9	0	59%

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

Tabla 6. Resumen de los promedios 8 horas para CO. diciembre 2019.



Est.	Prom. CO (µg/m³)	Máx. CO (µg/m³)	Exc. 8h	Exc. 1h	Datos válidos (%)
CSE	1503.6	2805.0	0	0	99%
CDAR	1298.0	2790.7	0	0	100%
FTB	556.0	1288.0	0	0	100%
KEN	984.3	2103.8	0	0	100%
LFR	791.3	1674.4	0	0	100%
MOV	1343.2	2747.8	0	0	100%
PTE	1068.6	2318.4	0	0	100%
TUN*	588.2	1288.0	0	0	43%
USQ*	616.0	1359.6	0	0	72%

## 6 COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE BLACK CARBON

La RMCAB cuenta con ocho aethalómetros en las estaciones, los cuales funcionan en dos (2) longitudes de onda. La longitud de onda de 880 nm se utiliza para medir la concentración de black carbon (BC) del aerosol, el cual es generado por la combustión incompleta de combustibles fósiles, especialmente diésel, así como de emisiones industriales, domésticas y por quema de biomasa. La longitud de onda de 370 nm proporciona una medida del "componente UV", es decir, para medir concentraciones de brown carbon (UV-BC) del aerosol proveniente de la quema directa de biomasa, ya sea por la ocurrencia de incendios forestales, así como de la combustión de madera y carbono para la calefacción doméstica y la liberación biogénica de materia húmica, restos vegetales y de hongos.

En el presente informe se realizan comparaciones de los promedios diarios y horarios, además de realizar un comparativo entre promedios y máximas concentraciones de black carbon (BC) y brown carbon (UV-BC).

La Tabla 7 y la Figura 7 muestran los datos obtenidos para black carbon en el mes de diciembre de 2019 incluyendo las concentraciones promedio mensuales, concentraciones diarias máximas y el porcentaje de datos capturados en el mes.

Las concentraciones promedio mensuales de black carbon (BC) se presentaron en la zona suroccidental de la ciudad, en las estaciones de Carvajal – Sevillana y Kennedy con 9.7 µg/m³ y 9.5 µg/m³ respectivamente; por otro lado, las menores concentraciones se registraron en la zona centro oriental de la ciudad en las estaciones de Las Ferias y Usaquén con 2 µg/m³ y 3.8 µg/m³ respectivamente. Las concentraciones máximas diarias de black carbon (BC) más altas se presentaron en la zona noroccidental, en la estación de Fontibón con 75.3 µg/m³, seguida de la estación de Kennedy 65.9 µg/m³.

Las concentraciones promedio mensuales más altas de brown carbon (UV-BC) se presentaron en la zona suroccidental de la ciudad, en las estaciones de Carvajal – Sevillana y Kennedy con  $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente; por otro lado, las menores concentraciones se registraron en la zona centro oriental de la ciudad en las estaciones de Las Ferias y Usaquén con  $3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Las concentraciones máximas diarias de brown carbon (UV-BC) más altas se presentaron en la zona noroccidental, en la estación de Fontibón con  $72.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , seguida de la estación de Kennedy  $47.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Adicionalmente, durante el mes de diciembre, las estaciones que presentan una captura de datos menor al 75% son aquellas en las que se han presentado dificultades para acceder a la estación a realizar las labores de mantenimiento preventivo y correctivo. En este caso la estación de Usaquén presenta una captura de datos del 51% debido a que el equipo se encontraba en mantenimiento correctivo.

Tabla 7. Resumen de datos obtenidos de black carbon en las dos longitudes de onda (UV-BC y BC) diciembre de 2019.

Estación	Prom. UV-BC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max. UV-BC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Prom. BC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max BC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Datos capturados (%)
CSE	9.4	34.3	9.7	36.0	94
CDAR	6.2	44.0	6.7	65.9	92
FTB	7.6	72.2	7.6	75.3	88
KEN	9.4	47.4	9.5	49.5	91
LFR	3.8	35.1	3.8	35.8	99
MAM	5.9	31.9	6.2	47.2	80
TUN	7.6	42.1	7.7	43.3	90
USQ	2.1	22.0	2.0	20.0	51

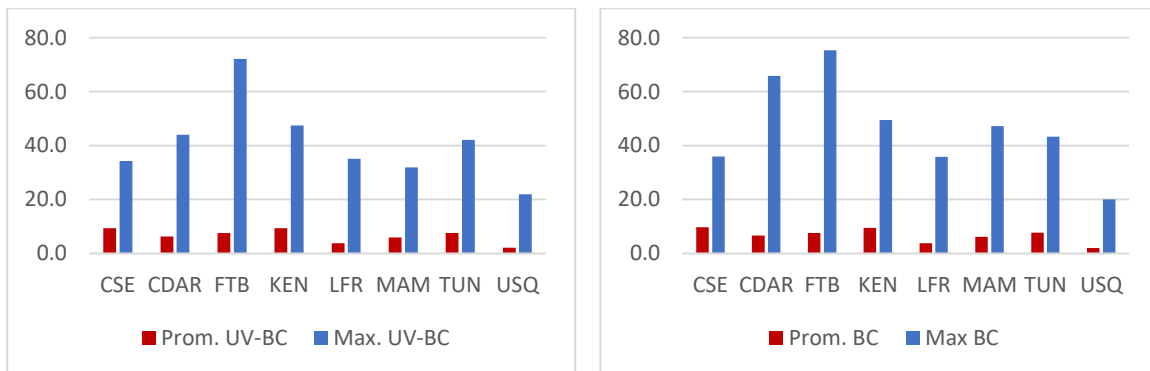


Figura 7. Promedios de concentraciones mensuales, valores máximos para brown carbon (UV-BC) y black carbon (BC) diciembre de 2019

En la Figura 7 y la Figura 8 se presentan las concentraciones diarias de brown carbon (UV-BC) y black carbon (BC). De acuerdo con la ubicación, se observa que las concentraciones más altas de brown carbon (UV-BC) se presentaron en la zona suroccidental (Carvajal y Kennedy), en la zona noroccidental (Fontibón) y en la zona centro (Centro de Alto Rendimiento) durante la primera

semana del mes; las concentraciones más bajas se registraron en la zona centro y norte (Las Ferias y Usaqué) durante la tercera semana del mes.

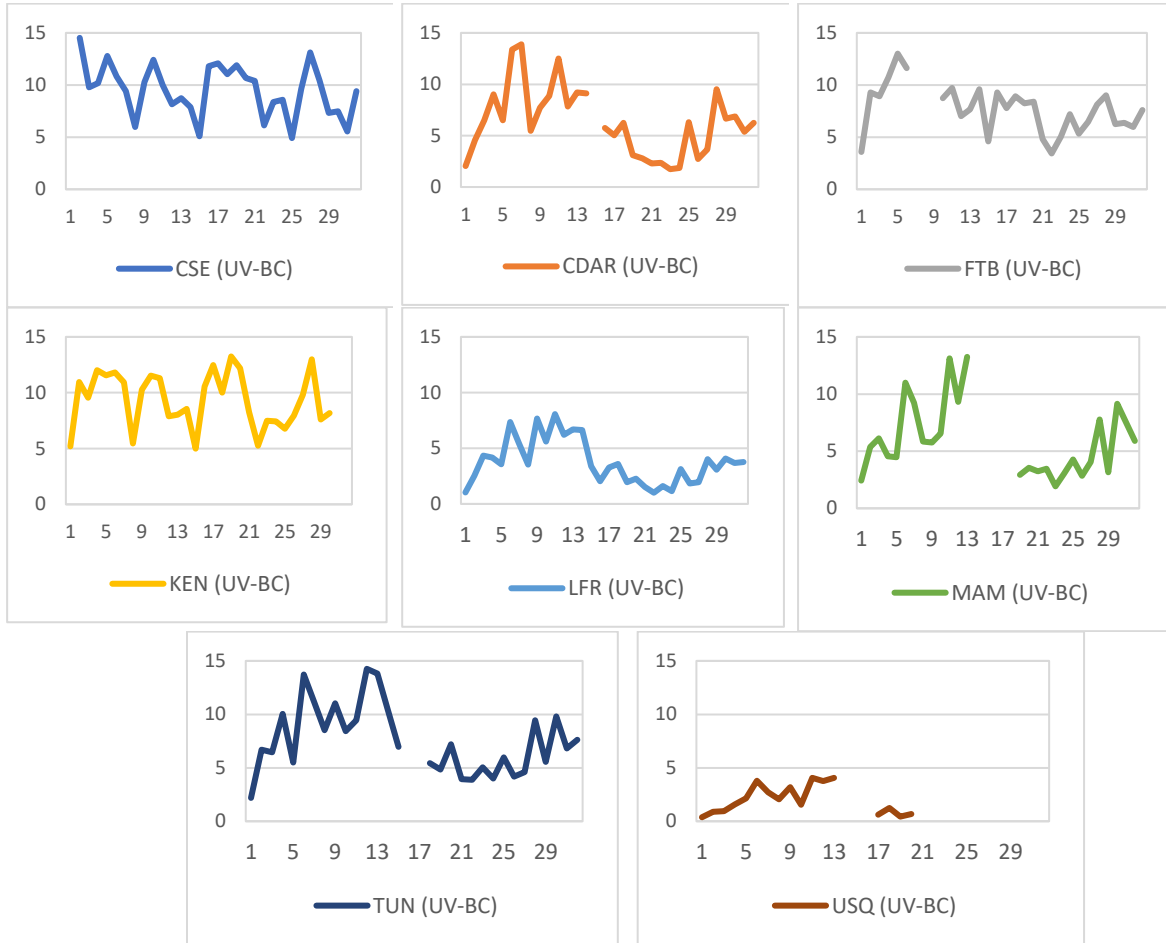
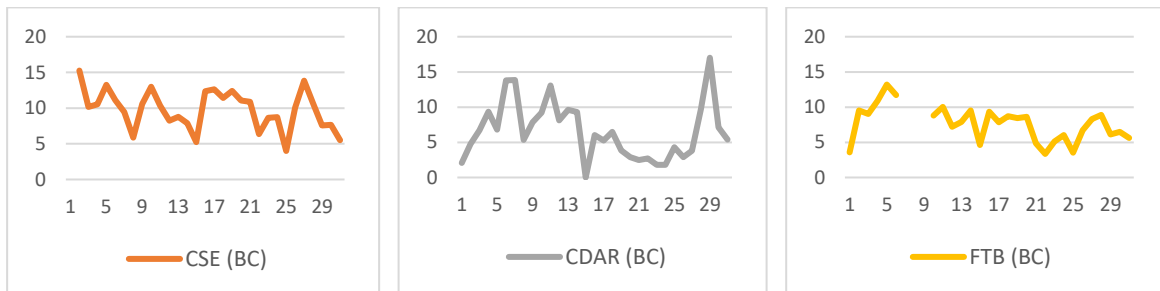


Figura 8. Comportamiento de las concentraciones diarias de brown carbon (UV-BC) para diciembre de 2019



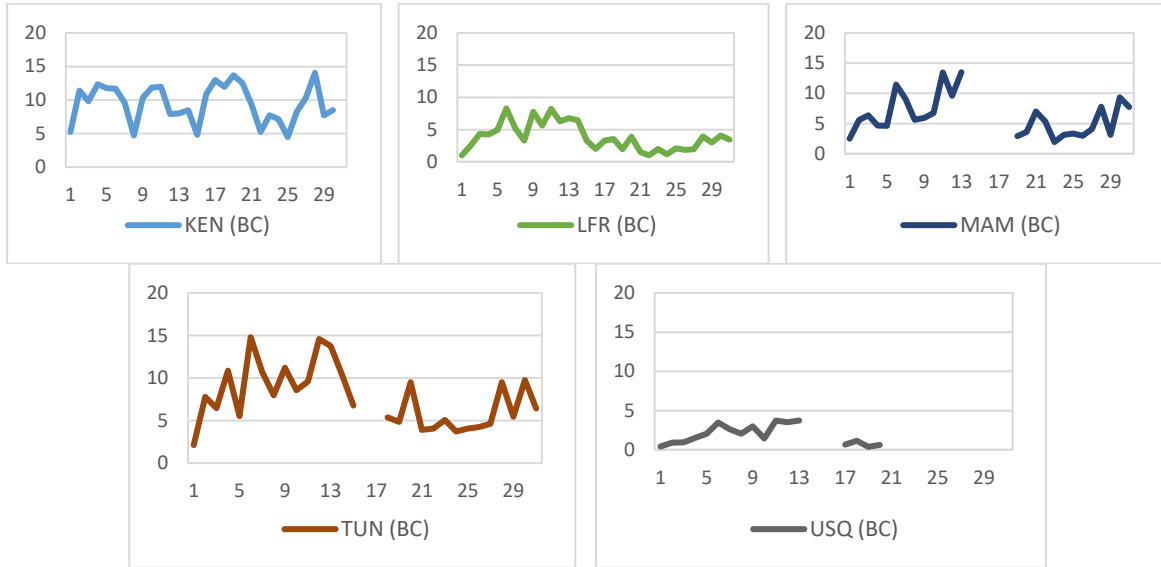


Figura 9. Comportamiento de las concentraciones diarias de black carbon (BC) para diciembre de 2019

## 7 INDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE (IBOCA)

El Índice Bogotano de Calidad de Aire, IBOCA, adoptado mediante la Resolución Conjunta 2410 de 2015, es un indicador multipropósito adimensional, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos que indican el estado de la calidad del aire y que se basa en el contaminante que presenta la mayor afectación a la salud en un momento determinado, sin embargo, puede ser calculada para cada contaminante prioritario con el fin de establecer la importancia en términos de afectación para cada uno.

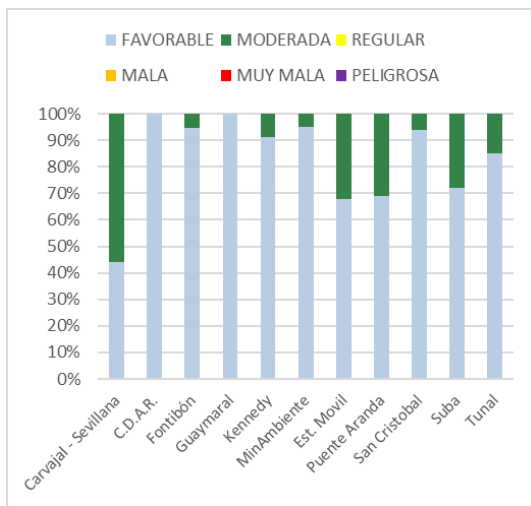


Figura 10. IBOCA para PM<sub>10</sub> por estación en diciembre 2019

La Figura 10 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de las concentraciones 24 horas de PM<sub>10</sub> por estación de monitoreo registrados en el mes de diciembre. Se observa que predominaron las categorías “favorable” y “Moderada” en las estaciones del sur de la ciudad, en Suba y la estación Móvil. La estación Carvajal-Sevillana registró la condición más desfavorable, (“Moderada” durante un 55% del mes y “Favorable” en un 45%), mientras que las estaciones CDAR y Guaymaral permanecieron el 100% del mes con la calidad del aire en condición “Favorable”.

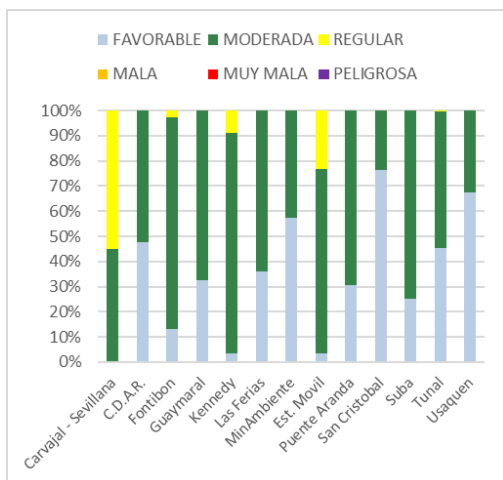


Figura 11. IBOCA para PM<sub>2.5</sub> por estación en diciembre 2019

La Figura 11 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de las concentraciones PM<sub>2.5</sub> de 24 horas en cada estación de monitoreo. Se observa que en el mes de diciembre predominan las categorías “moderada” y “favorable” en todas las estaciones, y “regular” en las estaciones del suroccidente de la ciudad y el sector de la estación móvil. La estación Carvajal-Sevillana presentó el estado de calidad del aire más desfavorable, con una condición “moderada” durante el 46% del mes y “regular” el 54 % del tiempo. De otro lado, la estación San Cristóbal presentó el mejor estado de la calidad del aire con una condición “favorable” el 77% del mes.

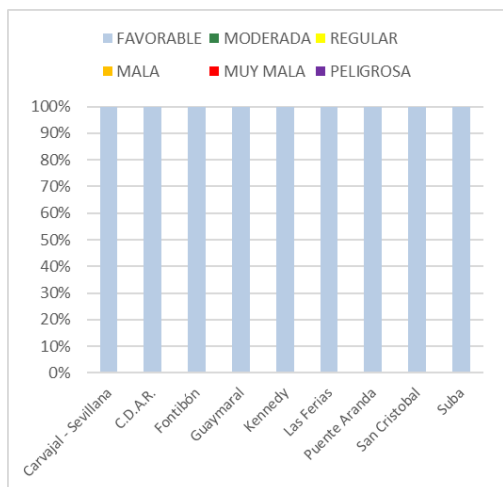


Figura 12. IBOCA para O<sub>3</sub> por estación en diciembre 2019

La Figura 12 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de las concentraciones 8 horas de O<sub>3</sub> en cada una de las estaciones de monitoreo. Se observa que la categoría “favorable” predomina en todas las estaciones de la RMCAB, con un 100% del tiempo del mes de diciembre.

## 6. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN

De acuerdo con los acumulados de radiación solar y de precipitación, se puede inferir que, durante el mes de diciembre de 2019, en Bogotá predominaron condiciones de cielo cubierto, pero con nubes de tipo estratiforme o fragmentos lenticulares y con eventos aislados de nubes productoras de lluvia. Como se puede observar en la Figura 13 y Tabla 8, los totales de lluvia fueron relativamente bajos y así también el número de días con lluvia. Teniendo en cuenta el número de días con lluvia frente a la cantidad de agua precipitada, se observa que las lluvias que se presentaron fueron de baja intensidad y que el tipo de nube que ocasionó las lluvias fueron de bajo desarrollo vertical.

También se evidencia que la precipitación más alta se registró en la estación Kennedy, aunque fueron 169 mm, dicha magnitud pudo influenciar en la dispersión de contaminantes en esta zona,



por lo cual se observó una disminución de las concentraciones de material particulado en esta estación.

Las estaciones sin datos, no cumplieron con el criterio de representatividad temporal del 75%.

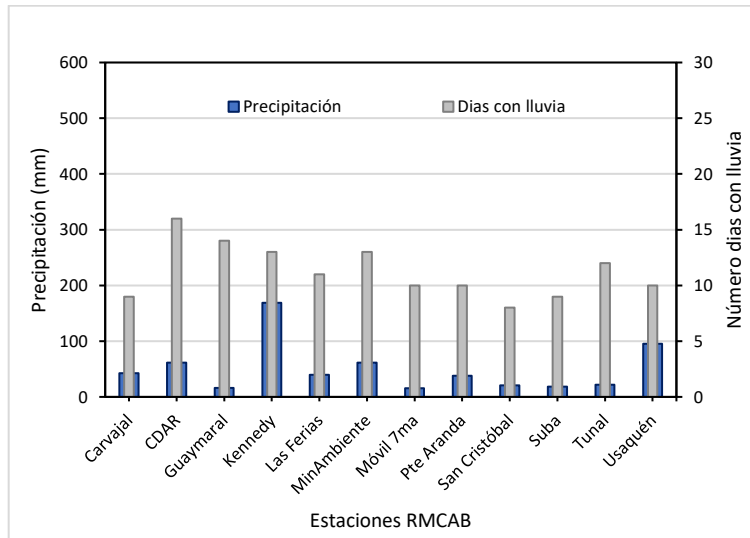


Figura 13 Precipitación media mensual por estaciones y número de días con precipitación (diciembre -2019).

Tabla 8 Precipitación acumulada media mensual por estaciones y número de días con lluvia (noviembre -2019)

Estación	Precipitación acumulada (mm/mes)	Días con lluvia
Bolivia	No Data	No Data
Carvajal	43	9
CDAR	61	16
Fontibón	No Data	No Data
Guaymaral	16	14
Kennedy	169	13
Las Ferias	40	11
MinAmbiente	61	13
Móvil 7ma	15	10
Puente Aranda	38	10
San Cristóbal	21	8
Suba	18	9
Tunal	22	12
Usaquén	96	10

## 7. COMPORTAMIENTO TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

En diciembre de 2019 se registraron valores de temperatura del aire considerablemente altos, siendo los más altos del año 2019, principalmente hacia el sector suroccidental de la ciudad, pasando de 17,7°C en noviembre a 18°C en el mismo sector (Figura 14). Aunque es importante anotar que el último trimestre de 2019 fue el más caliente del año, a pesar de la temporada de lluvias.

De lo anterior se podría deducir que el vapor de agua entrante para la temporada de lluvias, pudo contribuir con el incremento de las temperaturas del aire durante el último trimestre del año. Es importante anotar que el vapor de agua es muy eficiente en atrapar radiación de onda larga emitida desde el suelo, que se podría manifestar en forma de calor sensible si se condensara en bajos niveles.

En relación con la contaminación, es importante anotar que, altos valores de temperatura, se asocian con incrementos en la velocidad del viento, en la medida en que los gradientes de presión a nivel local así lo determinen. Es decir, si la diferencia de temperatura, a la misma hora, entre un sector de la ciudad con respecto a otro es notable, esto propiciará una variación local de la presión y en consecuencia incrementos en la velocidad del viento, toda vez que el movimiento de los vientos está estrechamente relacionado con las diferencias de presión.

Respecto a los valores extremos la temperatura mínima absoluta durante el mes, se presentó en el sector de Guaymaral, con un valor de 5,7 °C y la máxima absoluta en el sector de Kennedy donde se estimó en 28,4 °C. Desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, estas variaciones de temperatura determinan la magnitud de los vientos a nivel local, toda vez que con bajas temperaturas del aire la magnitud del viento se reduce, mientras que, con incrementos en la temperatura del aire, los procesos de mezcla son más fuertes en la medida que los vientos alcanzan mayores magnitudes, y con ello, la turbulencia convectiva y mecánica. Ver Tabla 9 y Figura 15.

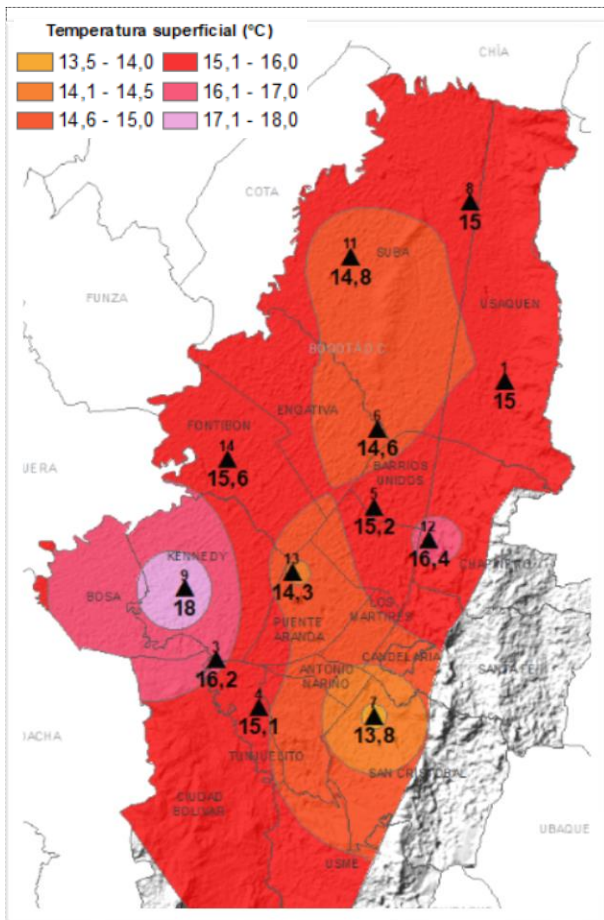


Figura 14. Mapa del promedio de temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB con base en el método de interpolación de Kriging – (diciembre - 2019)

Tabla 9. Resumen Temperaturas medias, máximas y mínima absolutas por estaciones y promedio ciudad (diciembre - 2019)

Estación	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura a media (°C)
Bolivia	No Data	No Data	No Data
Carvajal	9,9	24,4	16,2
CDAR	6,4	26,3	15,2
Fontibón	9,2	22,5	15,6
Guaymaral	5,7	24,3	15
Kennedy	10,9	28,4	18,1
Las Ferias	8,6	22,8	14,6
MinAmbiente	No Data	No Data	No Data
Móvil 7ma	10,1	25,3	16,4
Puente Aranda	8,9	21,4	14,3
San Cristóbal	7,1	21,8	13,8
Suba	7,3	25,6	14,8
Tunal	6,8	25,5	15,7
Usaquén	7,9	22,4	15
<b>Promedio</b>	<b>8,7</b>	<b>24,4</b>	<b>15,7</b>

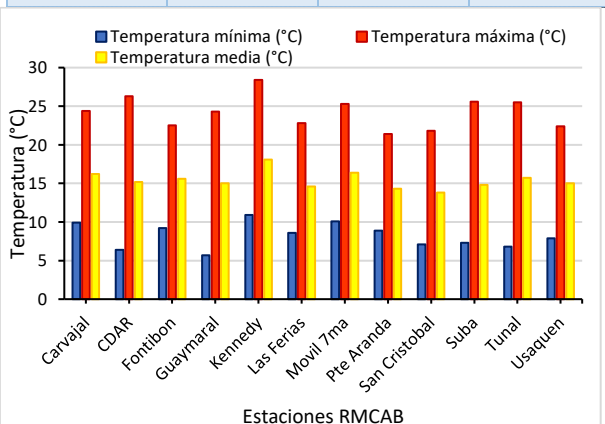


Figura 15. Temperaturas medias, máximas y mínimas absolutas por estaciones (diciembre - 2019)

## **8. COMPORTAMIENTO TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.**

En cuanto al comportamiento de los vientos del mes de diciembre, se presentaron ligeros incrementos en su intensidad, con respecto a los meses de octubre y noviembre de este año. En los sectores de Tunal y San Cristóbal, MinAmbiente y Móvil 7ma se presentaron incrementos, con respecto al mes anterior. En Tunal, por ejemplo, donde normalmente las velocidades son relativamente bajas, paso de 1,0 m/s en noviembre a 1,6 m/s en diciembre. El sector suroccidental donde normalmente se presentan las mayores velocidades no se presentaron cambios con respecto al mes anterior. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por otra parte, las mayores velocidades absolutas del mes de diciembre se registraron en las estaciones de Las Ferias (8,1 m/s), y MinAmbiente (6,5 m/s) y Móvil 7ma (5,8 m/s). Ver Figura 17 y Tabla 10.

Referente a la dirección de los vientos, en el flanco occidental de la ciudad, predominaron los vientos del suroriente al sur de la ciudad; vientos del oriente en el centro y, vientos del nororiente en el norte. Al sur de la ciudad predominaron los vientos del sur como suele ocurrir; en el flanco oriental predominaron los vientos del suroriente a lo largo de los cerros orientales. En la zona norte, predominaron los vientos del oriente del suroriente, es decir, con una ligera componente sur, pero con mayor influencia del oriente.

En el centro de la ciudad, los vientos del oriente se unieron los flujos del suroriente y nororiente para continuar con la corriente principal que predominantemente atraviesa la ciudad de Bogotá evacuando los contaminantes de la ciudad, sean generados localmente o introducidos desde fuentes externas. (Figura 18). Estos vientos provenientes del oriente con velocidades entre 1,8 y 2,2 m/s contribuyeron a la dispersión de contaminantes en esta zona, lo cual influyó en la disminución de las concentraciones de material particulado en el centro y occidente de la ciudad. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

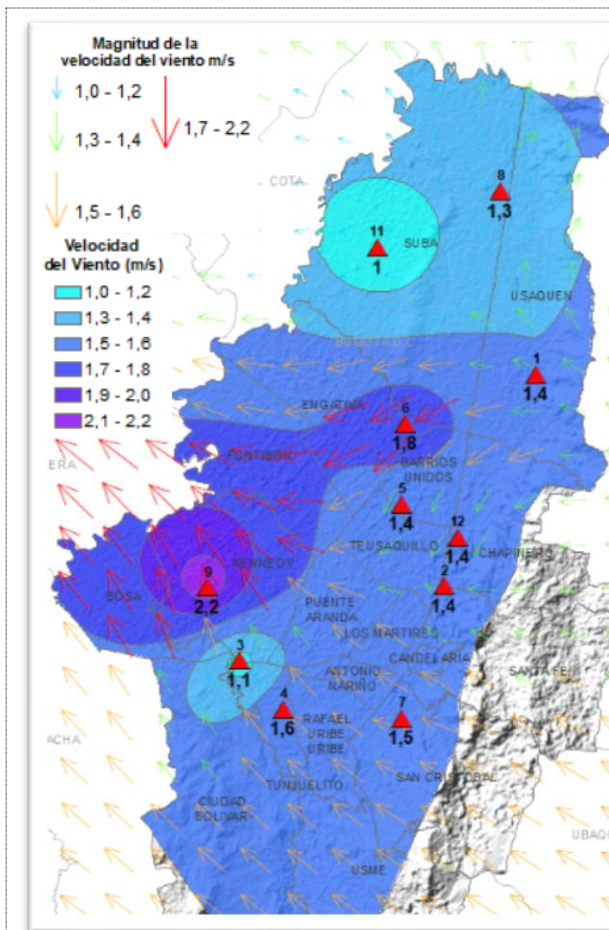


Figura 16. Velocidad promedio (Superficie en colores) y Dirección promedio (Vectores) del Viento de Bogotá con base en la interpolación de Kriging (diciembre - 2019)

Tabla 10. Velocidades reportadas para diciembre de 2019

Estación	Vel. mínima	Vel. máxima	Vel. media
Bolivia	No Data	No Data	No Data
Carvajal	0	4,6	1,1
CDAR	0	4,9	1,4
Fontibón	No Data	No Data	No Data
Guaymaral	0,6	4,5	1,3
Kennedy	0,1	5,1	2,2
Las Ferias	0	8,1	1,8
MinAmbiente	0	6,5	1,4
Móvil 7ma	0	5,8	1,4
Puente Aranda	0,1	6	2
San Cristóbal	0	4	1,5
Suba	0,1	3,8	1
Tunal	0,1	4,4	1,6
Usaquén	0,1	5,6	1,4
Promedio Ciudad	<b>0,1</b>	<b>5,8</b>	<b>1,7</b>

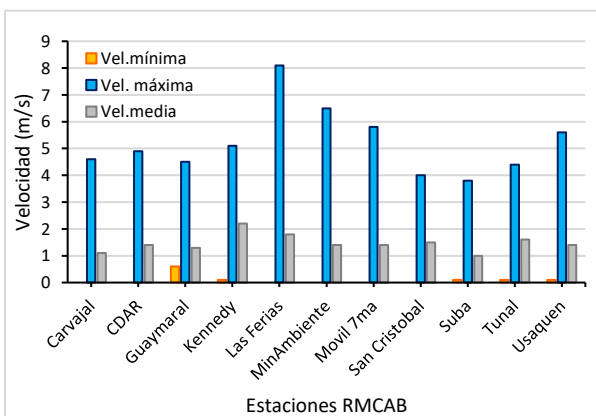
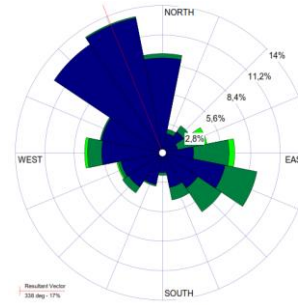
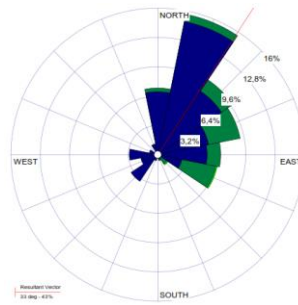


Figura 17 Velocidad del viento media, máxima y mínima absolutas por estación (diciembre - 2019)

A fin de ofrecer mayor información al respecto del comportamiento de los vientos, de manera complementaria en la Figura 18 se pueden observar las rosas de vientos, de cada una de las estaciones de la RMCAB las cuales muestran la resultante del viento promedio del mes, las frecuencias y velocidades en sus distintas direcciones.

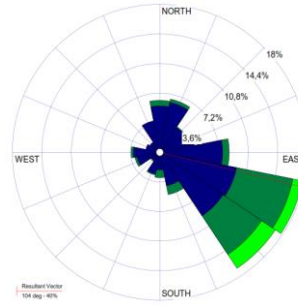
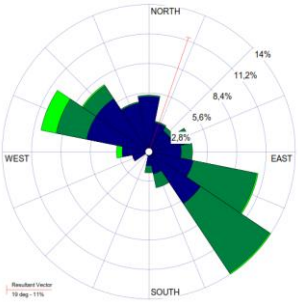
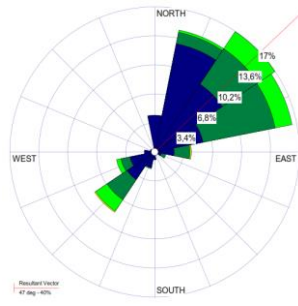
N.A.



a) Bolivia

b) Suba

c) Guaymaral

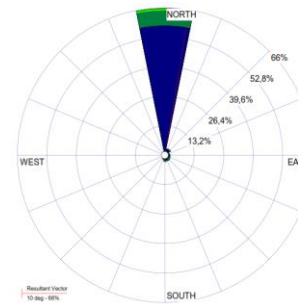
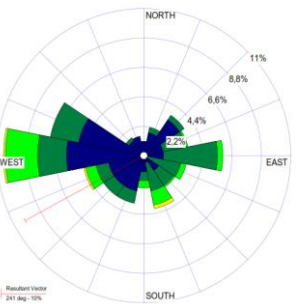


d) Las Ferias

e) CDAR

f) Usaqué

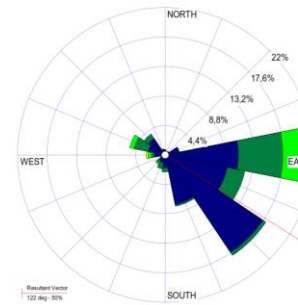
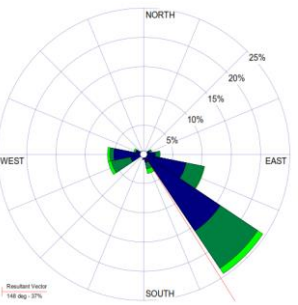
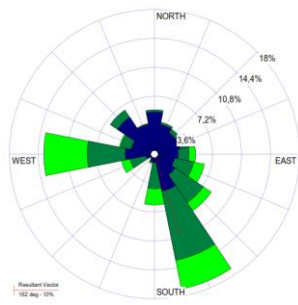
N.A.



g) Fontibón

h) Puente Aranda

i) Móvil 7ma



j) Kennedy

k) Carvajal

l) MinAmbiente

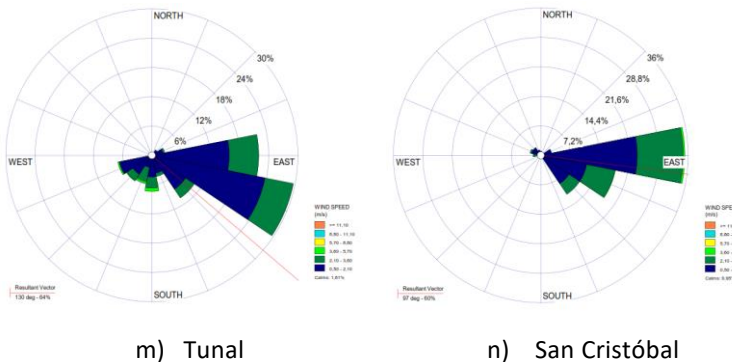
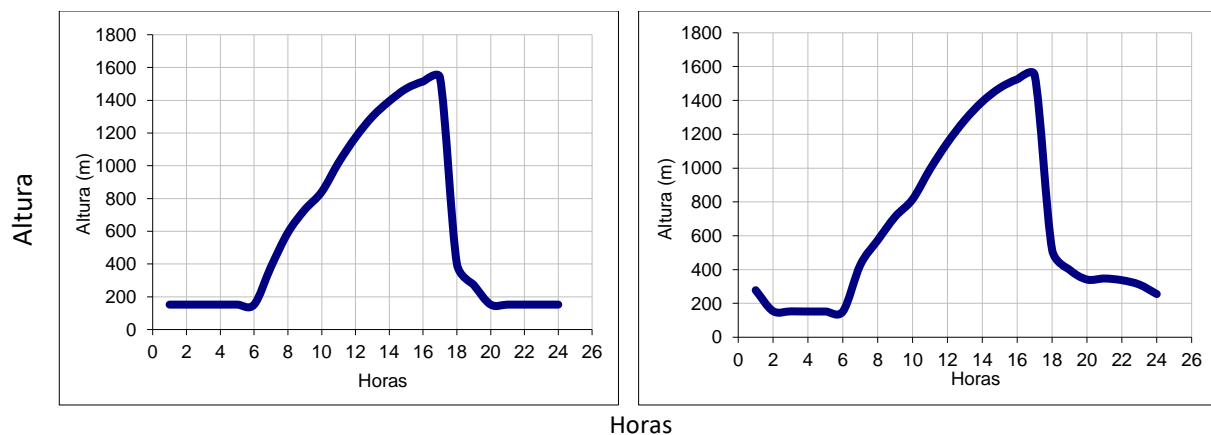


Figura 18. Rosas de viento – Diciembre de 2019.

### 7.1. Estimación de la Altura de la Capa Límite

En diciembre la altura de la capa límite promedio mensual presentó un incremento tanto al norte como al sur, en la hora pico. En el sector de Guaymaral, por ejemplo, pasó de 1524 m a 1538 m en su pico, y de 1463 m a 1549 m en Tunal. Como se puede observar hacia el sur de la ciudad presentó una variación de aproximadamente 86 m en promedio durante el mes. Adicionalmente, se observa que, al sur de la ciudad, en horas de la tarde, la energía residual permitió que la altura de la capa límite estuviera por encima de los 343 m entre las 8 pm a las 10 pm, terminando el día por encima de los 250 m. Este comportamiento, al sur de la ciudad, solo se presentó durante el mes de diciembre de 2019. Esto obedeció principalmente al incremento en las velocidades de los vientos en horas de la noche, posiblemente por el incremento en las temperaturas del aire por encima de lo normal. Es importante destacar que, en horas de la noche, las fuerzas que contribuyen con la altura de la capa límite son las fuerzas inerciales debidas a la turbulencia mecánica, es decir, la ocasionada por los vientos. A diferencia de lo ocurrido al sur de la ciudad, hacia el norte, las bajas temperaturas influyeron en el descenso de la altura de la capa, por debajo de los 200 m. Figura 19 a) y b).



a) Guaymaral

b) Tunal

Figura 19. Estimación del perfil promedio horario mensual de la altura de la capa de mezcla a) Guaymaral y b) Tunal - diciembre de 2019

En la Tabla 11 y Tabla 12 se resume el comportamiento de la estabilidad de la atmósfera local, durante el mes de diciembre, donde además se presentan algunos parámetros de escala que describen las condiciones atmosféricas predominantes en la ciudad. De dichas tablas se deduce que en horas de la madrugada y la noche como normalmente ocurre, predominaron las estabilidades E y F, debido a la disminución de la radiación solar y bajas velocidades del viento, que desfavorecen la dispersión de contaminantes en la ciudad toda vez que se minimizan las fuerzas convectivas (ascenso por calor), predominando las fuerzas inerciales (impulso) cuya magnitud depende la velocidad de los vientos.

En lo que respecta a las estabilidades atmosféricas, debido a la influencia del ciclo radiativo del sol, en horas de la mañana a la tarde, se distribuyeron entre condición neutral (D) a inestables (A, B), por la transferencia de calor del suelo al aire superficial, tomando lugar las fuerzas convectivas, que hacen propicio el ascenso y mezcla de los contaminantes y con ella su dispersión. De allí que, la altura máxima de la capa límite es debida principalmente a la contribución de fuerzas convectivas. En horas de la madrugada y noche, la atmosfera se hace más estable (E y F) enfriándose por la falta del calor aportado del sol.

Tabla 11. Estimación de la altura de la capa de mezcla de la ciudad de Bogotá. Estación Guaymaral (diciembre – 2019)

Hora Local	Vel Viento	T	R <sub>g</sub>	R <sub>n</sub>	z <sub>o</sub>	z <sub>m</sub>	u <sub>o</sub>	N	H <sub>o</sub>	Q*	LN (z <sub>m</sub> /z <sub>o</sub> )	C <sub>DN</sub>	u <sub>o</sub> <sup>2</sup>	C	u*	h <sub>mec</sub>	h <sub>conv</sub>	H <sub>z</sub>	Esta b
Hr	m/s	°C	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	m	m	m/s								m/s	m	m	m	
1	0,7	11,3	0,0	-53,6	1	6	-	4	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
2	0,7	11,1	0,0	-53,7	1	6	-	4	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
3	0,7	10,8	0,0	-53,9	1	6	-	4	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
4	0,7	10,4	0,0	-54,1	1	6	-	4	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
5	0,7	10,0	0,0	-54,4	1	6	-	4	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
6	0,7	9,8	0,0	-41,1	1	6	-	6	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
7	0,7	10,6	52,4	1,6	1	6	0,23	7	11,2	0,14	1,8	-	-	-	0,29	-	210	383	D
8	1,0	14,5	224,1	120,8	1	6	0,23	7	62,7	0,15	1,8	-	-	-	0,44	-	403	591	C
9	1,5	17,3	443,2	258,4	1	6	0,35	5	122,4	0,54	1,8	-	-	-	0,55	-	629	731	B
10	1,8	18,9	564,9	349,2	1	6	0,42	6	162,0	0,87	1,8	-	-	-	0,61	-	840	840	A
11	1,9	19,7	601,6	375,0	1	6	0,44	6	173,0	1,02	1,8	-	-	-	0,63	-	1019	1019	A
12	2,1	20,3	609,2	380,7	1	6	0,48	6	175,3	1,37	1,8	-	-	-	0,66	-	1173	1173	B
13	2,3	20,6	568,8	353,7	1	6	0,52	6	163,2	1,72	1,8	-	-	-	0,67	-	1300	1300	B
14	2,3	20,7	464,4	282,9	1	6	0,52	6	131,8	1,75	1,8	-	-	-	0,66	-	1394	1394	B
15	2,5	20,5	403,9	241,7	1	6	0,56	6	113,7	2,18	1,8	-	-	-	0,68	-	1471	1471	B
16	2,2	19,5	252,3	137,7	1	6	0,49	6	68,2	1,47	1,8	-	-	-	0,59	-	1515	1515	C
17	2,0	18,2	147,5	65,3	1	6	0,46	6	36,7	1,20	1,8	-	-	-	0,54	-	1538	1538	C
18	1,5	16,4	0,0	-43,1	1	6	-	5	-18,0	-	1,8	0,23	0,06	0,53	0,30	401	401	401	F
19	1,2	14,8	0,0	-51,1	1	6	-	4	-12,2	-	1,8	0,23	0,06	0,24	0,20	272	272	272	F
20	1,0	14,0	0,0	-51,8	1	6	-	4	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
21	0,9	13,4	0,0	-52,2	1	6	-	4	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
22	0,8	12,7	0,0	-52,7	1	6	-	4	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
23	0,8	12,2	0,0	-53,0	1	6	-	4	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
24	0,7	11,7	0,0	-53,3	1	6	-	4	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F

Tabla 12. Estimación de la altura de la capa de mezcla de la ciudad de Bogotá. Estación Tunal (diciembre – 2019)

Hora Local	Vel Viento	T	R <sub>g</sub>	R <sub>n</sub>	z <sub>o</sub>	z <sub>m</sub>	u <sub>o</sub>	N	H <sub>o</sub>	Q*	LN (z <sub>m</sub> /z <sub>o</sub> )	C <sub>DN</sub>	u <sub>o</sub> <sup>2</sup>	C	u*	h <sub>mec</sub>	h <sub>conv</sub>	H <sub>z</sub>	Estab
Hr	m/s	°C	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	m	m	m/s	Octas							m/s	m	m	m	
1	1,2	12,4	0,0	-52,9	1	6	-	4	-12,5	-	1,8	0,23	0,06	0,26	0,21	278	278	278	F
2	1,0	12,1	0,0	-53,1	1	6	-	4	-6,9	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,12	154	154	154	F
3	1,0	11,8	0,0	-53,3	1	6	-	4	-6,9	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,12	153	153	153	F
4	0,9	11,4	0,0	-46,8	1	6	-	5	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
5	0,9	11,1	0,0	-47,1	1	6	-	5	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
6	0,8	10,8	0,0	-40,5	1	6	-	6	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
7	1,0	11,2	82,5	22,4	1	6	0,24	7	20,3	0,16	1,8	-	-	-	0,32	-	247	428	D
8	1,3	14,3	198,0	102,9	1	6	0,30	7	54,9	0,33	1,8	-	-	-	0,43	-	406	574	C
9	1,4	17,4	408,3	241,6	1	6	0,33	6	115,0	0,42	1,8	-	-	-	0,54	-	619	713	B
10	1,8	19,6	514,2	315,5	1	6	0,41	6	146,8	0,87	1,8	-	-	-	0,60	-	816	816	B
11	2,0	20,4	582,1	362,4	1	6	0,46	6	167,1	1,20	1,8	-	-	-	0,64	-	994	994	B
12	2,1	21,0	607,2	380,2	1	6	0,48	6	174,7	1,38	1,8	-	-	-	0,66	-	1151	1151	B
13	2,4	21,4	588,0	367,6	1	6	0,56	6	168,9	2,15	1,8	-	-	-	0,71	-	1285	1285	B
14	2,6	21,5	525,6	325,3	1	6	0,60	6	150,2	2,63	1,8	-	-	-	0,73	-	1393	1393	B
15	2,4	21,0	424,4	256,1	1	6	0,55	6	119,8	2,05	1,8	-	-	-	0,67	-	1474	1474	B
16	2,3	20,2	291,2	164,9	1	6	0,52	6	79,9	1,68	1,8	-	-	-	0,62	-	1525	1525	B
17	2,2	19,1	174,9	71,4	1	6	0,50	4	39,0	1,51	1,8	-	-	-	0,58	-	1549	1549	C
18	1,9	17,2	0,0	-49,1	1	6	-	4	-23,1	-	1,8	0,23	0,06	0,68	0,39	516	516	516	F
19	1,5	15,2	0,0	-50,8	1	6	-	4	-17,9	-	1,8	0,23	0,06	0,53	0,30	399	399	399	F
20	1,4	14,3	0,0	-51,5	1	6	-	4	-15,3	-	1,8	0,23	0,06	0,41	0,26	341	341	341	F
21	1,4	13,9	0,0	-51,8	1	6	-	4	-15,6	-	1,8	0,23	0,06	0,43	0,26	347	347	347	F
22	1,4	13,6	0,0	-52,1	1	6	-	4	-15,1	-	1,8	0,23	0,06	0,40	0,25	337	337	337	F
23	1,3	13,2	0,0	-52,3	1	6	-	4	-13,9	-	1,8	0,23	0,06	0,34	0,23	311	311	311	F
24	1,2	12,7	0,0	-52,6	1	6	-	4	-11,4	-	1,8	0,23	0,06	0,19	0,19	255	255	255	F

## 9. COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN SOLAR Y SU RELACIÓN CON LAS CONCENTRACIONES DE OZONO.

En el mes de diciembre el acumulado de radiación solar incidente presentó disminución en unos sectores de la ciudad, pero incremento en otros con respecto al mes anterior. Por ejemplo, hacia la zona norte, la cantidad de radiación en la hora de mayor incidencia se redujo de 648 W/m<sup>2</sup> a 609 W/m<sup>2</sup> y consecuentemente se redujeron las concentraciones de Ozono de acuerdo con el proceso de producción de ozono asociado a la radiación solar incidente. Por el contrario, hacia la zona centro, se registró un incremento en el acumulado de radiación solar, aunque la concentración de Ozono se redujo en diciembre respecto al mes anterior, pasando de 68 µg/m<sup>3</sup> a 54 µg/m<sup>3</sup>. En tales casos es posible que el proceso de formación de ozono esté asociado a otros procesos de tipo químico. En la zona suroccidente se incrementó la cantidad de radiación solar en la hora de mayor incidencia con respecto al mes anterior y correlativamente las concentraciones de ozono, sobre todo en el sector de Kennedy donde se calculó una concentración de 64,8 µg/m<sup>3</sup>. Ver Figura 20.

En la zona sur de la ciudad, no se reportaron las concentraciones de la estación Tunal debido a la falta de representatividad temporal de los registros de ozono.



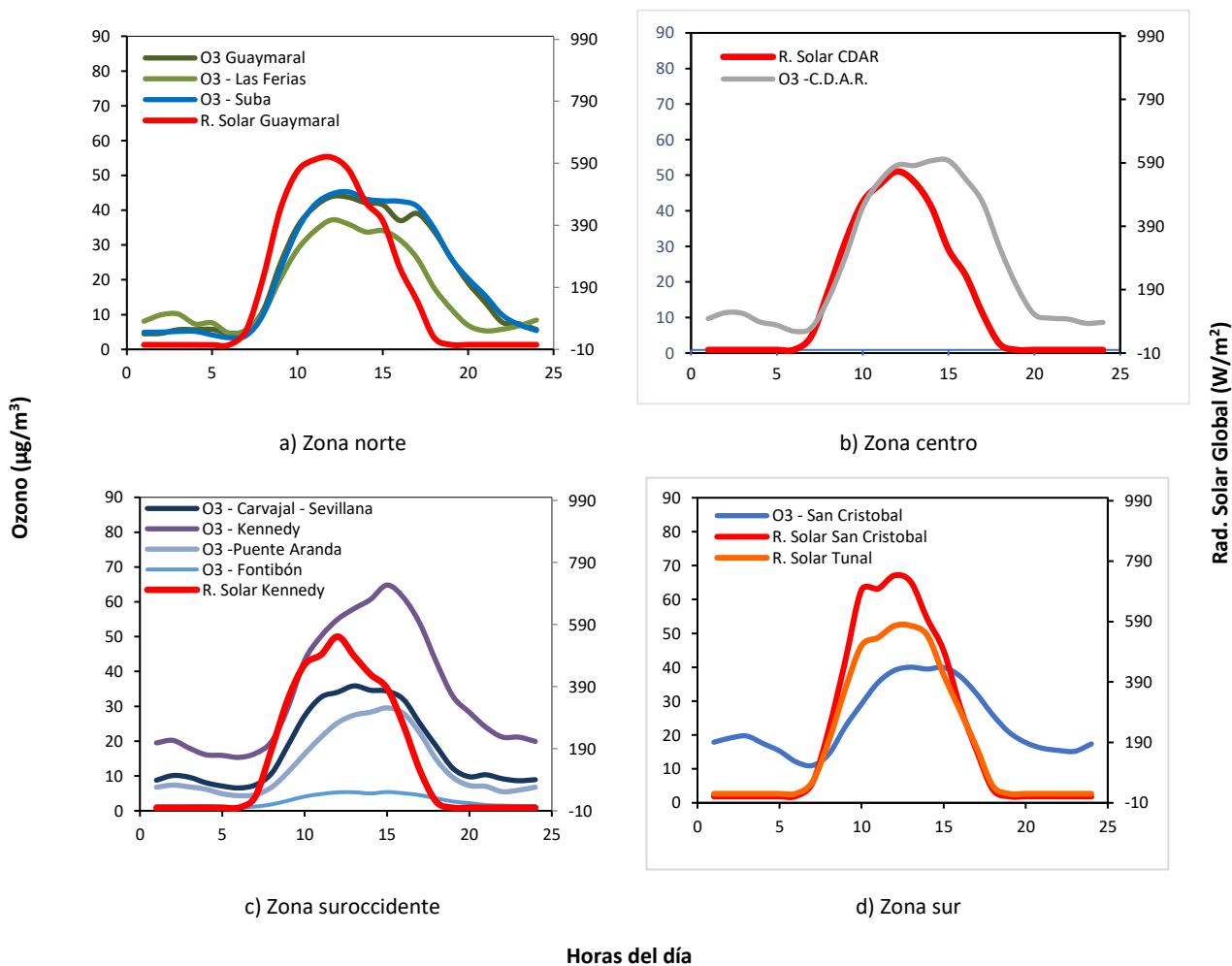


Figura 20. Comportamiento horario de  $O_3$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y su relación con la Radiación Solar entrante ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), diciembre 2019.  
a) zona norte, b) zona centro, c) zona suroccidente y d) zona sur

## 10. REPORTE MENSUAL DE VALIDACIÓN SIMCAB PARA EL MES DE NOVIEMBRE DE 2019.

El presente informe contiene el reporte de validación del comportamiento del modelo WRF del mes de noviembre con respecto de los datos medidos por parte de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá – RMCAB, para el mismo periodo.

### 10.1. MODELO METEOROLÓGICO WRF

Para explicar el grado de acierto entre las variables meteorológicas continuas modeladas a través del modelo WRF y los valores medidos por la RMCAB para la ciudad de Bogotá y sus distintas estaciones de monitoreo durante el mes de noviembre, se hace uso de los diagramas de Taylor (ver Figura 21) y los Box Plot (ver Figura 22) **Error! No se encuentra el origen de**

**la referencia.**) De la Figura 21 se observa que el grado de acierto del modelo con respecto al mes anterior no presenta cambios notables. El modelo continúa mostrando semejanzas con los meses anteriores en las variables: velocidad del viento, temperatura, humedad y presión atmosférica. En la velocidad del viento, se observa que se redujo el error cuadrático medio (RMSE), con respecto al mes anterior. El error cuadrático medio (RMSE) estuvo por debajo de 2,0 m/s; aunque el coeficiente de correlación se mantiene bajo en noviembre y mejoró ligeramente; la dispersión (BIAS) para este mes estuvo más cerca a la esperada. La presión fue muy idéntica al mes anterior con un RMSE ligeramente mayor a 5 mmHg, 5 desviaciones estándar aproximadamente y su coeficiente de correlación superior a 0,6. De manera semejante se comportó la temperatura ambiente y la humedad con respecto al mes anterior. En ambos casos la BIAS estuvo más cerca del valor esperado. En cuanto a la radiación solar su grado de acierto fue muy semejante al mes anterior, en la medida que el coeficiente de correlación y el RMSE no presentaron cambios a destacar, en tanto que la BIAS se acercó ligeramente al valor esperado, pasando de 400 W/m<sup>2</sup> a 375 W/m<sup>2</sup> aproximadamente. Cabe anotar que la desviación de los datos de radiación de la RMCAB se encuentra cerca de los 240 W/m<sup>2</sup>.

Evaluando el grado de acierto de los elementos meteorológicos por estación, se observa que en general las estaciones tuvieron un comportamiento similar al de ciudad. Sin embargo, en la velocidad del viento, las mejores correspondencias en orden de importancia, se presentaron en las estaciones de Kennedy, Carvajal y CDAR, cuyos coeficientes de correlación ligeramente varían entre el valor 0,5 a 0,6 y los RMSE entre 1,0 m/s a 1,5 m/s. En las otras estaciones San Cristóbal, Usaquén, Tunal y Móvil 7ma, los coeficientes de correlación estuvieron por debajo de 0,5.

En cuanto a la humedad relativa, la estación que presentó una BIAS conforme a la esperada fue CDAR, pero mayor RMSE (alrededor de 12%). Las estaciones Guaymaral, Móvil y Tunal, fueron las que presentaron mejores coeficientes de correlación (0,7 a 0,8) y RMSE igual o menor a 10%, con respecto del valor observado. A nivel ciudad, el comportamiento es idéntico al estimado por cada estación, con un coeficiente de correlación y RMSE un poco mayor en las estaciones con mejor ajuste.

Con relación al ciclo diario de la temperatura a nivel ciudad, las diferencias presentadas entre lo modelado y lo observado son de poca significancia. En el mes de noviembre continúa subestimándose la temperatura especialmente entre las 7 am y las 11 m. Al observar el box plot de la humedad relativa, se evidencia que el modelo sobre estima los valores registrados, en horas de la madrugada y noche con valores medios cercanos al 80%. Con respecto a la velocidad del viento, el modelo sobreestimó los valores registrados en la RMCAB, entre las 12 m y las 8 pm, con una sobrestimación mayor entre las 2 pm y las 5 pm, con valores por encima de los 3,5 m/s.

En lo que respecta a la precipitación, la validación se realiza por medio de tablas de contingencia, utilizando como variable categórica la condición lluvia – no lluvia (ver Tabla 13). Los resultados indican que en general, el modelo presenta una (BIAS) mayor a 1; esto indica que el modelo para el mes de noviembre sobre estimó los días con lluvia, sobre todo en Las Ferias, debido a que la estación continuó presentando fallas en su funcionamiento y no registró todos los días de lluvia, generando una gran dispersión. Sin embargo, en las demás estaciones el modelo simuló bien los días en que llovió (por eso la probabilidad de detección - POD estuvo cercana a 1); y tan solo entre el 16% al 20% de los casos, se generaron falsas alarmas – FAR.

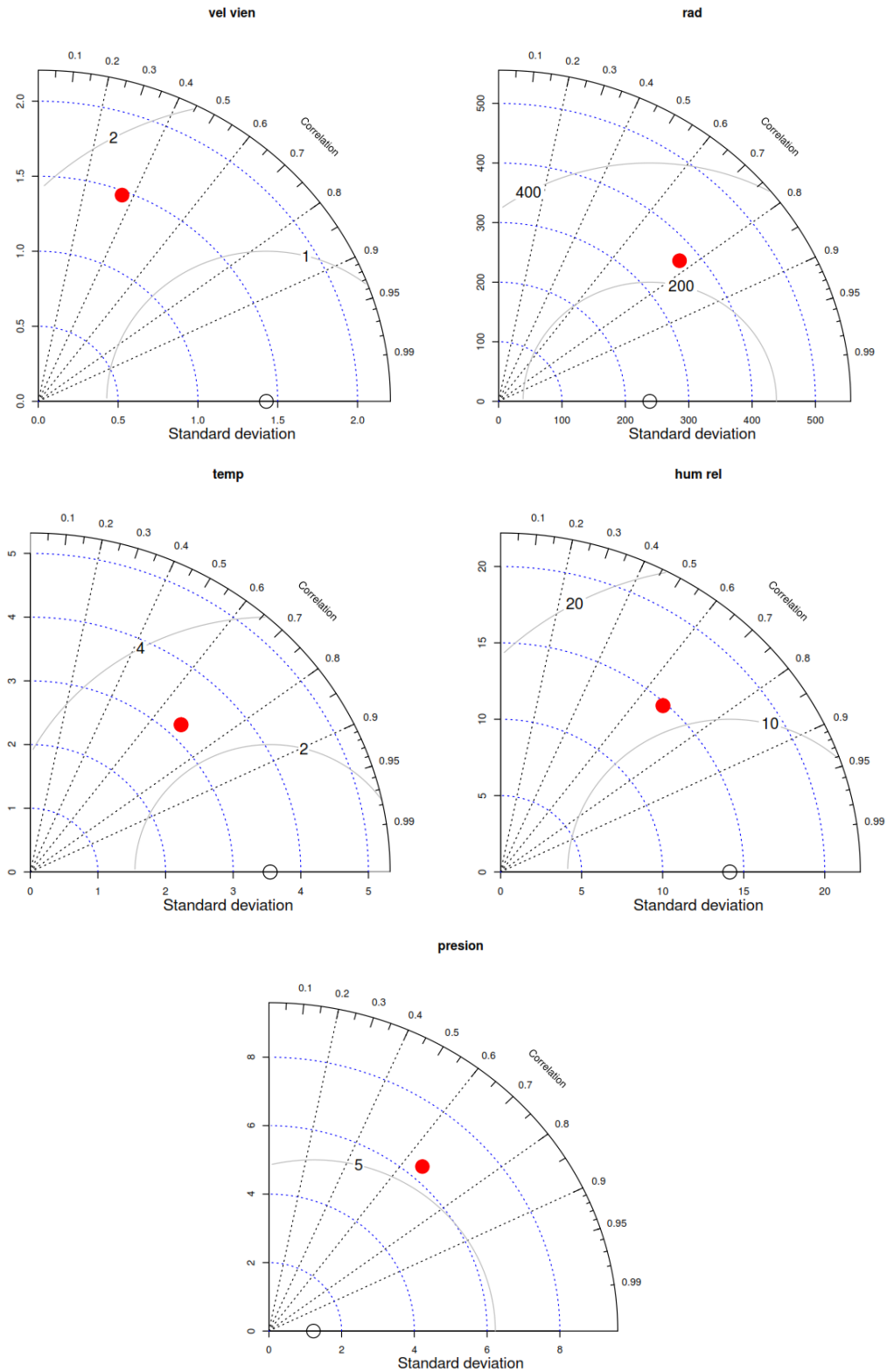


Figura 21. Diagramas de Taylor parámetros meteorológicos. Diciembre 2019

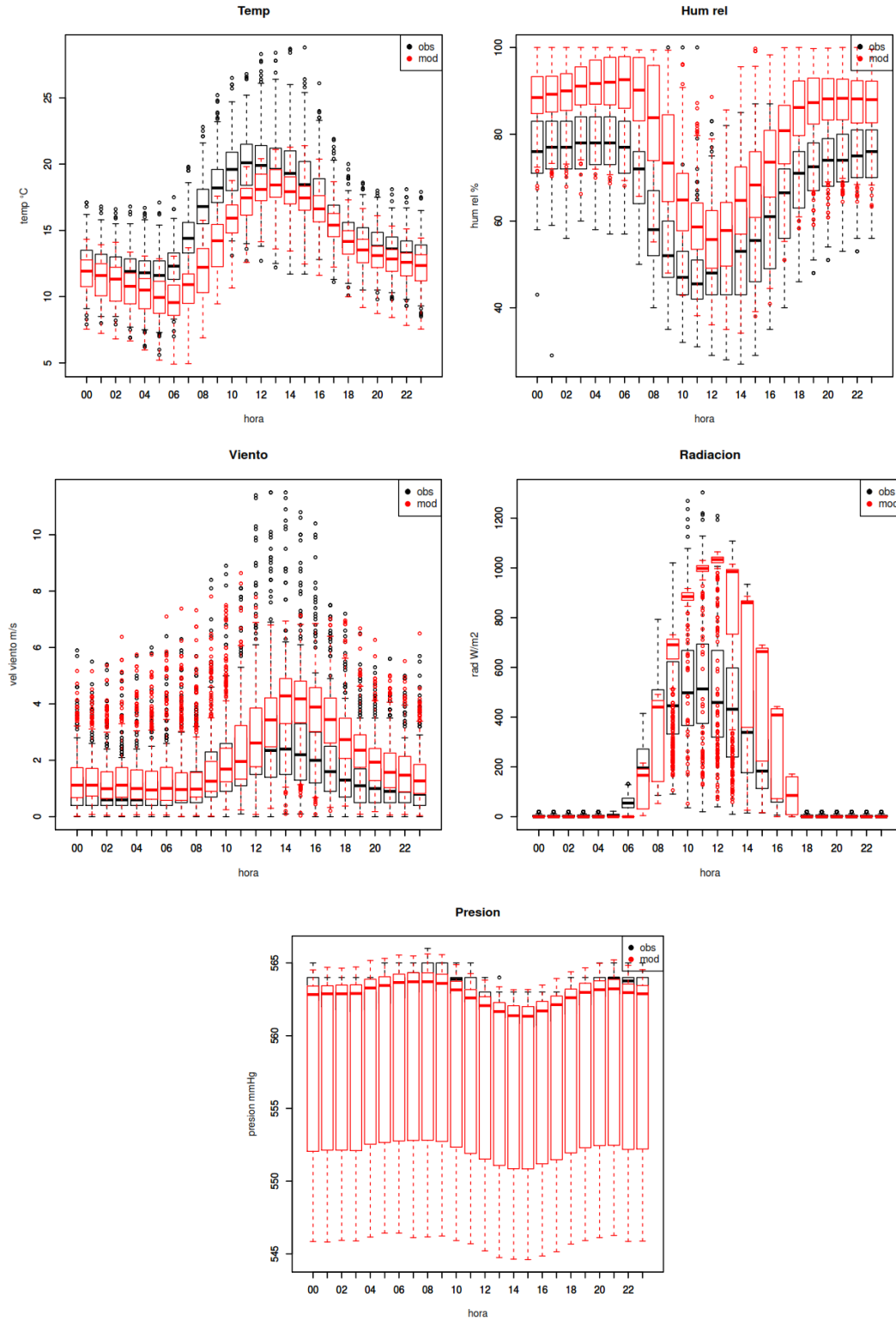


Figura 22. Box Plot parámetros meteorológicos – Diciembre 2019

Tabla 13. Datos estadísticos de precipitación por estación - Diciembre 2019

ESTACIÓN	THREAT SCORE	POD	FAR	PERCENT CORRECT	BIAS
Carvajal	0,52	1,00	0,48	0,53	1,93
CDAR	0,64	0,95	0,33	0,67	1,42
Guaymaral	0,62	0,88	0,32	0,7	1,29
Kennedy	0,5	1,00	0,5	0,5	2,00
Las_Ferías	0,3	0,89	0,69	0,37	2,89
MinAmbiente	0,56	1,00	0,44	0,6	1,8
Movil_7ma	0,7	1,00	0,3	0,77	1,44
Puente_Aranda	0,5	0,94	0,48	0,5	1,81
San_Cristóbal	0,61	0,85	0,32	0,63	1,25
Suba	0,57	0,94	0,41	0,6	1,59
Tunal	0,64	1,00	0,36	0,7	1,56
Usaquén	0,59	1,00	0,41	0,63	1,69

## 10.2. MODELO DE PRONÓSTICO DE CALIDAD DEL AIRE

A partir de los datos medidos en las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB), se realizó una validación del modelo de pronóstico para los contaminantes PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO en el mes de noviembre de 2019. Para el material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), se realizó el diagrama de Taylor para los promedios diarios, dado que éstos valores son los que se comparan con la normatividad actual. Con los ajustes a los resultados producto del análisis del modelo con observaciones en meses anteriores, se estableció que, para PM<sub>10</sub>, el modelo tiene una correlación de Pearson cercana a 0.5, adicionalmente, el modelo presenta un RMSE cercano a 15 µg/m<sup>3</sup>; Por otro lado, para PM<sub>2.5</sub> el modelo tiene una correlación con respecto a los datos observados de 0.5, con un RMSE de 9 µg/m<sup>3</sup>.

Dado que el material particulado es el contaminante más crítico en la ciudad, se muestra en la Tabla 14 los valores de los sesgos (bias, definido como concentración modelada menos concentración observada), que muestra el comportamiento promedio de los sesgos del modelo para el mes de noviembre, por estación. De esta tabla se puede concluir que para este mes, el modelo tendió a subestimar las concentraciones de material particulado hasta 11 µg/m<sup>3</sup> en promedio para PM<sub>10</sub> y hasta 6 µg/m<sup>3</sup> en promedio para PM<sub>2.5</sub>.

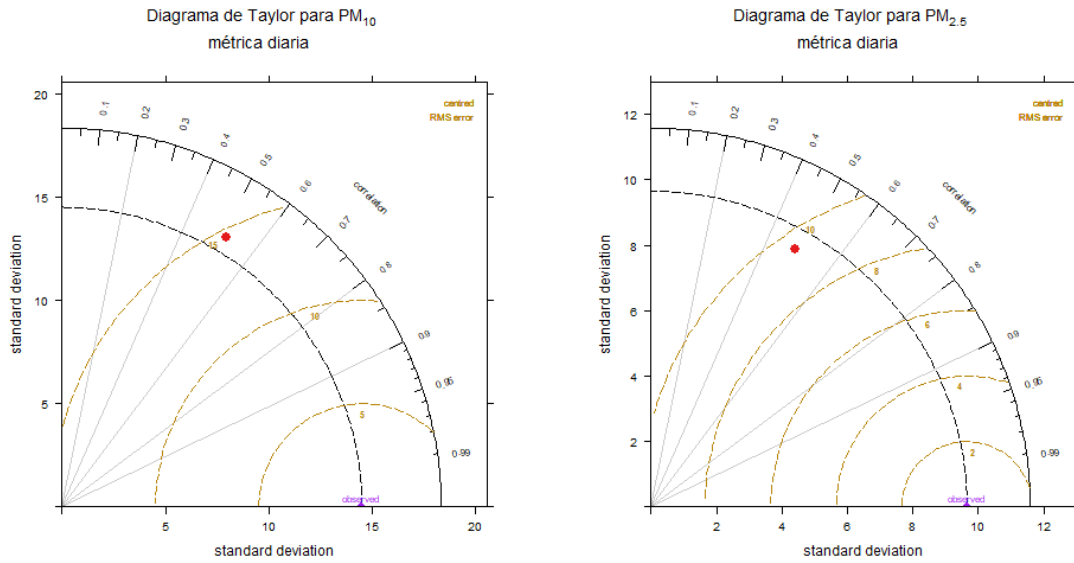


Figura 23. Diagramas de Taylor para material particulado, en métrica diaria

En cuanto a los gases, el CO es el que mejor se representa en métrica horaria por el modelo con un RMSE menor a  $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una correlación de Pearson cercana a 0.5; mientras que los demás gases muestran correlaciones cercanas a 0.3.

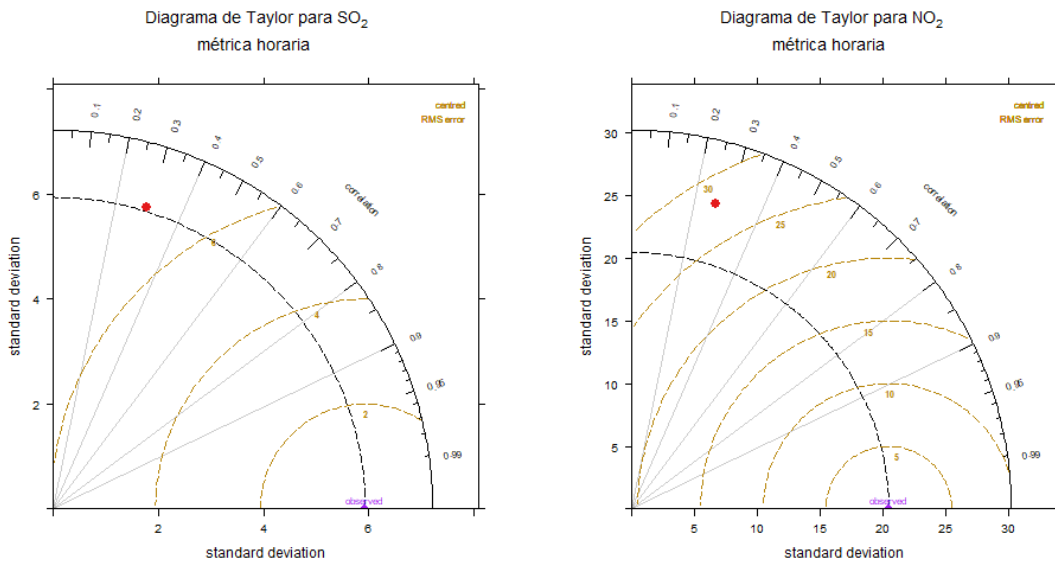


Diagrama de Taylor para co  
métrica horaria

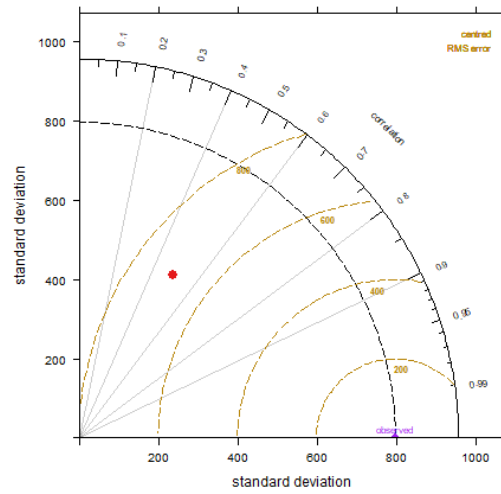


Figura 24. Diagramas de Taylor para NO<sub>2</sub>, CO, y SO<sub>2</sub>, en métrica horaria

Tabla 14. Sesgos en los promedios diarios de material particulado determinados para Diciembre 2019 por el modelo (IC 95%).

Estación	Sesgo diario PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Sesgo diario PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Carvajal-Sevillana	10 ± 14	0 ± 12
CDAR	-9 ± 13	-4 ± 9
Fontibón	-2 ± 11	-1 ± 7
Guaymaral	-1 ± 11	5 ± 13
Kennedy	-10 ± 17	-2 ± 11
Las Ferias	-8 ± 10	2 ± 8
MinAmbiente	-10 ± 13	-3 ± 8
Estación Móvil	-3 ± 17	-1 ± 12
Puente Aranda	-6 ± 13	-6 ± 9
San Cristóbal	-2 ± 10	-4 ± 5
Suba	11 ± 11	0 ± 8
Tunal	-3 ± 16	-3 ± 10
Usaquén	-7 ± 12	-1 ± 8



**ANEXOS**

**A. Características de las estaciones de la RMCAB y métodos de referencia**

Tabla 15. Estaciones de monitoreo y variables monitoreadas de la RMCAB

Característica	Carvajal-Sevillana	Centro de Alto Rendimiento	Fontibón	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias	Min. Ambiente	Estación Móvil	Puente Aranda	San Cristóbal	Suba	Tunal	Usaquén	Bolivia	
Ubicación	Sigla	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ	BOL
	Código	60303	120305	90314	110308	80309	100306	170302	20312	160313	40307	110311	30304	10301	100210
	Latitud	4°35'44.22"N	4°39'30.48"N	4°40'41.67"N	4°47'1.52"N	4°37'30.18"N	4°41'26.52"N	4°37'31.75"N	4°38'32.75"N	4°37'54.36"N	4°34'21.19"N	4°45'40.49"N	4°34'34.41"N	4°42'37.26"N	4°44'9.12"N
	Longitud	74°8'54.90"W	74°5'2.28"W	74°8'37.75"W	74°2'39.06"W	74°9'40.80"W	74°4'56.94"W	74°4'1.13"W	74°5'2.28"W	74°7'2.94"W	74°5'1.73"W	74°5'36.46"W	74°7'51.44"W	74°1'49.50"W	74°7'33.18"W
	Altitud	2563 m	2577 m	2551 m	2580 m	2580 m	2552 m	2621 m	2583 m	2590 m	2688 m	2571 m	2589 m	2570 m	2574 m
	Altura del suelo	3 m	0 m	11 m	0 m	3 m	0 m	15 m	0 m	10 m	0 m	6 m	0 m	10 m	0 m
	Localidad	Kennedy	Barrios Unidos	Fontibón	Suba	Kennedy	Engativá	Santa Fe	Chapinero	Puente Aranda	San Cristóbal	Suba	Tunjuelito	Usaquén	Engativá
	Dirección	Autopista Sur # 63-40	Calle 63 #59A-06	Carrera 104 #20 C - 31	Autopista Norte #205-59	Carrera 80 #40-55 sur	Avenida Calle 80 #69Q-50	Calle 37 #8-40	Carrera 7 con calle 60	Calle 10 #65-28	Carrera 2 Este #12-78 sur	Carrera 111 #159A-61	Carrera 24 #49-86 sur	Carrera 7B Bis #132-11	Avenida Calle 80 #121-98
	Tipo de zona	Urbana	Urbana	Urbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Suburbana
	Tipo de estación	Tráfico Industrial	De fondo	De tráfico	De fondo	De fondo	De tráfico	De tráfico	De tráfico	Industrial	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo
	Localización toma muestra	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Andén	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde
	Altura punto de muestra	4.2 m	4.05m	15 m	4.8 m	7.71 m	4.02m	4.67 m	4 m	18.7 m	4.88 m	11.4 m	3.62 m	16.45m	4.6 m
	Altura del sensor de viento	13 m	10 m	17.4 m	10 m	10 m	10 m	19 m	12.3 m	20 m	10 m	10 m	10 m	19 m	10 m
Contaminantes	PM <sub>10</sub>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PM <sub>2.5</sub>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	O <sub>3</sub>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	NO <sub>2</sub>	X	X	X	X	X	X		X	X		X			
	CO	X	X	X		X	X		X	X			X	X	
	SO <sub>2</sub>	X	X	X		X	X		X	X		X	X		
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	
	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar		X		X	X			X		X		X		
	H. Relativa		X	X	X	X	X		X		X		X		
Presión Atm.				X	X	X		X							



La elaboración de informes de calidad del aire hace parte de uno de los programas contenidos en el Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para Bogotá D.C. 2016 – 2020 “Bogotá Mejor para Todos”, cuyo cumplimiento es responsabilidad de la Secretaría Distrital de Ambiente, al ser la autoridad ambiental del Distrito Capital. Además, uno de los procesos misionales de esta entidad es la “Evaluación, control y seguimiento”, dentro del cual se encuentra comprendido el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad, el cual se realiza a través de las estaciones de la RMCAB.

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.

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 junio de 2018<sup>1</sup>. 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<sup>2</sup>. (Tabla 16)

Tabla 16. 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 <sub>10</sub>	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122	J
PM <sub>2.5</sub>	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183	L
		EQPM-0308-170	
O <sub>3</sub>	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQQA-0992-087	D
		EQQA-0193-091	
NO <sub>2</sub>	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074	F
		RFNA-1194-099	
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088	C
		RFCA-0981-054	
		RFCA-1093-093	
SO <sub>2</sub>	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100	A-1
		EQSA-0486-060	

<sup>1</sup> United States Environmental Protection Agency. List of designated reference and equivalent methods. June 15, 2018. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/amtic\\_list\\_dec\\_2017\\_update\\_1-20-2018\\_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/amtic_list_dec_2017_update_1-20-2018_0.pdf)

<sup>2</sup> 40 CFR Appendix Table A-1 to Subpart A of Part 53, Summary of Applicable Requirements for Reference and Equivalent Methods for Air Monitoring of Criteria Pollutants. [https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-Table\\_A-1\\_to\\_subpart\\_A\\_of\\_part\\_53](https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-Table_A-1_to_subpart_A_of_part_53)

## NOTA

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 1 y el 31 de Diciembre de 2019, y adicionalmente los resultados del informe sólo están relacionados con los ítems ensayados o calibrados.

Este informe fue elaborado con base en el modelo de los informes periódicos de la RMCAB establecido en el procedimiento interno PA10-PR04 Generación y Control de Informes de la RMCAB (v. 5.0). Adicionalmente para la validación de los datos se tiene en cuenta lo definido en el procedimiento interno PA10-PR05- Validación de datos de la RMCAB (v. 3.0).

Adicionalmente, los procesos de monitoreo de contaminantes en la RMCAB se realizan bajo los siguientes procedimientos internos:

PA10-PR02 (v. 10.0)	Operación de la Red de Monitoreo y Calidad del Aire de Bogotá
PA10-PR06 (v. 6.0)	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub>
PA10-PR07 (v. 5.0)	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación de los analizadores de los gases NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO y O <sub>3</sub>

### **Elaboró:**

*Eaking Alberto Ballesteros Urrutia – PROFESIONAL RMCAB*  
*Edna Lizeth Montealegre Garzón – PROFESIONAL RMCAB*  
*Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez – PROFESIONAL RMCAB*  
*María Camila Buitrago Jiménez – PROFESIONAL SATAB*  
*Edison Yesid Ortíz Durán – PROFESIONAL SIMCAB*

### **Revisó:**

*Luis Álvaro Hernández González – PROFESIONAL ESPECIALIZADO RMCAB*  
*José Hernán Garavito Calderón - PROFESIONAL ESPECIALIZADO RMCAB*  
*Leonardo Quiñones Cantor – PROFESIONAL ESPECIALIZADO SATAB*

### **Autorizó:**

*Oscar Alexander Ducuara Falla - SUBDIRECTOR DE CALIDAD DEL AIRE, AUDITIVA Y VISUAL*

## FIN DEL INFORME