



INFORME MENSUAL DE CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ

Enero 2020

Podemos sobrevivir entre 30 y 45 días sin
comer, hasta uno semana sin beber agua,
pero no más de diez o diez y media días sin aire.

¡Cuidalo!



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Estación Móvil 7ma

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

Camilo Alexander Rincón Escobar
Director de Control Ambiental

Julio Cesar Pulido Puerto
Subdirector (E) 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 PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, SO₂, NO₂ 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 enero de 2020, 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 enero de 2020, 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
Abrev.	GYR	USQ	SUB	LFR	CDAR	MAM	MOV	FTB	PTE	KEN	CSE	TUN	SCR
No. Estación	8	1	11	6	5	2	12	14	13	9	3	4	7

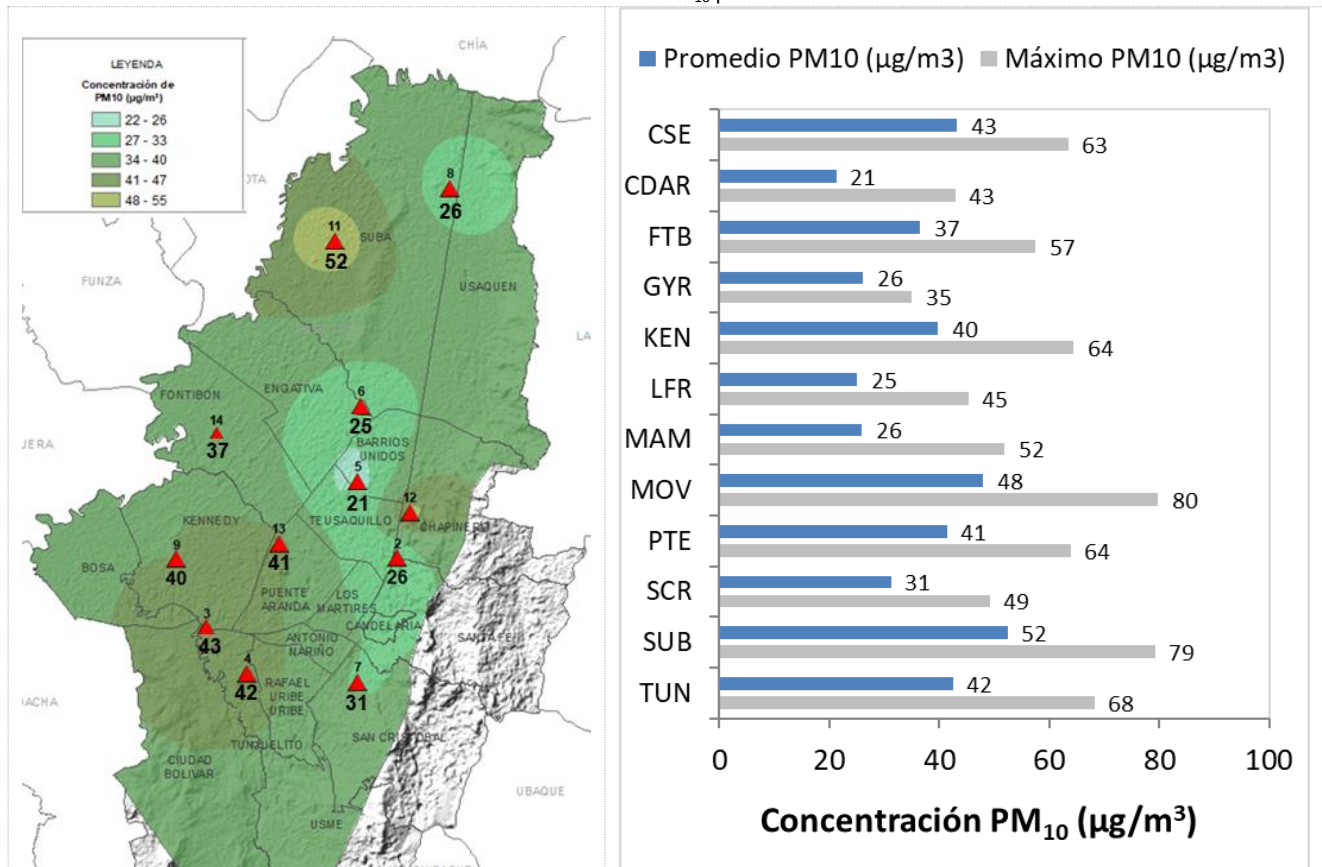
2 COMPORTAMIENTO TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE PM₁₀

La Tabla 1 muestra los datos obtenidos para material particulado PM₁₀ en el mes de enero de 2020, 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 noroccidente de la ciudad en la estación Suba (**52.5 µg/m³**) y en la zona centro-oriente en la estación Móvil 7ma (**48.0 µg/m³**), mientras que las menores concentraciones se registraron en la zona centro de la ciudad, en la estación Centro de Alto Rendimiento (**21.3 µg/m³**) y en la estación Las Ferias (**25.1 µg/m³**). Las concentraciones máximas diarias más altas para el mes corresponden a **79.7 µg/m³** en la estación Móvil 7ma, y **79.3 µg/m³** en Suba; las concentraciones diarias máximas registradas en estas estaciones sobrepasaron el nivel máximo definido por la norma nacional diaria (75 µg/m³).

Las concentraciones de PM₁₀ en este mes permanecen altas en el suroccidente de la ciudad, sin embargo, hubo un incremento notable en la concentración en la zona de influencia de la estación Suba, ya que en dicha estación se registró una predominancia de los vientos desde el suroccidente, a bajas velocidades, con influencia de la contaminación generada en las regiones aledañas en la ciudad.

Tabla 1. Resumen de datos de PM₁₀ para enero de 2020



Est.	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ*
Prom. PM₁₀ (µg/m³)	43.3	21.3	36.6	26.1	39.7	25.1	25.9	48.0	41.4	31.3	52.5	42.4	18.6
Máx. PM₁₀ (µg/m³)	63.5	42.9	57.5	35.0	64.4	45.3	51.9	79.7	63.8	49.2	79.3	68.2	32.1
Exc. 24h	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0
Datos válidos (%)	100%	97%	100%	94%	94%	81%	100%	100%	97%	84%	97%	100%	65%

* 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 PM₁₀ 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 PM₁₀ se presentaron en el suroccidente de la ciudad (Carvajal-Sevillana y Kennedy) y centro-oriente (Estación Móvil 7ma), principalmente en la tercera semana de enero. Las concentraciones diarias más bajas se observaron en la zona centro (Las Ferias), durante la segunda semana del mes. En este periodo se registraron dos (2) excedencias de los promedios diarios de concentración con respecto a la norma nacional diaria de PM₁₀ según la Resolución 2254 de 2017 del MADS (75 µg/m³), en la estación Móvil 7ma.

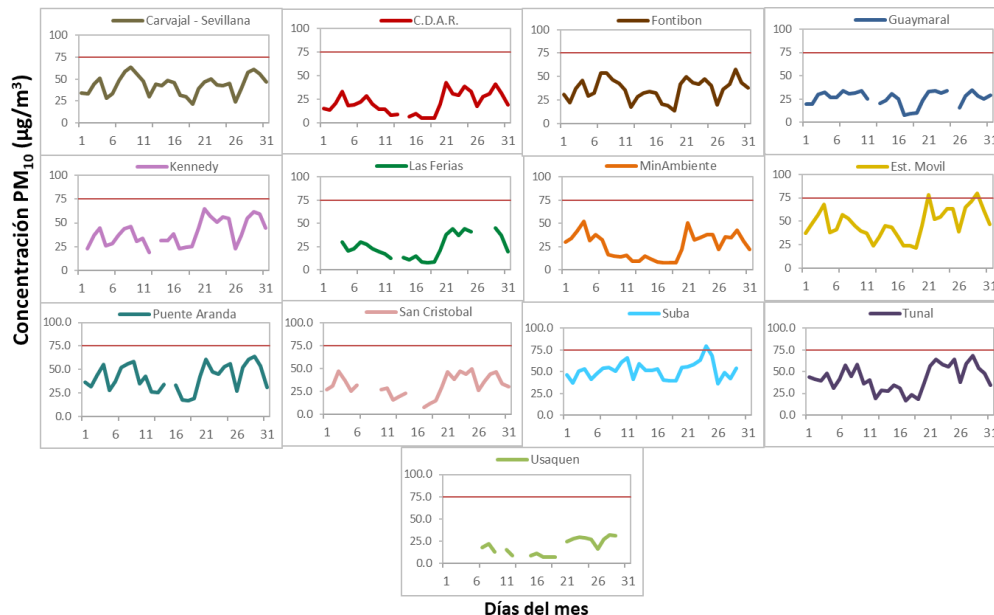


Figura 1. Comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{10} para enero de 2020

La Figura 2 presenta el comportamiento interanual de las concentraciones promedio mensual de PM_{10} para el mes de enero en los últimos 4 años. Se observa que los registros del 2020 son más bajos a los obtenidos en los años anteriores, aunque se presentaron algunos aumentos respecto al 2019, en Guaymaral, San Cristóbal, Suba y Tunal, siendo esta última estación la que tuvo el mayor aumento con $10 \mu g/m^3$.

La estación Carvajal-Sevillana tiende a registrar las concentraciones más altas en Enero, sin embargo en el 2020 registró concentraciones más bajas que en otras estaciones.

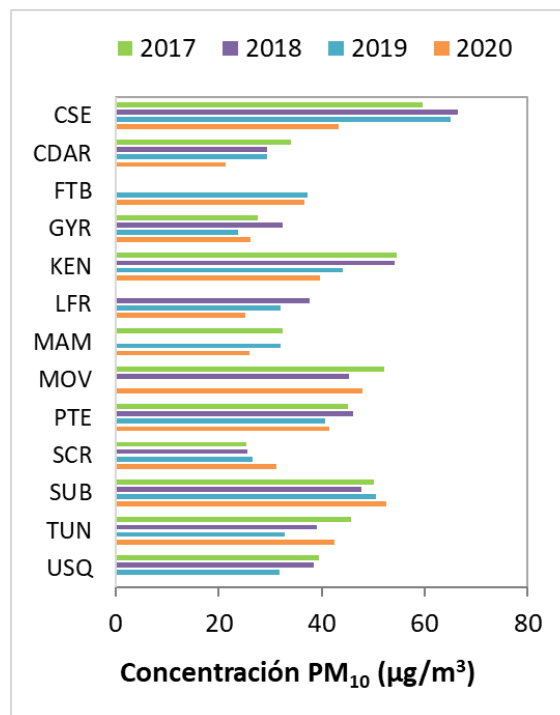


Figura 2. Comportamiento interanual de las concentraciones de PM_{10} (2017-2018-2019-2020) para los meses de enero

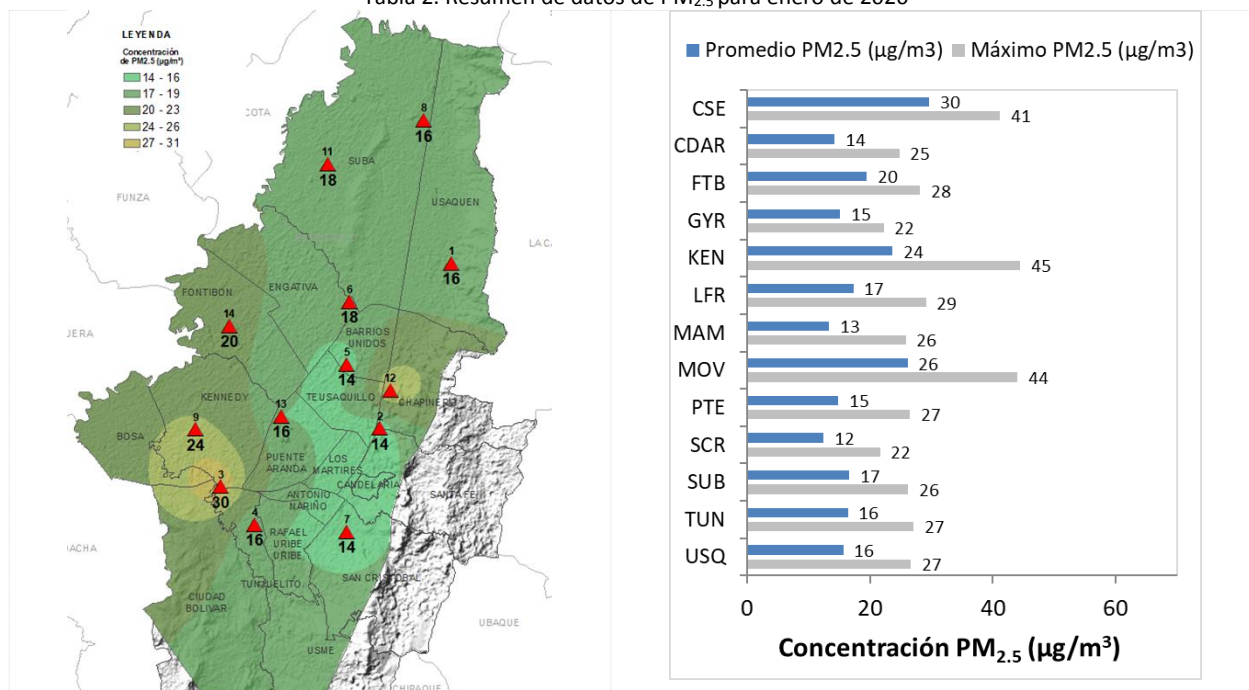
3 COMPORTAMIENTO TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE PM_{2.5}

La Tabla 2 muestra los datos obtenidos para material particulado PM_{2.5} en el mes de enero de 2020, 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 la estación Carvajal - Sevillana con **29.7 µg/m³** y en el centro de la ciudad en la estación Móvil 7ma con **26.2 µg/m³**; mientras que las menores concentraciones se registraron en el suroriente de la ciudad en San Cristóbal con **12.5 µg/m³** y en el centro de la ciudad la estación MinAmbiente con **13.3 µg/m³**. La concentración máxima diaria de PM_{2.5} más alta en el mes fue de **44.5 µg/m³** en la estación Kennedy, seguida de **44.0 µg/m³** en la Estación Móvil; dichas concentraciones máximas excedieron la norma nacional diaria (37 µg/m³).

Aunque las concentraciones de PM₁₀ han disminuido en la estación Carvajal-Sevillana, sigue registrando los valores más altos de PM_{2.5} en la ciudad, por posible influencia del aumento de las emisiones por fuentes móviles y la influencia del transporte de material particulado desde municipios aledaños a la ciudad. Por otro lado, las concentraciones más bajas se mantienen en el oriente de la ciudad, en las localidades de San Cristóbal, Santa Fé y Candelaria.

Tabla 2. Resumen de datos de PM_{2.5} para enero de 2020



Est.	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
Prom. PM _{2.5} (µg/m ³)	29.7	14.2	19.5	15.2	23.7	17.3	13.3	26.2	14.9	12.5	16.7	16.4	15.7
Máx. PM _{2.5} (µg/m ³)	41.2	24.8	28.2	22.3	44.5	29.1	25.9	44.0	26.5	21.7	26.2	27.2	26.7
Exc. 24h	5	0	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0
Datos válidos (%)**	100%	90%	97%	97%	100%	100%	100%	100%	97%	84%	97%	94%	100%

**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 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 PM_{2.5} se presentaron en la zona suroccidente (Carvajal-Sevillana y Kennedy) y en la zona centro oriente en la estación Móvil 7ma, en la última semana del mes; mientras que las concentraciones más bajas se registraron en la zona suroriente (San Cristóbal) y nororiente (Usaquén), entre los días 14 a 17. En enero de 2020 se presentaron once (11) excedencias al valor establecido por la norma nacional diaria de PM_{2.5} (37 µg/m³), en la estación Carvajal-Sevillana (5), Móvil (5), y Kennedy (1).

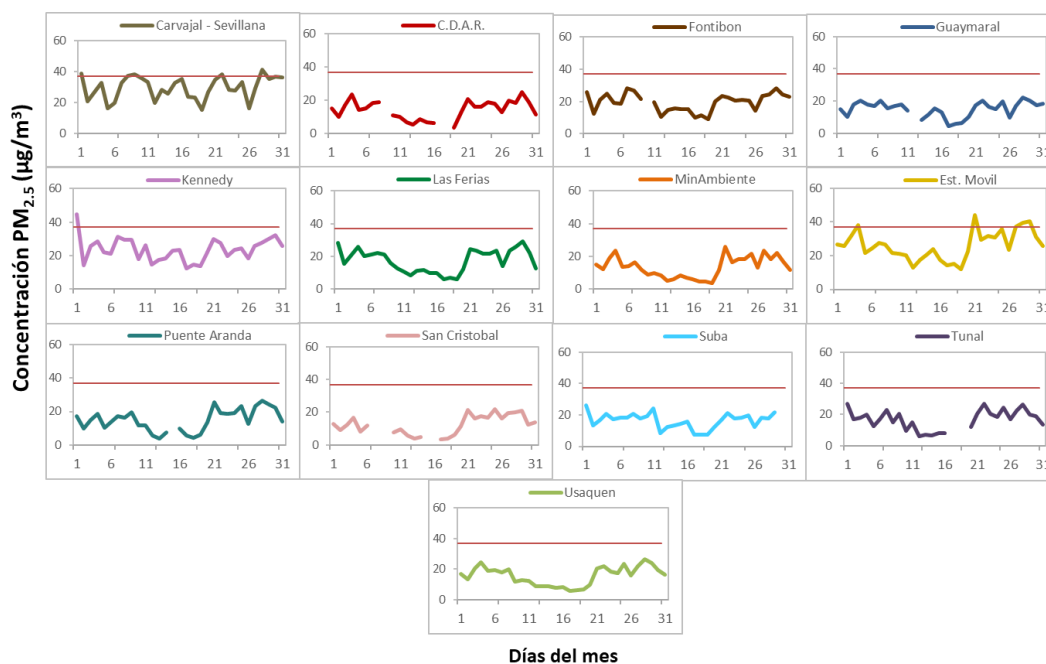


Figura 3. Comportamiento de las concentraciones diarias PM_{2.5} para enero de 2020

La Figura 4 presenta el comportamiento interanual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el mes de enero en los últimos 4 años. Se evidencia que los datos registrados en el 2020 fueron más altos que el año anterior en las estaciones Carvajal-Sevillana, Fontibón, Las Ferias y Usaquén.

Las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y Móvil tienden a registrar los datos más altos para el mes de enero.

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

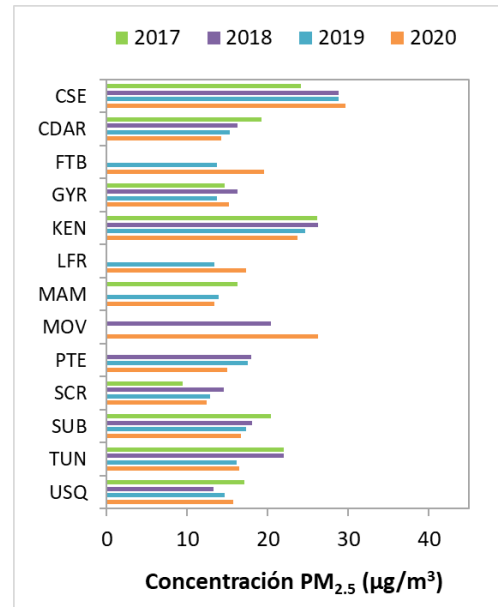


Figura 4. Comportamiento interanual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ (2017-2018-2019-2020) para los meses de enero

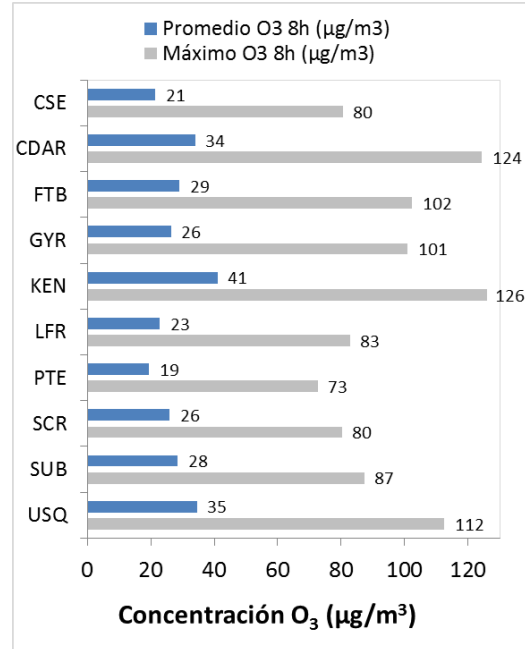
4 COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO (O_3). PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS.

La Tabla 3 presenta los datos obtenidos para ozono (O_3) en el mes de enero de 2020, 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 $41.082 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en Centro de Alto Rendimiento con $34.032 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que las menores concentraciones se presentaron en la zona occidente, en la estación Puente Aranda con $19.430 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la estación Carvajal - Sevillana ($21.387 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 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 respecto a meses anteriores, por posibles cambios en la dinámica de la atmósfera y la meteorología, por la variación de la radiación solar. La concentración máxima más alta con base en promedios 8 horas fue de $125.936 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Kennedy; la cual excedió la norma nacional 8 horas ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla 3. Resumen de datos de O₃ para enero de 2020

	Prom. O ₃ (µg/m ³)	Máx. O ₃ (µg/m ³)	Exc. 8h	Datos válidos (%)
CSE	21.387	80.491	0	100%
CDAR	34.032	124.170	7	100%
FTB	28.971	102.318	2	100%
GYR	26.393	100.773	1	95%
KEN	41.082	125.936	29	99%
LFR	22.890	82.747	0	100%
MAM*	19.115	67.248	0	65%
PTE	19.430	72.594	0	100%
SCR	25.946	80.221	0	79%
SUB	28.417	87.284	0	79%
TUN*	19.180	53.338	0	38%
USQ	34.537	112.472	4	85%



*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 enero de 2020 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 O₃ se presentaron en las zonas occidente y centro de la ciudad, en las estaciones Kennedy, Fontibón y Centro de Alto Rendimiento, durante la primera 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 observan aumentos notables de la concentración de ozono en la zona centro-occidental de la ciudad, registrando varias excedencias en la primera mitad del mes. En enero de 2020, se registraron cuarenta y tres (43) excedencias en la estación Kennedy de los promedios 8 horas de concentración con respecto a la norma nacional 8 horas de O₃ según la Resolución 2254 de 2017 del MADS (100 µg/m³), veintinueve (29) en Kennedy, siete (7) en Centro de Alto Rendimiento, cuatro (4) en Usaqué, dos (2) en Fontibón y una (1) en Guaymaral.

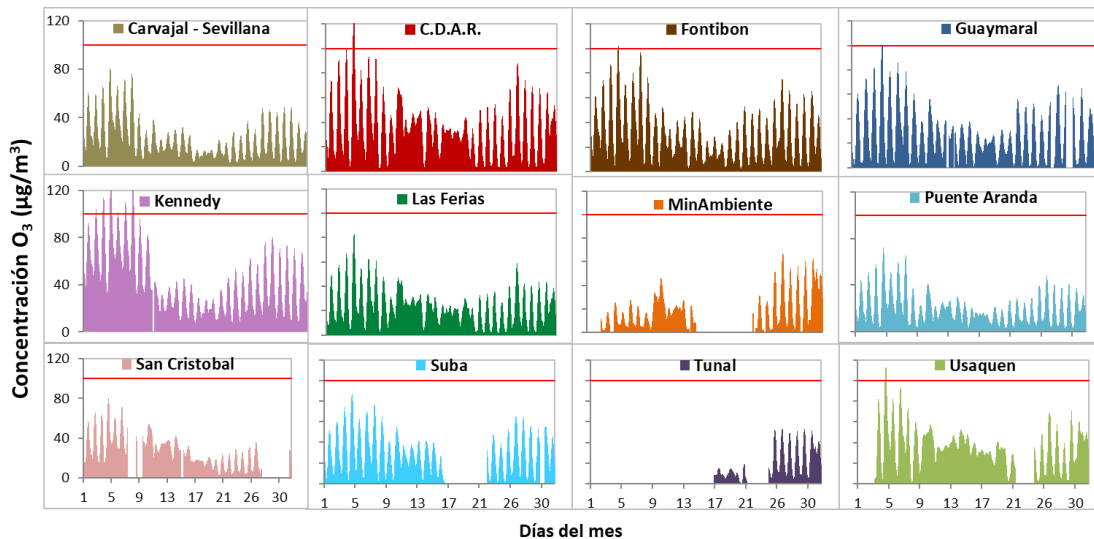


Figura 5. Comportamiento de las concentraciones 8h de O₃ para enero 2020 y comparación con norma nacional.

La Figura 6 muestra el comportamiento interanual de las concentraciones de O₃ del mes de enero en los últimos 4 años. Se observa que las concentraciones registradas en el 2020 son las más altas de los últimos 4 años en algunas estaciones, además de tener un incremento con el paso del tiempo. El registro de la estación Kennedy es el más alto de los últimos 4 años, con un aumento de 16 µg/m³ sobre el valor del 2019.

Aunque Usaquén ha sido la estación que registra los valores más altos de ozono en la ciudad, las concentraciones en Kennedy y Centro de Alto Rendimiento han sido iguales o superiores en el último año.

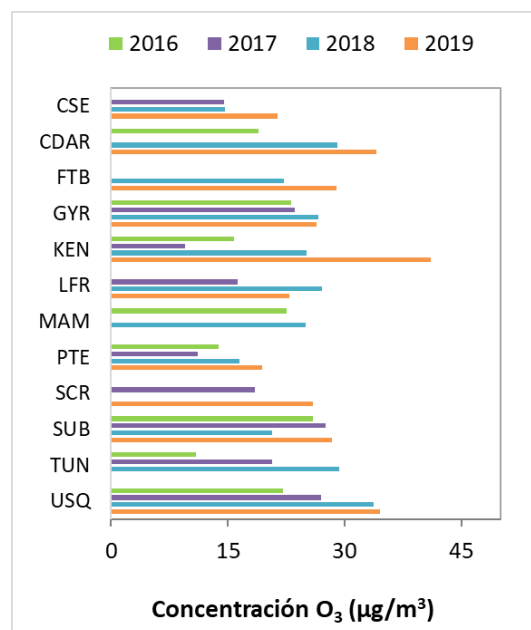


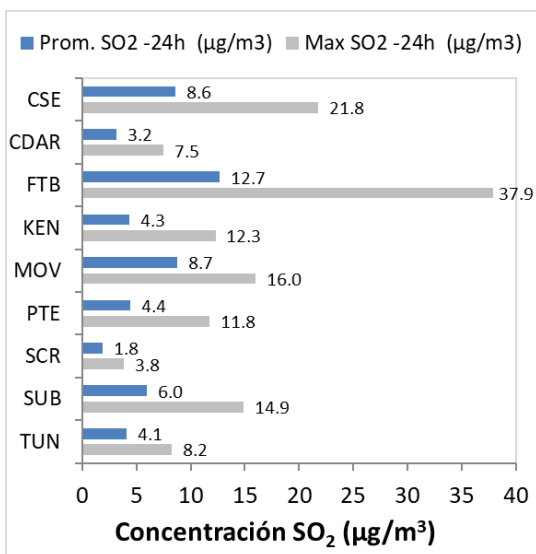
Figura 6. Comportamiento interanual de las concentraciones de O₃ (2017-2018-2019-2020) para los meses de enero

5 COMPORTAMIENTO DIARIO DE LAS CONCENTRACIONES DE SO₂, NO₂, CO.

La Tabla 4, Tabla 5, y Tabla 6 presentan las concentraciones promedio mensuales y máximas de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO), correspondientes al mes de enero de 2020. Igualmente se presenta el resumen de datos válidos y las excedencias, donde se observa que las concentraciones de SO₂, NO₂ 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 cinco (5) excedencias en la estación Fontibón a la norma horaria de SO₂ (100 µg/m³). 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.

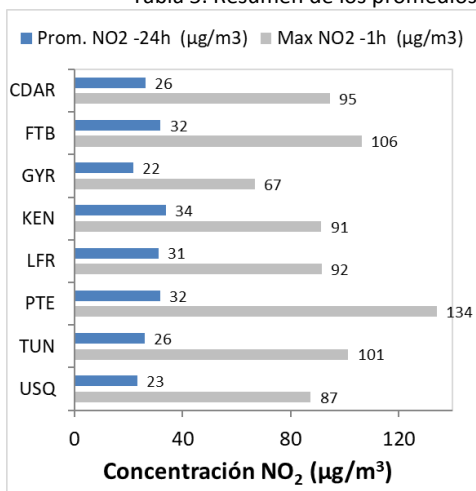
Tabla 4. Resumen de los promedios 24 horas para SO₂. enero 2020.



Est.	Prom. SO ₂ (µg/m ³)	Máx. SO ₂ (µg/m ³)	Exc. 24h	Exc. 1h	Datos válidos (%)
CSE	8.6	21.8	0	0	100%
CDAR	3.2	7.5	0	0	100%
FTB	12.7	37.9	0	5	94%
KEN	4.3	12.3	0	0	100%
MOV	8.7	16.0	0	0	94%
PTE	4.4	11.8	0	0	100%
SUB	6.0	14.9	0	0	97%
TUN	4.1	8.2	0	0	100%
USQ*	1.4	3.2	0	0	52%

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

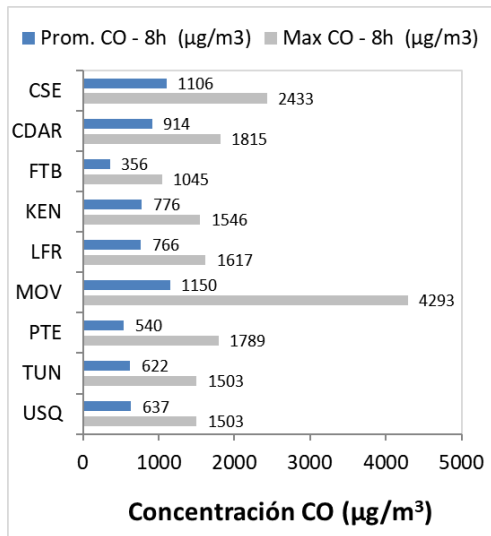
Tabla 5. Resumen de los promedios diarios y excedencias horarias para NO₂. enero 2020.



Est.	Prom. NO ₂ (µg/m ³)	Máx. 1h NO ₂ (µg/m ³)	Exc. 1h	Datos válidos (%)
CSE*	44.2	92.5	0	68%
CDAR	26.3	94.6	0	100%
FTB	31.8	106.2	0	100%
GYR	21.7	66.8	0	94%
KEN	33.8	91.4	0	100%
LFR	31.0	91.6	0	100%
PTE	31.7	134.1	0	100%
TUN	N.A.	N.R.	0	0%
USQ	26.0	101.4	0	100%

*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. enero 2020.



Est.	Prom. CO (µg/m³)	Máx. CO (µg/m³)	Exc. 8h	Exc. 1h	Datos válidos (%)
CSE	1106.2	2432.9	0	0	98%
CDAR	913.6	1815.5	0	0	100%
FTB	355.6	1044.7	0	0	100%
KEN	776.3	1545.6	0	0	100%
LFR	765.9	1617.2	0	0	97%
MOV	1149.8	4293.4	0	0	100%
PTE	540.0	1788.9	0	0	100%
TUN	622.0	1502.7	0	0	100%
USQ	636.7	1502.7	0	0	100%

6 COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE BLACK CARBON

La Red de Monitoreo de Black Carbon – RMBC, se encuentra asociada a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, la cual es de propiedad de la Secretaría Distrital de Ambiente. Los instrumentos dispuestos para esta red se encargan de realizar monitoreo a los aerosoles atmosféricos, que son partículas sólidas o líquidas que se encuentran suspendidas en la atmósfera y cuyo tamaño varía entre 0.001 y 100 µm.

La RMCAB cuenta con ocho aethalómetros que 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 está formado por la combustión incompleta de fuentes 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, semanales 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 enero de 2020 incluyendo las concentraciones promedio mensuales, concentraciones diarias máximas y el porcentaje de datos capturados en el mes.

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 $7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; por otro lado, las menores concentraciones se registraron en la zona centro oriental de la ciudad en las estaciones de Las Ferias y Centro de Alto de Rendimiento con $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Las concentraciones máximas diarias de Brown carbon (UV-BC) más altas se presentaron en la zona centro en la estación de Centro de Alto Rendimiento con $53.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en la zona suroccidental en la estación de Tunal con $41.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 $8.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; por otro lado, las menores concentraciones se registraron en la zona centro de la ciudad en las estaciones de Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento con $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Adicionalmente, durante el mes de enero, 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, durante este mes la estación de Kennedy presentó la menor captura de datos con un 69% debido a que el equipo se encontraba en mantenimiento.

Tabla 7. Resumen de datos obtenidos de black carbon en las dos longitudes de onda (UV-BC y BC) enero 2020.

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	7.8	33.0	8.0	34.6	86
CDAR	5.2	53.8	5.6	57.6	100
FTB	6.2	39.3	6.3	41.7	100
KEN	7.1	31.6	7.2	32.2	69
LFR	2.6	40.1	3.3	42.4	79
MAM	5.9	38.2	6.7	55.6	100
TUN	5.3	41.5	7.0	43.5	97

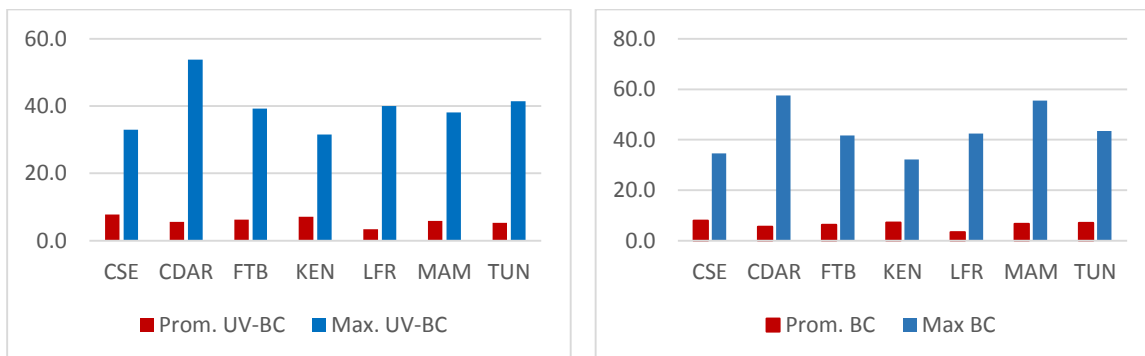
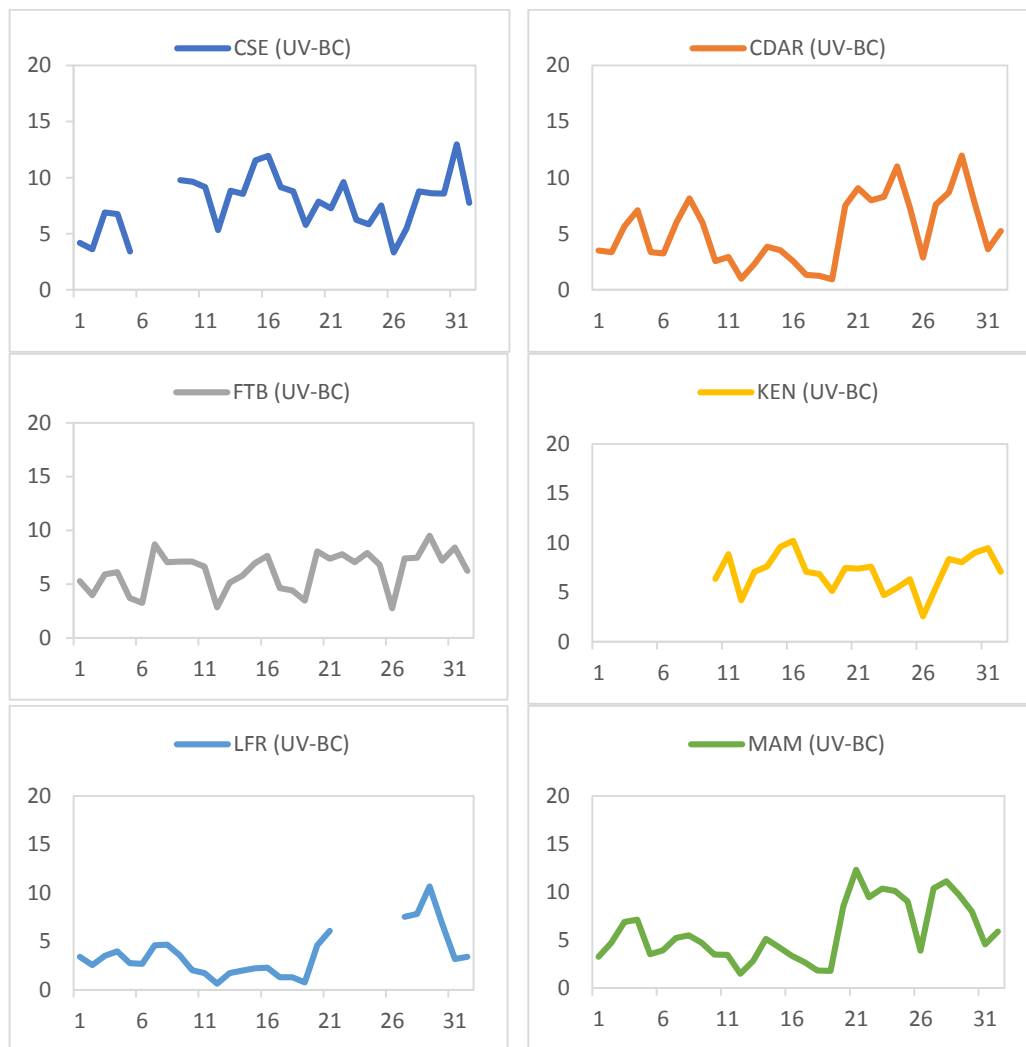


Figura 7. Promedios de concentraciones mensuales, valores máximos para brown carbon (UV-BC) y black carbon (BC) enero 2020

En la Figura 7 y la Figura 8 presenta las concentraciones diarias de brown carbon y black carbon. De acuerdo con la ubicación y su comportamiento, las concentraciones más altas se presentaron en la zona suroccidental en las estaciones de Carvajal – Sevillana y

Kennedy; sin embargo, durante la tercera semana del mes las estaciones de Centro de Alto Rendimiento, Fontibón, Tunal y MinAmbiente presentaron incrementos en las concentraciones que en el caso de esta última fue superior a los 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por otro lado, en la zona suroccidental, en las estaciones de Carvajal – Sevillana y Kennedy, se evidencia que las concentraciones de brown carbon (UV-BC) y black carbon (BC) tuvieron un incremento significativo, en comparación con días anteriores, esto puede deberse al regreso de los vehículos a la ciudad después de la temporada de vacaciones.



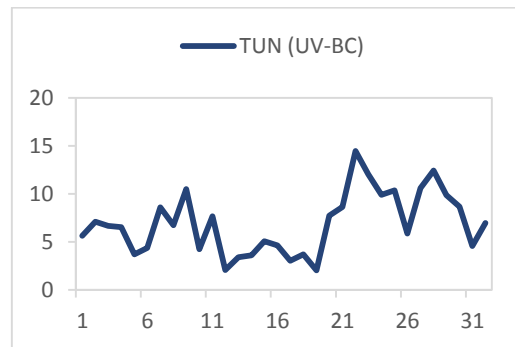
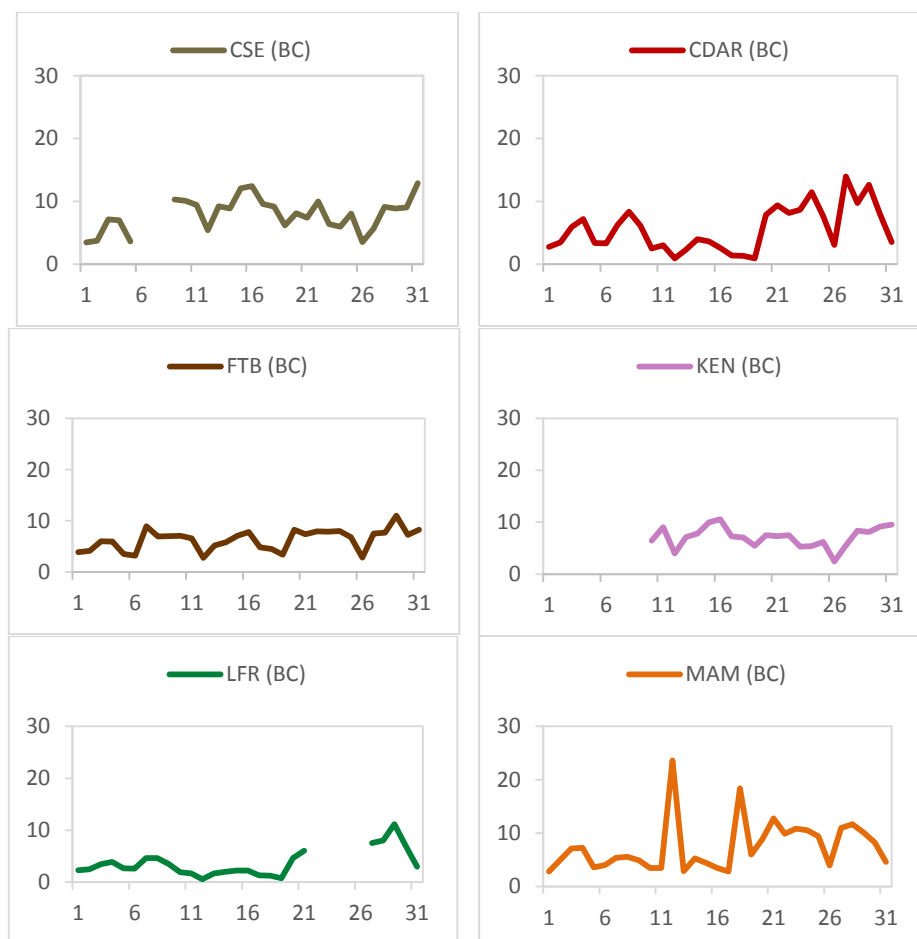


Figura 8. Comportamiento de las concentraciones diarias de black carbon (UV-BC) para enero de 2020



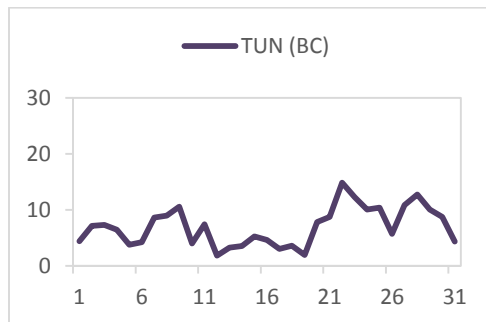


Figura 9. Comportamiento de las concentraciones diarias de black carbon (BC) para enero de 2020

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.

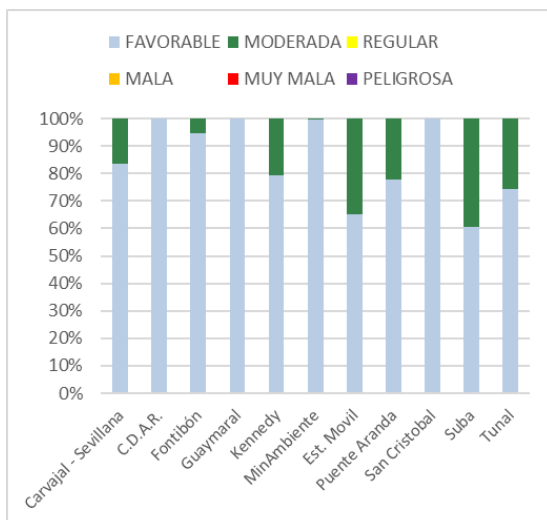


Figura 10. IBOCA para PM₁₀ por estación en enero 2020

La Figura 10 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de las concentraciones 24 horas de PM₁₀ por estación de monitoreo registrados en el mes de enero. Se observa que predominaron las categorías “favorable” y “moderada” en las estaciones del norte y centro de la ciudad, en Suba y la estación Móvil 7ma. La estación Suba registró la condición más desfavorable, (“Moderada” durante un 39% del mes y “Favorable” en el 61% restante), mientras que las estaciones CDAR, Guaymaral y San Cristóbal permanecieron el 100% del mes con la calidad del aire en condición “Favorable”.

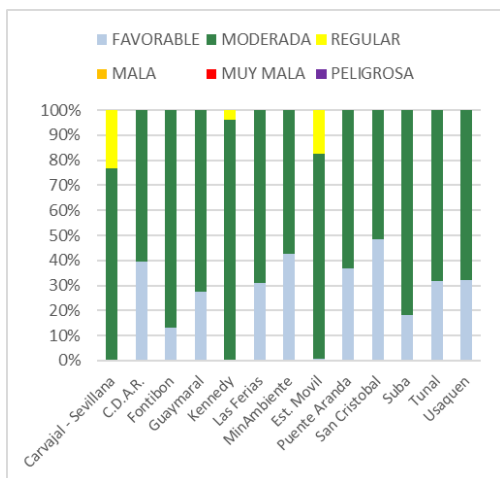


Figura 11. IBOCA para PM_{2.5} por estación en enero 2020

La Figura 11 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de las concentraciones PM_{2.5} de 24 horas en cada estación de monitoreo. Se observa que en el mes de enero predominan las categorías “moderada” y “favorable” en todas las estaciones, y “regular” en las estaciones Carvajal-Sevillana, Móvil 7ma y Kennedy. La estación Carvajal-Sevillana presentó el estado de calidad del aire más desfavorable, con una condición “moderada” durante el 77% del mes y “regular” el 23 % del tiempo. De otro lado, la estación San Cristóbal presentó el mejor estado de la calidad del aire con una condición “favorable” el 48% del mes.

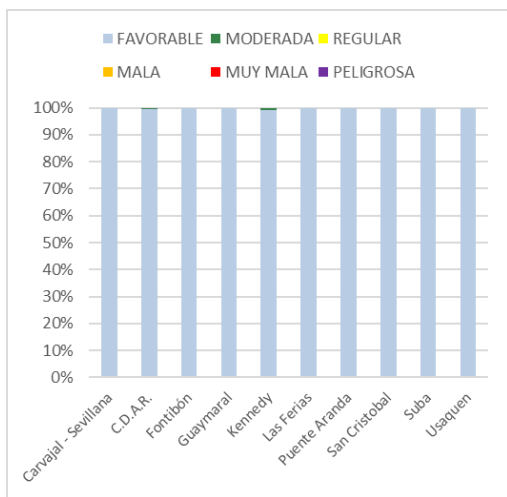


Figura 12. IBOCA para O₃ por estación en enero 2020

La Figura 12 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de las concentraciones 8 horas de O₃ 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 enero, a excepción de la estación Kennedy que registró la condición “moderada” el 1% del tiempo.

6. COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN

De acuerdo con la estacionalidad de las lluvias en la ciudad de Bogotá, el mes de enero ha sido históricamente seco y enero de 2020 no es la excepción. El total de lluvias acumuladas durante este mes, en la mayoría de las estaciones, estuvo por debajo de los 50 mm. Sólo las estaciones de Tunal y Kennedy superaron los 50 mm, con acumulados de 53 mm y 63 mm, respectivamente. Ver Figura 13 y Tabla 8. Comparado con enero de 2019 el escenario fue idéntico, la Estación Móvil solo registró 47 mm de lluvia. Sin embargo, es importante anotar que enero de 2019 estuvo bajo la influencia de un episodio El Niño, aunque éste fue categorizado como débil. En cuanto al número de días con lluvia, en la mayoría de las estaciones se contaron eventos inferiores a 10 días, exceptuando la estación de Guaymaral donde se registraron 12 días con lluvia.

Es bien sabido que la lluvia ejerce una función de lavado de la atmósfera. Sin embargo, con la baja intensidad y frecuencia de las lluvias registradas durante el mes de enero de 2020, posiblemente se redujo su contribución a la reducción de las concentraciones de contaminantes atmosféricos.

En enero de 2020 dos estaciones no cumplieron con el criterio de representatividad temporal del 75%, razón por la cual no se presentan sus datos.

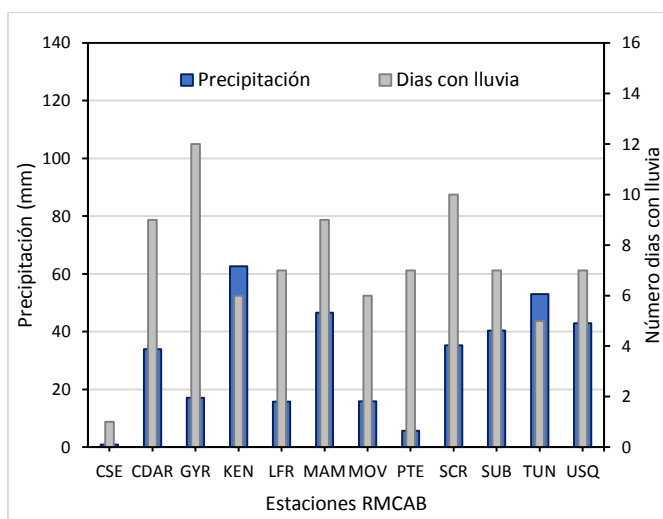


Figura 13 Precipitación media mensual por estaciones y número de días con precipitación (enero -2020).

Tabla 8 Precipitación acumulada media mensual por estaciones y número de días con lluvia (enero -2020)

Estación	Precipitación acumulada (mm/mes)	Días con lluvia
BOL	No Data	No Data
CSE	1	1
CDAR	34	9
FTB	No Data	No Data
GYR	17	12
KEN	63	6
LFR	16	7
MAM	47	9
MOV	16	6
PTE	6	7
SCR	35	10
SUB	40	7
TUN	53	5
USQ	43	7

7. COMPORTAMIENTO TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

De acuerdo con la RMCAB para este primer mes del año 2020 la temperatura ambiente en la ciudad de Bogotá muestra un incremento considerable con respecto al año anterior. En enero de 2020 se alcanzó un valor medio de 17,6 °C hacia el sector suroccidental de la ciudad representado por la estación de Kennedy. De igual manera se observó un incremento en la temperatura ambiente hacia el sector centro oriente, registrado por la Estación Móvil donde en promedio se registraron 16,3 °C. Ver Figura 14. Comparado con enero de 2016 que ha sido el más cálido de las últimas décadas, se presentan las siguientes semejanzas: en enero de 2016 el valor más alto se presentó en la estación de móvil con 17,7 °C y el segundo en la estación Carvajal con 16,6 °C. Entre tanto, en enero de 2020 la móvil registró 16.3°C y la estación de Kennedy, cercana a la estación Carvajal, 17,6 °C.

En cuanto a los valores extremos, la estación de Usaquén registró las menores temperaturas con una mínima absoluta de 2,1 °C y amplitud térmica de 24,7 °C; Kennedy la máxima absoluta de la ciudad con 28,7 °C y una amplitud térmica de 19,8 °C. Ver Tabla 9 y Figura 15. Con estas diferencias de temperatura la intensidad y tamaño de los sistemas de circulación local muy posiblemente fueron mayores que en condiciones de temperaturas más bajas, esto debido a que conforme las diferencias de temperatura son mayores en la escala diurna y a nivel tropical, asimismo se incrementan los remolinos en la atmosfera y la mezcla turbulenta, debidos principalmente a la convección térmica.

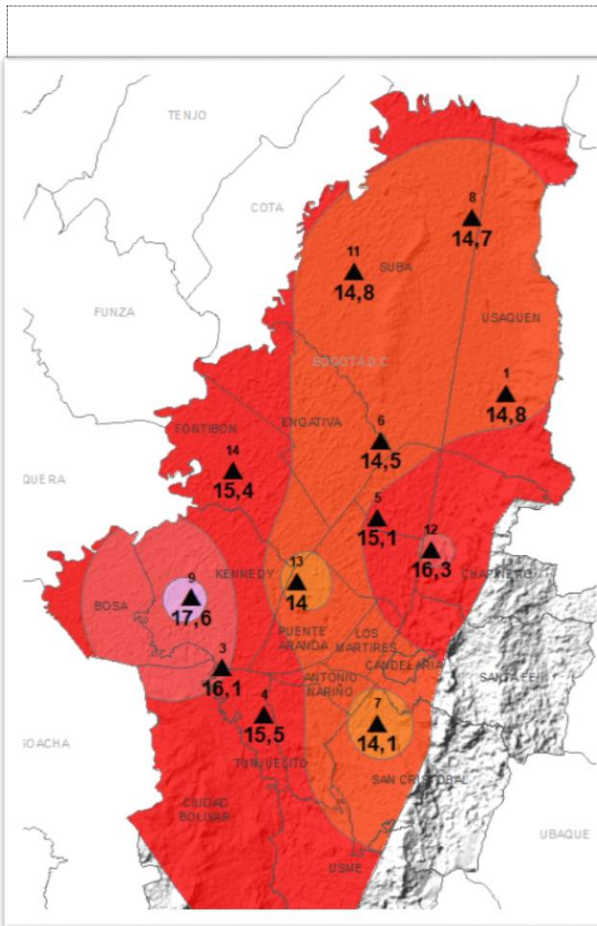


Figura 14. Mapa del promedio de temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB con base en el método de interpolación de Kriging – (enero - 2020)

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

Estación	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura media (°C)
BOL	No Data	No Data	No Data
CSE	7	23,8	16,1
CDAR	3,4	25,9	15,1
FTB	7,8	22,9	15,4
GYR	3,3	25,3	14,7
KEN	8,9	28,7	17,6
LFR	6,9	22,5	14,5
MAM	No Data	No Data	No Data
MOV	8,4	25,8	16,3
PTE	7	21,4	14
SCR	6,2	21,9	14,1
SUB	4,2	26,9	14,8
TUN	4,3	25,7	15,5
USQ	2,1	26,8	15
Promedio	6,6	24,5	15,5

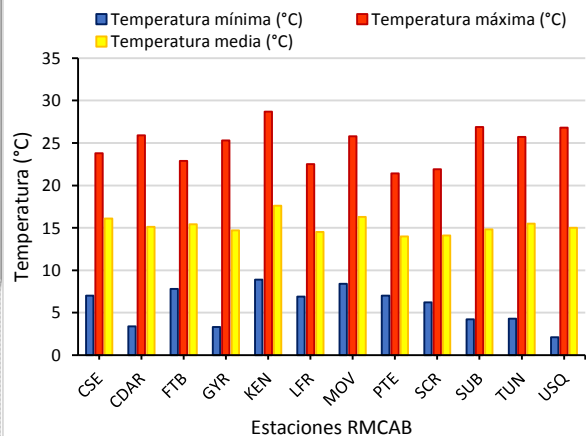


Figura 15. Temperaturas medias, máximas y mínimas absolutas por estaciones (enero - 2020)

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

El comportamiento de los vientos durante el mes de enero presenta un patrón de flujo normal en la ciudad de Bogotá, con velocidades que fluctúan entre 1,0 a 2,6 m/s, con las mayores velocidades hacia el sector suroccidental y las menores hacia el norte y sur de la ciudad. Ver Figura 16. Comparado con el mes de enero de 2019 se observa una ligera disminución hacia el sector suroccidental. Por ejemplo, en 2019 las estaciones de Puente Aranda y Carvajal las velocidades del viento promedio fueron 2,7 m/s y 2,4 m/s, respectivamente, mientras que para 2020, se registraron promedios de 2,2 m/s y 1,3 m/s.

Respecto de los valores máximos las velocidades máximas absolutas se registraron en las estaciones de Puente Aranda (6,7 m/s) y Minambiente (6,6 m/s). Ver Figura 17 y Tabla 10.

En cuanto a su dirección, en enero de 2020 se presentó un fuerte predominio de los vientos del sur y del suroccidente, lo que generó arrastre de partículas hacia la estación de Suba, contribuyendo con el incremento de las concentraciones hacia la zona noroccidente de la ciudad. Hacia el sector de los cerros orientales predominaron los vientos del suroriente, pero hacia el norte de los cerros la componente sur tomo mayor predominancia, favoreciendo un flujo de los alisios hacia el norte.

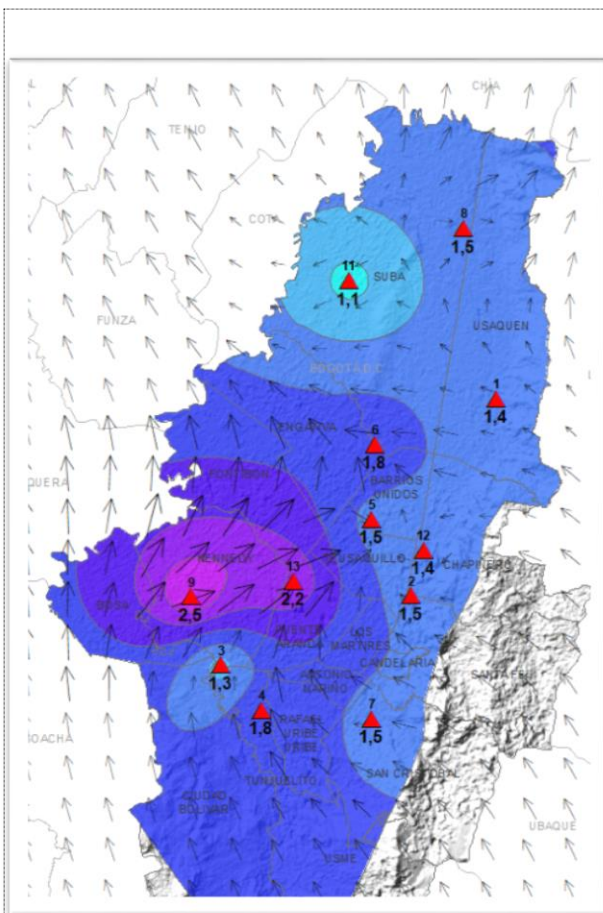


Figura 16. Velocidad promedio (Superficie en colores) y Dirección promedio (Vectores) del Viento de Bogotá con base en la interpolación de Kriging (enero - 2020)

Tabla 10. Velocidades reportadas para enero de 2020

Estación	Vel. mínima	Vel. máxima	Vel. Media
BOL	No Data	No Data	No Data
CSE	0	5,1	1,3
CDAR	0,1	5,3	1,5
GYR	0,6	4,8	1,5
KEN	0,2	6,1	2,5
LFR	0	5,7	1,8
MAM	0	6,6	1,5
MOV	0	3,8	1,4
PTE	0,1	6,7	2,2
SCR	0	4,5	1,5
SUB	0,1	4,8	1,1
TUN	0,1	4,9	1,8
USQ	0	5,9	1,4
Promedio Ciudad	0,1	5,9	1,9

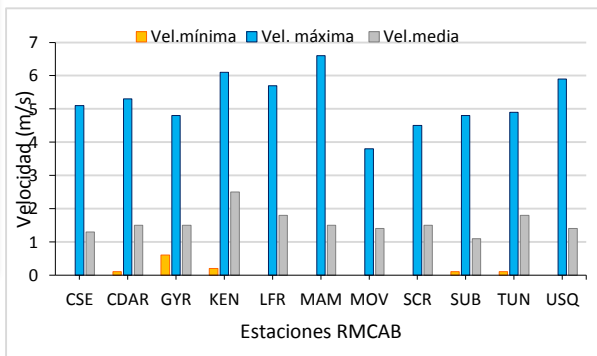
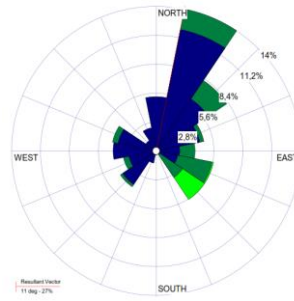


Figura 17 Velocidad del viento media, máxima y mínima absolutas por estación (enero - 2020)

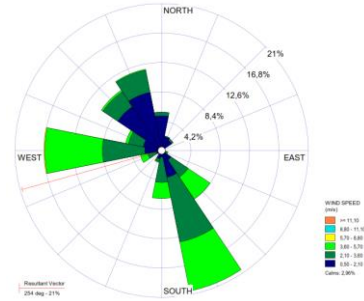
En la Figura 18 se pueden observar las rosas de vientos, de cada una de las estaciones de la RMCAB las cuales muestran no solo la resultante del viento promedio del mes, sino las frecuencias y velocidades en sus distintas direcciones.

N.A.



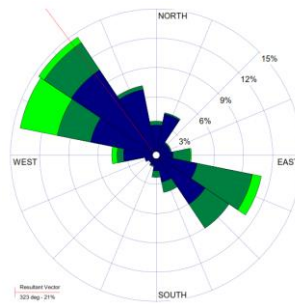
a) Bolivia

b) Suba



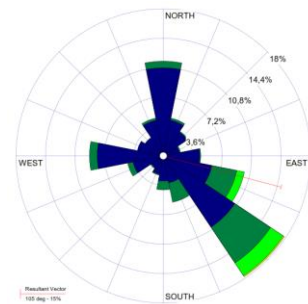
c) Guaymaral

N.A.



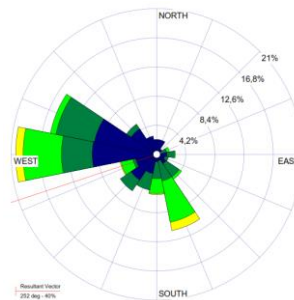
d) Las Ferias

e) CDAR



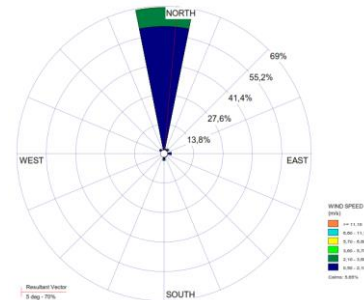
f) Usaquén

N.A.

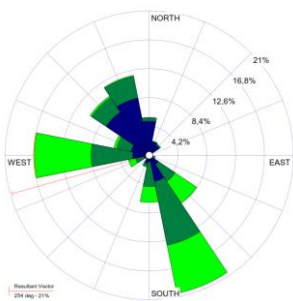


g) Fontibón

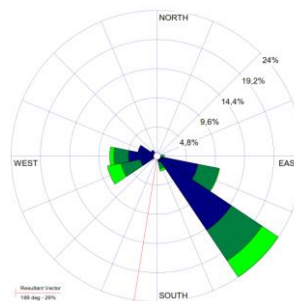
h) Puente Aranda



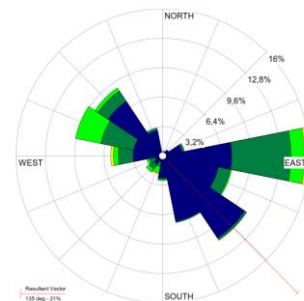
i) Móvil 7ma



j) Kennedy



k) Carvajal



l) MinAmbiente

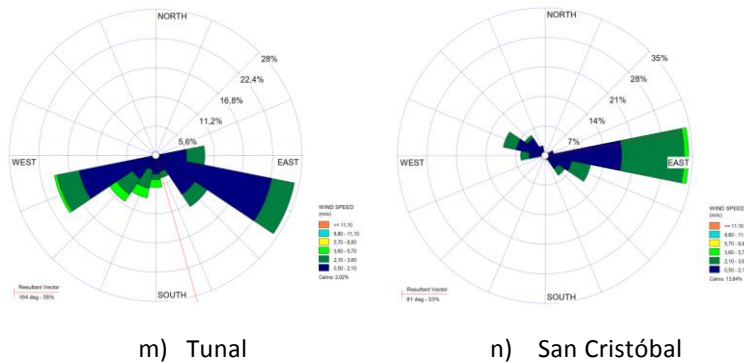


Figura 18. Rosas de viento – Enero de 2020.

7.1. Estimación de la Altura de la Capa Límite

Durante el mes de enero de 2020 las cantidades de radiación solar se incrementaron como suele ocurrir debido al desplazamiento de la zona de confluencia intertropical al sur del país, propiciando la ocurrencia de altas temperaturas durante el día y bajas temperaturas en la noche en la ciudad de Bogotá. En virtud de la cantidad de energía entrante durante el día, se pudo evidenciar un incremento en la altura de la capa límite promedio mensual, tanto al sur como al norte de la ciudad, alcanzando una altura máxima de 1697 m hacia el norte de la ciudad representada por la estación de Guaymaral y 1635 m hacia el sur en la estación de Tunal. Adicionalmente, se observa que hacia el sector sur se pudo haber presentado una acumulación energía residual que propició que en horas nocturnas la altura de la capa límite alcanzada valores medios cercanos a los 400 m, para luego descender a niveles inferiores a los 200 m, por el enfriamiento del aire debido a la pérdida de calor en el suelo. Ver Figura 19 a) y b).

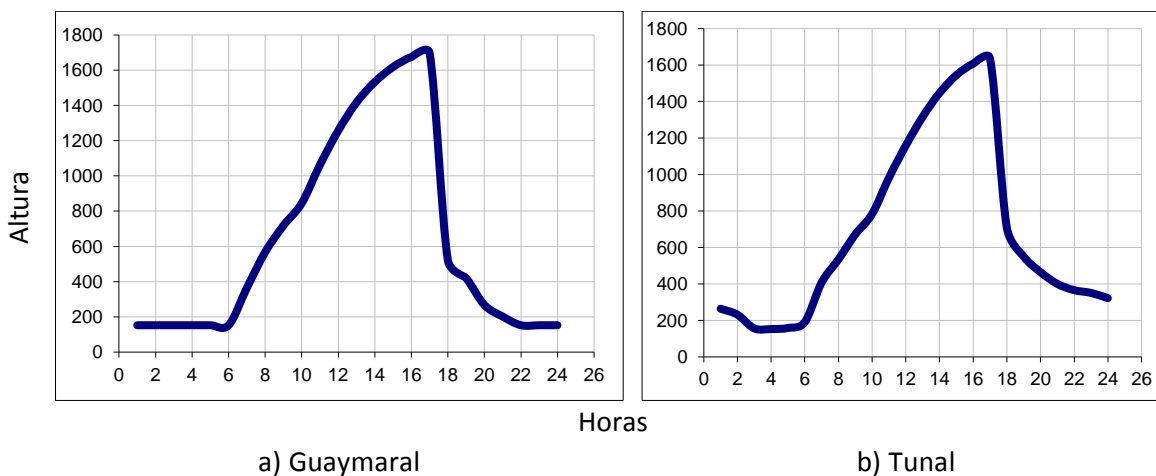


Figura 19. Estimación del perfil promedio horario mensual de la altura de la capa de mezcla a) Guaymaral y b) Tunal - enero de 2020

Así pues, debido a la cantidad de energía entrante se observa que entre las 9 de la mañana y las 4 de la tarde, la atmósfera presentó mayor inestabilidad sobre todo entre las 10 de la mañana y la 1 de la tarde, hacia el norte de la ciudad. Entre tanto, hacia el Sur, aunque menos inestable, también se presentó un patrón semejante.

En la Tabla 11 y Tabla 12 se presentan algunos parámetros de escala que describen las condiciones atmosféricas predominantes en el distrito capital, durante el mes de enero. Como es normal, en horas de la madrugada y la noche, sobre todo al norte de la ciudad, predominaron las estabilidades E y F, debido a la disminución de la radiación solar, pérdidas de energía del suelo y bajas velocidades del viento, que desfavorecen la dispersión de contaminantes por reducción de las fuerzas convectivas (ascenso por calor), predominando las fuerzas inerciales (impulso) cuya magnitud depende de la velocidad de los vientos.

Con el ciclo radiativo del sol, en horas de la mañana a la tarde, las estabilidades pasaron de condición neutral (D) a inestables (A, B), por la transferencia de calor del suelo que calienta el aire superficial o sobre yacente, tomando lugar las fuerzas convectivas, que favorecen la dispersión de los contaminantes que son descargados por las actividades productivas de la ciudad. Ver Tabla 11 y Tabla 12.

Tabla 11. Estimación de la altura de la capa de mezcla de la ciudad de Bogotá. Estación Guaymaral (enero – 2020)

Hora Local	Vel Viento	T	R _g	R _n	Z ₀	Z _m	u ₀	N	H ₀	Q*	LN (z _m /z ₀)	C _{DN}	u ₀ ²	C	u*	h _{mec}	h _{conv}	H _z	Estabilidad
Hr	m/s	°C	W/m ²	W/m ²	m	m	m/s								m/s	m	m	M	
1	0,8	10,8	0,0	-60,6	1	6	-	3	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
2	0,8	10,3	0,0	-60,9	1	6	-	3	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
3	0,8	9,8	0,0	-61,2	1	6	-	3	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
4	0,8	9,3	0,0	-61,5	1	6	-	3	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
5	0,9	9,0	0,0	-61,6	1	6	-	3	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
6	0,9	8,8	0,0	-61,7	1	6	-	3	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
7	0,9	9,2	27,3	-9,5	1	6	0,23	8	6,7	0,14	1,8	-	-	-	0,27	-	189	364	D
8	1,2	12,6	200,6	103,5	1	6	0,28	7	55,7	0,27	1,8	-	-	-	0,43	-	374	567	C
9	1,5	16,2	415,8	245,6	1	6	0,33	6	117,2	0,45	1,8	-	-	-	0,54	-	602	718	B
10	1,7	18,7	654,3	396,2	1	6	0,39	4	182,8	0,70	1,8	-	-	-	0,63	-	844	844	A
11	2,0	19,9	776,5	473,8	1	6	0,47	3	216,5	1,23	1,8	-	-	-	0,68	-	1062	1062	A
12	2,2	21,0	862,1	513,0	1	6	0,49	0	233,1	1,46	1,8	-	-	-	0,70	-	1256	1256	A
13	2,5	21,8	802,0	486,5	1	6	0,57	2	221,1	2,25	1,8	-	-	-	0,74	-	1416	1416	A
14	2,9	21,6	625,5	386,6	1	6	0,66	5	177,2	3,47	1,8	-	-	-	0,79	-	1533	1533	B
15	3,1	21,1	498,5	299,7	1	6	0,70	5	139,0	4,15	1,8	-	-	-	0,82	-	1618	1618	B
16	3,0	20,2	368,7	204,0	1	6	0,68	4	97,1	3,82	1,8	-	-	-	0,79	-	1674	1674	B
17	2,4	18,8	188,5	73,6	1	6	0,56	3	40,1	2,09	1,8	-	-	-	0,64	-	1697	1697	C
18	1,9	16,9	0,0	-62,7	1	6	-	2	-23,4	-	1,8	0,23	0,06	0,69	0,39	522	522	522	F
19	1,6	15,0	0,0	-64,3	1	6	-	2	-18,8	-	1,8	0,23	0,06	0,56	0,32	420	420	420	F
20	1,2	13,9	0,0	-65,2	1	6	-	2	-12,0	-	1,8	0,23	0,06	0,23	0,20	267	267	267	F
21	1,1	13,1	0,0	-65,8	1	6	-	2	-9,0	-	1,8	0,23	0,06	0,05	0,15	202	202	202	F
22	0,9	12,5	0,0	-66,2	1	6	-	2	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
23	0,8	11,8	0,0	-66,7	1	6	-	2	-6,8	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,11	152	152	152	F
24	0,8	11,3	0,0	-67,0	1	6	-	2	-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 (enero-2020)

Hora Local	Vel Viento	T	R _g	R _n	z ₀	z _m	u ₀	N	H ₀	Q*	LN (z _m /z ₀)	C _{DN}	u ₀ ²	C	u*	h _{mec}	h _{conv}	H _z	Estab
Hr	m/s	°C	W/m ²	W/m ²	m	m	m/s	Octas							m/s	m	m	m	
1	1,2	12,1	0,0	-73,2	1	6	-	1	-11,8	-	1,8	0,23	0,06	0,22	0,20	264	264	264	F
2	1,1	11,7	0,0	-73,4	1	6	-	1	-10,4	-	1,8	0,23	0,06	0,13	0,17	232	232	232	F
3	1,0	11,3	0,0	-73,7	1	6	-	1	-7,0	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,12	156	156	156	F
4	1,0	10,9	0,0	-67,3	1	6	-	2	-6,9	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,12	153	153	153	F
5	1,0	10,5	0,0	-67,5	1	6	-	2	-7,1	-	1,8	0,23	0,06	0,00	0,12	159	159	159	F
6	1,1	10,3	0,0	-67,6	1	6	-	2	-8,6	-	1,8	0,23	0,06	0,03	0,14	191	191	191	F
7	1,1	10,3	43,2	1,8	1	6	0,25	8	11,4	0,18	1,8	-	-	-	0,31	-	241	408	D
8	1,2	13,1	166,0	80,4	1	6	0,28	7	45,3	0,25	1,8	-	-	-	0,40	-	378	535	C
9	1,3	16,5	345,8	198,3	1	6	0,31	6	96,2	0,35	1,8	-	-	-	0,50	-	571	672	B
10	1,7	18,7	527,1	323,4	1	6	0,38	6	150,6	0,66	1,8	-	-	-	0,59	-	784	784	B
11	2,0	20,2	632,0	396,0	1	6	0,46	6	182,1	1,17	1,8	-	-	-	0,65	-	982	982	B
12	2,2	21,2	687,1	427,9	1	6	0,50	5	195,6	1,52	1,8	-	-	-	0,68	-	1159	1159	B
13	2,7	21,8	715,1	440,9	1	6	0,62	4	201,0	2,92	1,8	-	-	-	0,77	-	1316	1316	A
14	3,2	21,7	663,8	406,0	1	6	0,73	4	185,7	4,73	1,8	-	-	-	0,86	-	1446	1446	B
15	3,2	21,1	551,2	328,9	1	6	0,73	4	151,9	4,76	1,8	-	-	-	0,85	-	1544	1544	B
16	3,0	20,4	427,3	217,2	1	6	0,68	0	102,7	3,77	1,8	-	-	-	0,79	-	1607	1607	B
17	2,7	19,4	245,6	92,9	1	6	0,61	0	48,2	2,79	1,8	-	-	-	0,70	-	1635	1635	C
18	2,4	17,7	0,0	-75,4	1	6	-	0	-31,8	-	1,8	0,23	0,06	0,82	0,53	709	709	709	F
19	2,0	15,6	0,0	-77,3	1	6	-	0	-24,7	-	1,8	0,23	0,06	0,72	0,41	551	551	551	F
20	1,7	14,7	0,0	-78,0	1	6	-	0	-20,8	-	1,8	0,23	0,06	0,62	0,35	465	465	465	F
21	1,5	14,2	0,0	-78,4	1	6	-	0	-17,9	-	1,8	0,23	0,06	0,53	0,30	400	400	400	F
22	1,4	13,5	0,0	-78,9	1	6	-	0	-16,4	-	1,8	0,23	0,06	0,47	0,28	366	366	366	F
23	1,4	13,0	0,0	-72,6	1	6	-	1	-15,7	-	1,8	0,23	0,06	0,43	0,26	351	351	351	F
24	1,3	12,6	0,0	-72,8	1	6	-	1	-14,4	-	1,8	0,23	0,06	0,37	0,24	322	322	322	F

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

Como se dijo anteriormente durante los meses de enero es normal que los niveles de radiación solar se incrementen debido a la ausencia de cobertura de nubes, la cual refleja una gran parte de la radiación solar entrante. Con el incremento en los niveles de radiación solar, la producción de ozono a nivel superficial o troposférico se hace mayor dado que la luz ultravioleta acelera la producción de ozono. Como se ve reflejado en la Figura 20 los acumulados de radiación solar promedio horario durante el mes de enero y en la hora de mayor incidencia, fluctuaron entre los 841 W/m² al sur, hasta los 861 W/m² al norte de la ciudad. Asimismo, al sur occidente se registraron 706 W/m² los cuales se tradujeron en altas concentraciones de ozono. Por ejemplo, hacia el sector suroccidental las concentraciones de ozono en la hora de mayor incidencia de radiación solar alcanzaron los 74 µg/m³ en el sector de Kennedy y al norte 60,8 µg/m³ hacia Suba.

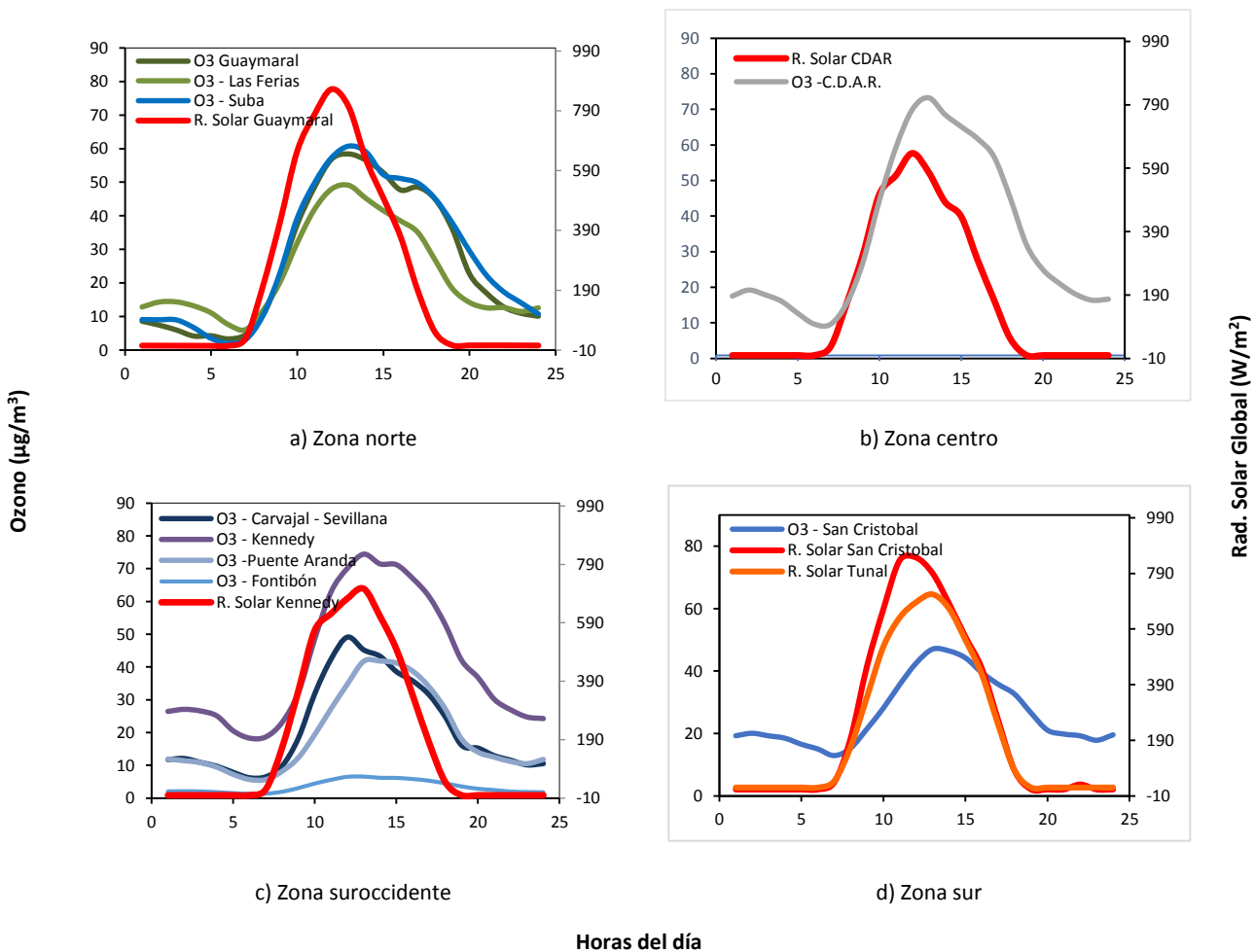


Figura 20. Comportamiento horario de O₃ (µg/m³) y su relación con la Radiación Solar entrante (W/m²), enero 2020. a) zona norte, b) zona centro, c) zona suroccidente y d) zona sur

10. REPORTE MENSUAL DE VALIDACIÓN SIMCAB PARA EL MES DE DICIEMBRE DE 2019.

El presente reporte contiene el reporte de validación del comportamiento del modelo meteorológico WRF y el modelo de predicción de calidad del aire del mes de diciembre de 2019 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 de WRF y los valores medidos por la RMCAB para la ciudad de Bogotá y sus distintas estaciones de

monitoreo durante el mes de diciembre, se hace uso de los diagramas de Taylor (ver Figura 21) y los Box Plot (Ver Figura 22). De la Figura 21 se observa que el grado de acierto del modelo con respecto al mes anterior no presenta cambios importantes; en términos generales continua mostrando semejanzas con los meses anteriores en las cinco variables objeto de validación, es decir: la velocidad del viento, la temperatura, la humedad y la presión. En la velocidad del viento, se observa una importante disminución del error cuadrático medio (RMSE) con respecto al mes anterior quedando por debajo de 2,0 m/s; aunque el coeficiente de correlación se mantiene bajo, la dispersión (BIAS) para este mes se acercó más al valor esperado.

La presión fue 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 arrojaron resultados con menor grado de acierto que el mes anterior, con una ligera disminución en el coeficiente de correlación y un incremento en el RMSE y la BIAS en la temperatura y una disminución considerable en el coeficiente de correlación de la humedad. En cuanto a la radiación solar su grado de acierto fue muy semejante al mes anterior, de modo que el coeficiente de correlación presentó una incipiente reducción, en poco menos de 0,8 y un exiguo incremento en el RMSE, respecto del mes anterior.

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 Suba; CDAR, San Cristóbal, Usaquén, Tunal y Móvil 7ma, cuyos coeficientes de correlación ligeramente varían entre el valor 0,1 a 4,5.

En cuanto a la humedad relativa, la BIAS y el RMSE en la estación de Guaymaral seguida por Móvil 7ma y Las Ferias, fueron menores que las demás estaciones, con una BIAS de diferencia y RMSE entre 10% a 12% de humedad aproximadamente, respecto del valor observado; en el resto de las estaciones el RMSE estuvo ligeramente por encima del 12% de humedad. A nivel ciudad el comportamiento es idéntico al estimado por cada estación, con un coeficiente de correlación ligeramente menor que en las estaciones con mejor ajuste.

En cuanto al ciclo diurno de la temperatura a nivel ciudad, las diferencias presentadas entre lo modelado y la observado son de poca significancia. En el mes de diciembre continúa subestimándose la temperatura especialmente entre las 7 am y las 11 am. 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 tiende a sobreestimar los valores registrados en la RMCAB, entre las 11 am y las 6 pm, con una sobrestimación mayor entre las 12 m y las 4 pm, con valores por encima de los 4 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 diciembre sobre estimó los días con lluvia. 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); pero, aproximadamente, entre el 50% y 70% de los casos, se generaron falsas alarmas – FAR

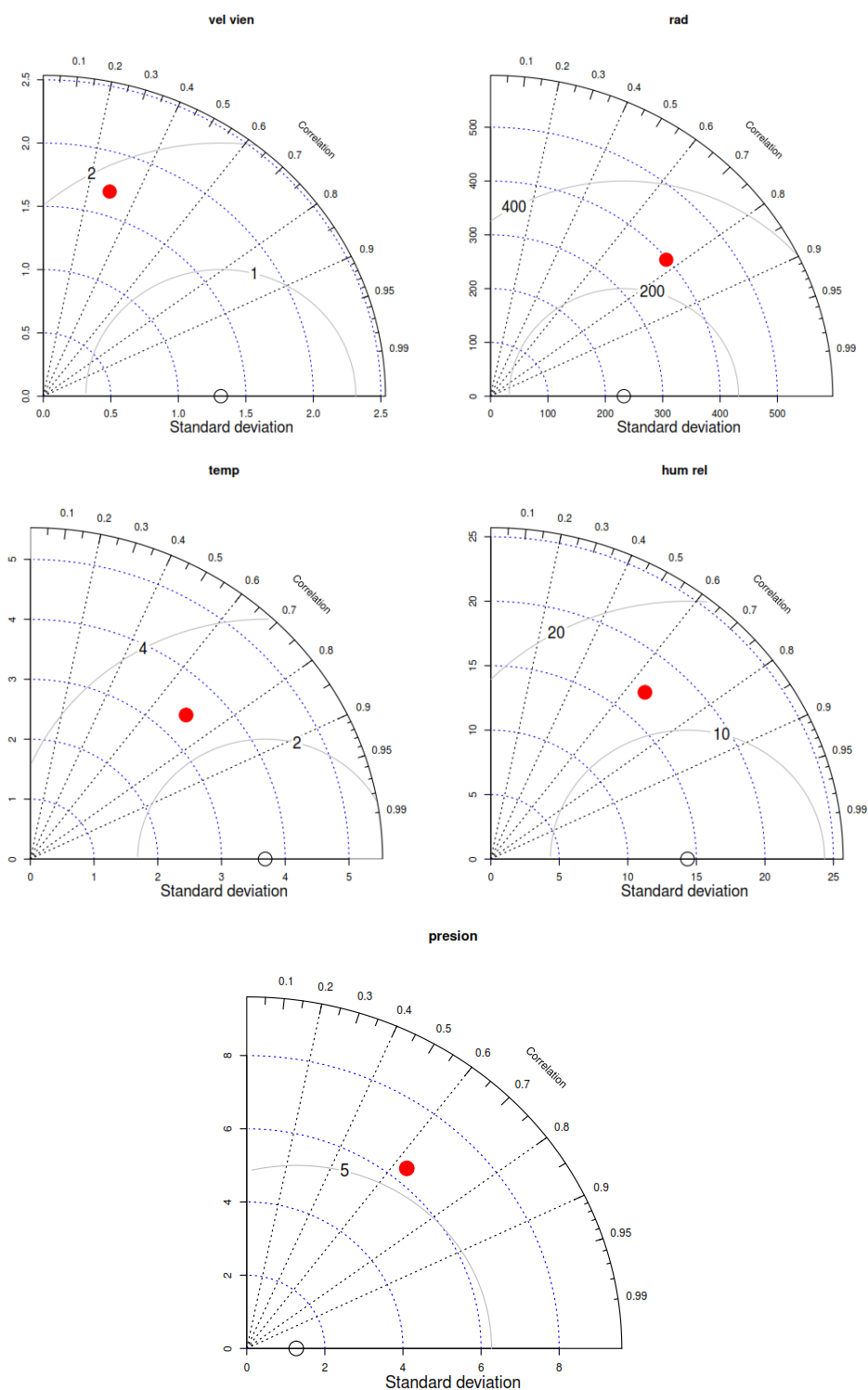


Figura 21. Diagramas de Taylor parámetros meteorológicos. Diciembre 2019

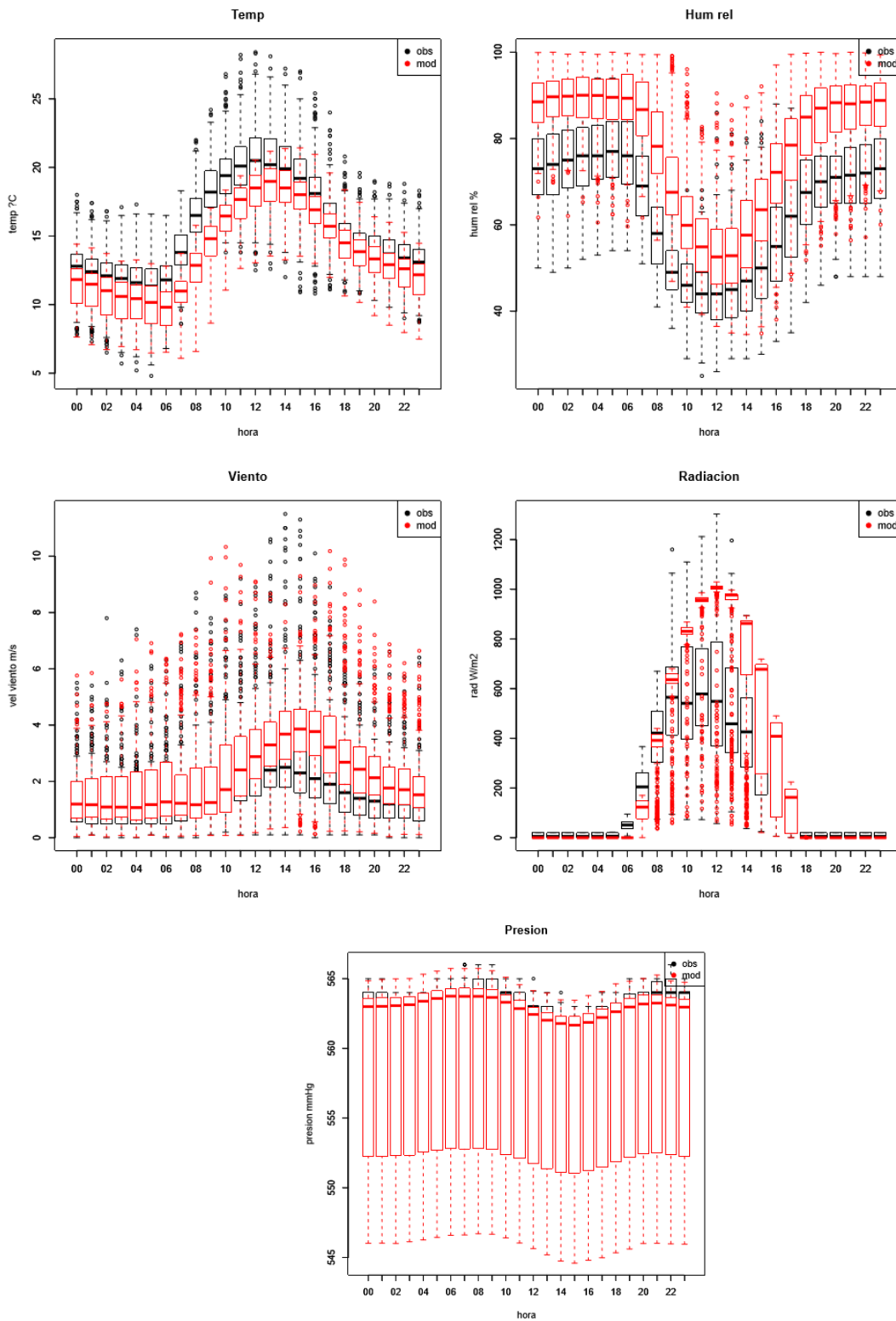


Figura 22. Box Plot parámetros meteorológicos – Diciembre 2019

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

ESTACIÓN	THREAT SCORE	POD	FAR	PERCENT CORRECT	BIAS
Carvajal	0.3	0.89	0.69	0.39	2.89
CDAR	0.54	0.94	0.44	0.58	1.69
Guaymaral	0.46	0.93	0.52	0.52	1.93
Kennedy	0.4	0.92	0.59	0.42	2.23
Las Ferias	0.39	1	0.61	0.45	2.55
MinAmbiente	0.41	0.85	0.56	0.48	1.92
Móvil 7ma	0.31	0.9	0.68	0.35	2.8
Puente Aranda	0.33	0.9	0.65	0.42	2.6
San Cristóbal	0.33	0.8	0.64	0.48	2.2
Suba	0.32	1	0.68	0.39	3.11
Tunal	0.32	0.75	0.64	0.39	2.08
Usaquén	0.3	0.8	0.68	0.39	2.5

10.2. MODELO DE PRONÓSTICO DE CALIDAD DEL AIRE

A partir de los datos medidos en las estaciones de la RMCAB en la ciudad, se realizó una validación del modelo de pronóstico para los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂ y CO en el mes de diciembre de 2019. Para el material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), 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 PM₁₀, el modelo tiene una correlación de Pearson cercana a 0.55, adicionalmente, el modelo presenta un RMSE cercano a 16 µg/m³; Por otro lado, para PM_{2.5} el modelo tiene una correlación con respecto a los datos observados de 0.55, con un RMSE de 8 µg/m³.

Dado que el material particulado es el contaminante más crítico en la ciudad, se muestra en la *Tabla 14* los valores de sesgos (bias, definido como concentración modelada menos concentración observada), que muestra el comportamiento promedio de los sesgos del modelo para el mes de diciembre por estación. De esta tabla se puede concluir que, para este mes, el modelo tendió a subestimar las concentraciones de material particulado hasta 8 µg/m³ en promedio para PM₁₀ y hasta 3 µg/m³ en promedio para PM_{2.5}.

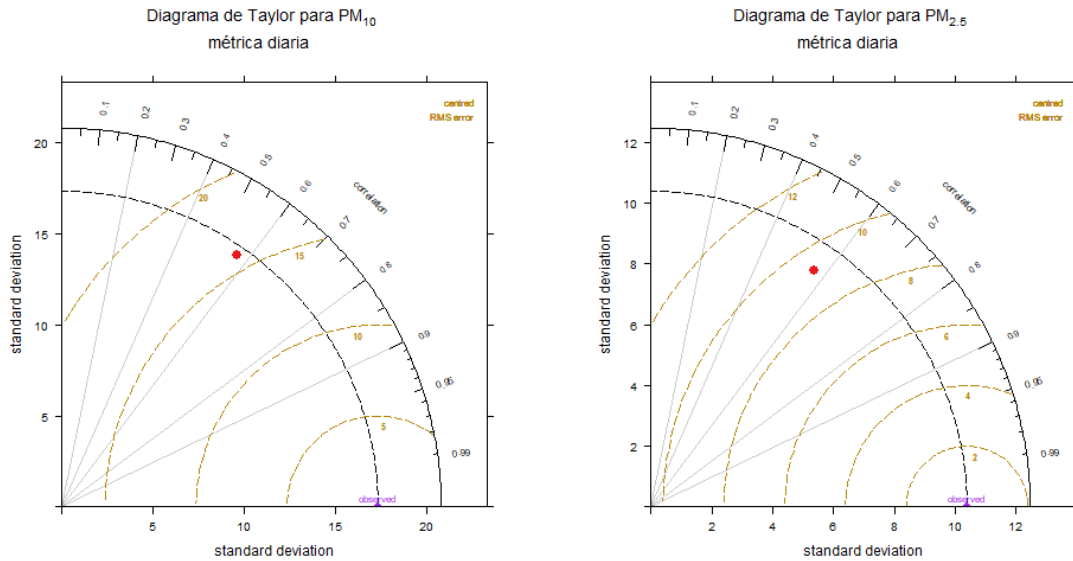


Figura 23. Diagramas de Taylor para material particulado, en métrica diaria. Diciembre 2019

En cuanto a los gases, el CO es el que mejor se representa en métrica horaria por el modelo con un RMSE menor a $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y una correlación de Pearson cercana a 0.6; mientras que los demás gases muestran correlaciones cercanas a 0.4.

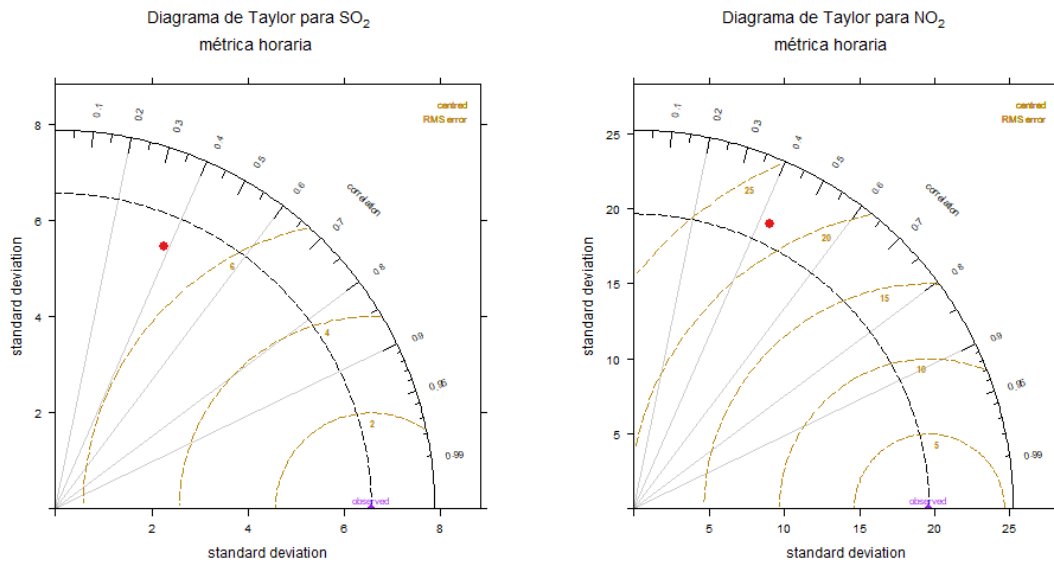


Diagrama de Taylor para CO
métrica horaria

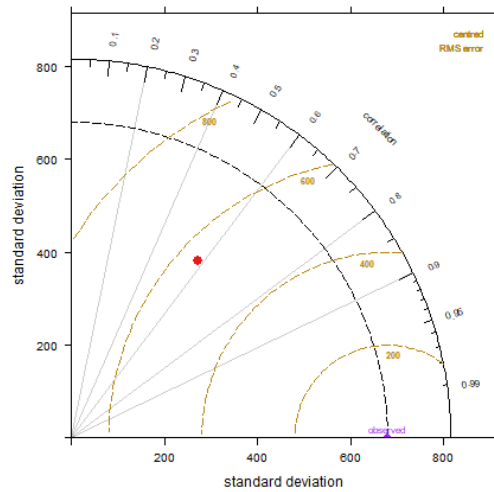


Figura 24. Diagramas de Taylor para SO_2 , NO_2 y CO , en métrica horaria. Diciembre 2019

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

Estación	Sesgo diario PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Sesgo diario $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)
Carvajal-Sevillana	1 ± 18	-2 ± 11
CDAR	-1 ± 13	-3 ± 9
Fontibón	-2 ± 15	-2 ± 8
Guaymaral	1 ± 10	4 ± 12
Kennedy	2 ± 16	-1 ± 10
Las Ferias	0 ± 13	-1 ± 9
MinAmbiente	-8 ± 15	-2 ± 9
Móvil 7ma	1 ± 21	1 ± 12
Puente Aranda	-4 ± 19	-3 ± 7
San Cristóbal	-1 ± 12	0 ± 6
Suba	9 ± 13	1 ± 6
Tunal	1 ± 17	-2 ± 10
Usaquén	N.A.	1 ± 7

11. REPORTE MENSUAL DE VALIDACIÓN SIMCAB PARA EL MES DE ENERO DE 2020.

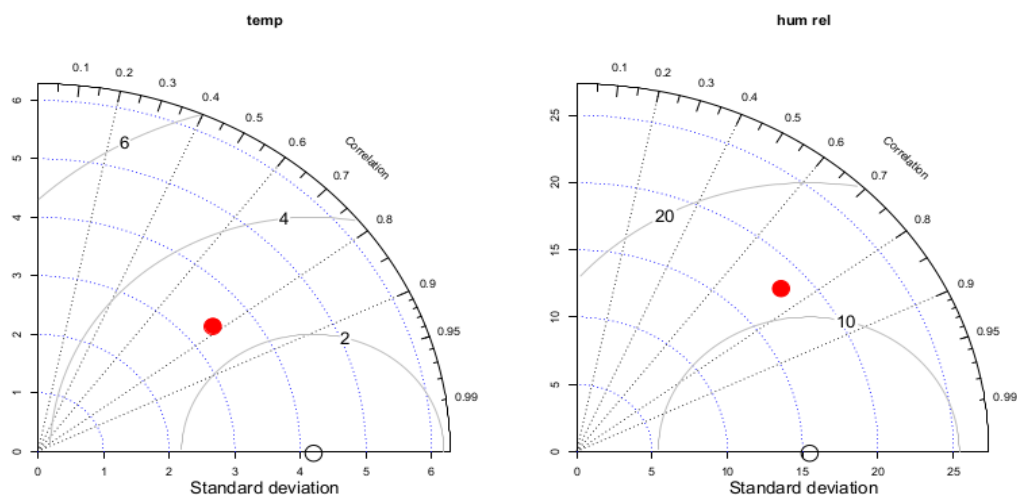
El presente reporte contiene el reporte de validación del comportamiento del modelo meteorológico WRF y el modelo de predicción de calidad del aire del mes de enero de 2020 con respecto de los datos medidos por parte de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá – RMCAB, para el mismo periodo.

11.1. MODELO METEOROLÓGICO WRF

Para explicar el grado de acierto entre las variables meteorológicas continuas modeladas a través de WRF y los valores medidos por la RMCAB para la ciudad de Bogotá y sus distintas estaciones de monitoreo durante el mes de enero, se hace uso de los diagramas de Taylor (ver Figura 21) y los Box Plot (Ver Figura 22). De la Figura 21 se observa que el grado de acierto del modelo con respecto al mes anterior no presenta cambios de resaltar con respecto a nivel ciudad. En la velocidad del viento, se observa un aumento del error cuadrático medio (RMSE) con respecto al mes anterior volviendo a presentar valores medios por encima de 2,0 m/s; esta variable sigue siendo la que presenta la correlación más baja. La presión fue idéntica al mes anterior con un RMSE ligeramente mayor a 5 mmHg, lo cual es bajo teniendo en cuenta el orden de magnitud de la variable. La temperatura y la humedad relativa modelada son las que presentan una mejor evaluación con respecto a los datos observados.

Evaluando el grado de acierto de los elementos meteorológicos por estación, se observa que en general las estaciones Min ambiente, Móvil 7ma, San Cristobal, Tunal y Usaquen son las que presentan menor correlación en la velocidad del viento, ya que las demás estaciones presentan correlaciones por encima de 0.6. En términos de temperatura y humedad relativa el comportamiento es muy homogéneo entre estaciones.

En cuanto al ciclo diurno de la temperatura a nivel ciudad, se observa que el modelo tiende a subestimar la temperatura, especialmente en horas de la tarde, mientras que la humedad relativa se sobreestima, principalmente en horas de la noche y madrugada. El viento también tiende a sobrestimarse, con la peculiaridad de que en horas de la mañana se presentan muchos más outliers modelados que en el resto del día. La radiación y la presión presentan un comportamiento muy similar al observado durante el día.



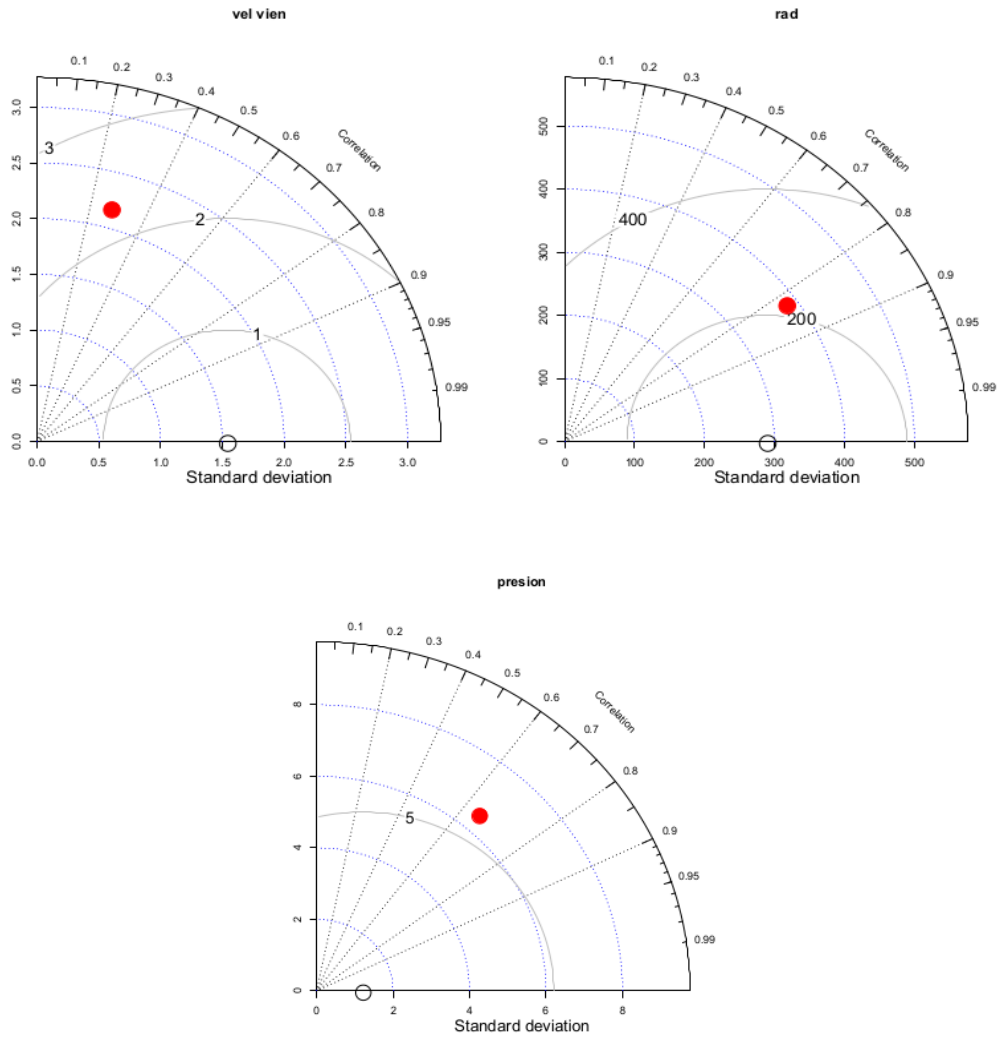


Figura 25. Diagramas de Taylor parámetros meteorológicos. Enero 2020

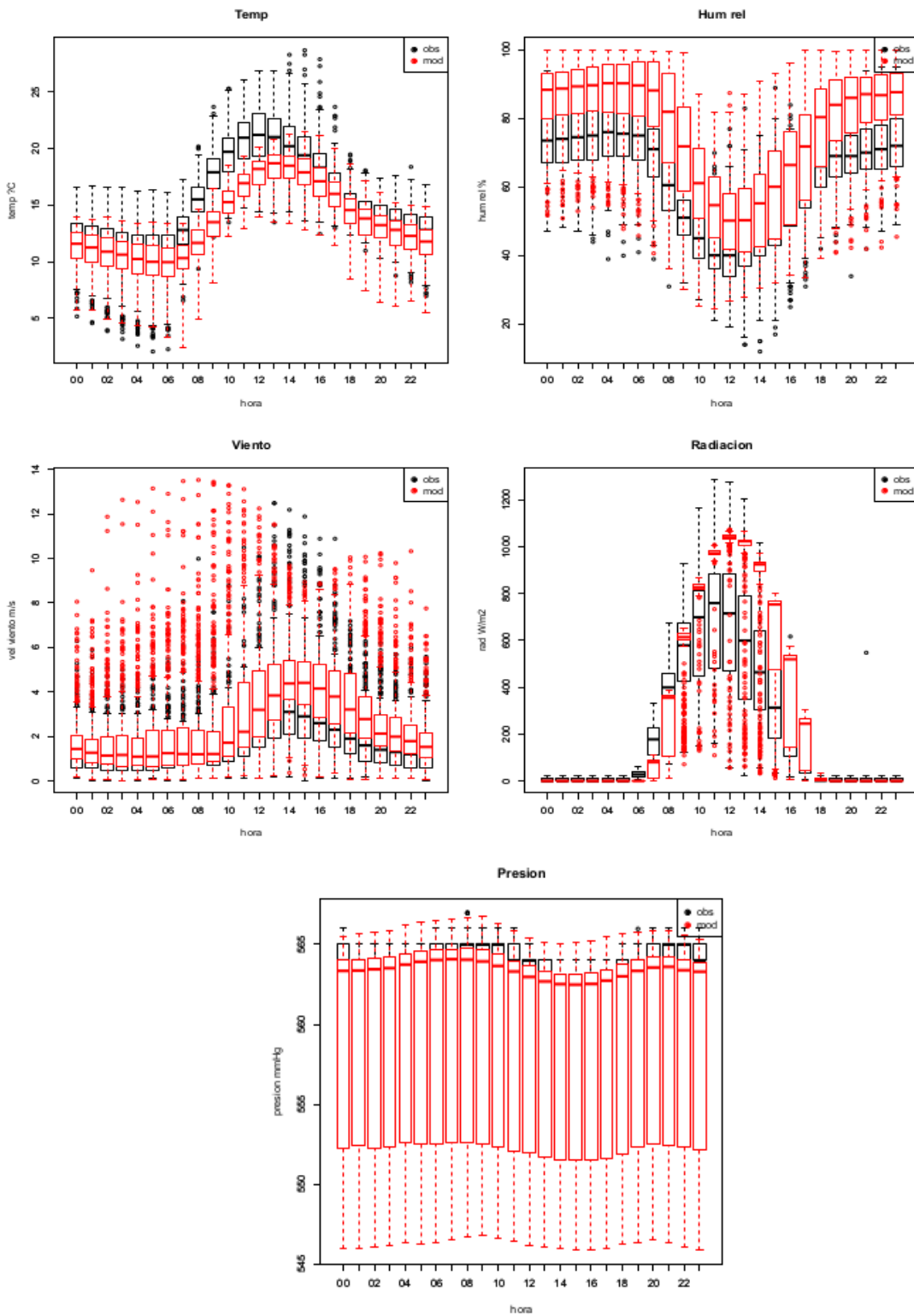


Figura 26. Box Plot parámetros meteorológicos – Enero 2020

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 enero sobre estimó los días con lluvia, más que en meses previos. Sin embargo, la POD estuvo cercana a 1, lo que indica que los días en que se observó lluvia el modelo lo predijo. Las simulaciones para lluvias con menor desempeño fueron para las estaciones móvil 7ma, Las Ferias y Suba.

Tabla 15. Datos estadísticos de precipitación por estación – Enero 2020

ESTACIÓN	THREAT SCORE	POD	FAR	PERCENT CORRECT	BIAS
CDAR	0.43	1	0.57	0.61	2.33
Guaymaral	0.48	0.85	0.48	0.61	1.62
Kennedy	0.25	0.83	0.74	0.52	3.17
Las Ferias	0.33	1	0.67	0.55	3
MinAmbiente	0.42	0.89	0.56	0.64	2
Móvil 7ma	0.27	1	0.73	0.48	3.67
Puente Aranda	0.32	0.86	0.67	0.58	2.57
San Cristóbal	0.29	0.6	0.65	0.52	1.7
Suba	0.29	0.86	0.7	0.52	2.86
Tunal	0.24	0.8	0.75	0.58	3.2
Usaquén	0.27	0.86	0.71	0.48	3

11.2. 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 en la ciudad, se realizó una validación del modelo de pronóstico para los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂ y CO en el mes de enero de 2020. Para el material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), 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 PM₁₀, el modelo tiene una correlación de Pearson cercana a 0.6, adicionalmente, el modelo presenta un RMSE cercano a 13 µg/m³; Por otro lado, para PM_{2.5} el modelo tiene una correlación con respecto a los datos observados de 0.6, con un RMSE de 7 µg/m³.

Dado que el material particulado es el contaminante más crítico en la ciudad, se muestran en la Tabla 14 los valores de sesgos (bias, definido como concentración modelada menos concentración observada), que muestra el comportamiento promedio de los sesgos del modelo para el mes de diciembre por estación. De esta tabla se puede concluir que, para este mes, el modelo tendió a subestimar las concentraciones de material particulado hasta 8 µg/m³ en promedio para PM₁₀ y hasta 3 µg/m³ en promedio para PM_{2.5}.

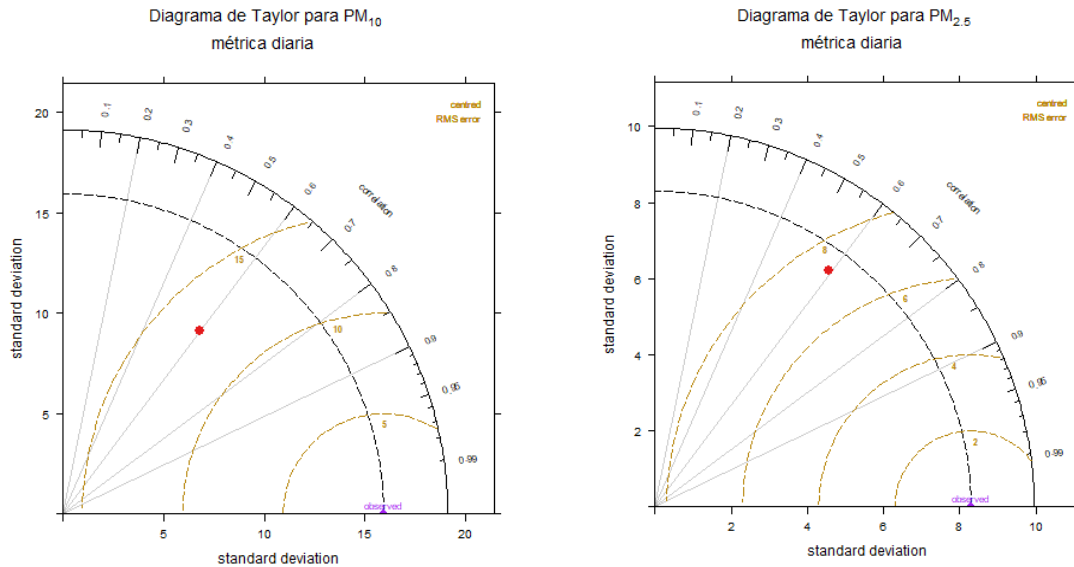


Figura 27. Diagramas de Taylor para material particulado, en métrica diaria. Enero 2020

En cuanto a los gases, el CO es el que mejor se representa en métrica horaria por el modelo con un RMSE menor a $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y una correlación de Pearson cercana a 0.42; mientras que los demás gases muestran correlaciones entre 0.2 y 0.4.

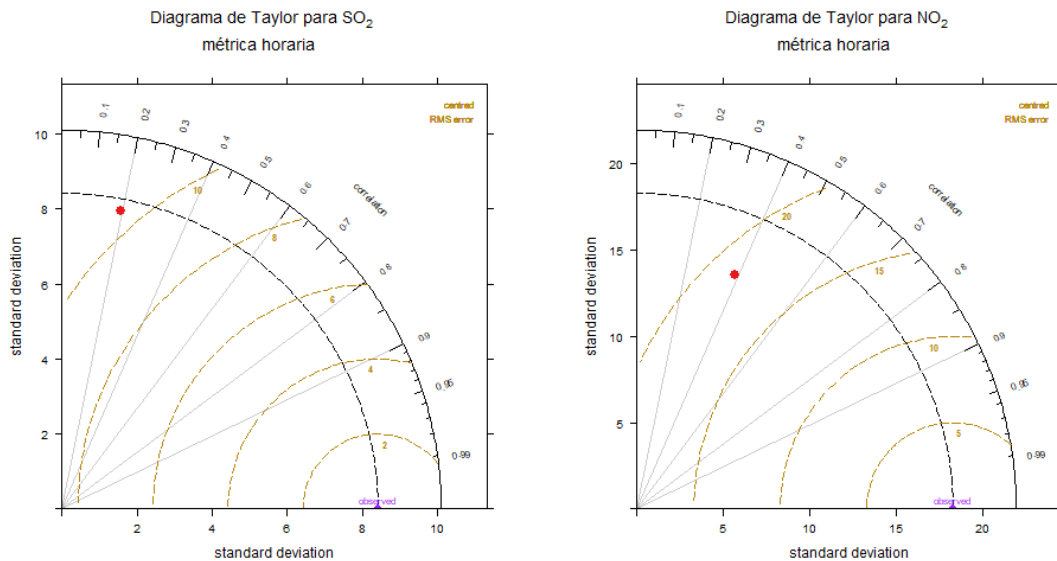


Diagrama de Taylor para CO
métrica horaria

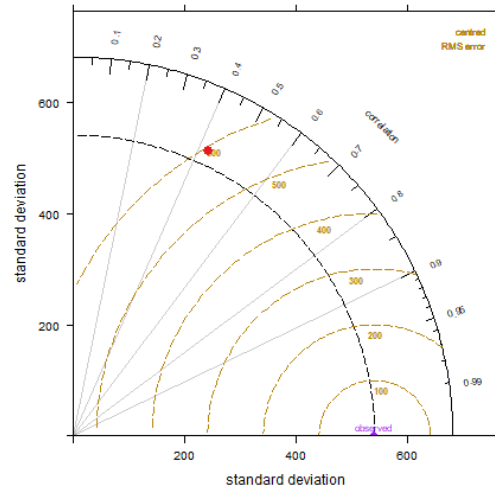


Figura 28. Diagramas de Taylor para SO_2 , NO_2 y CO , en métrica horaria. Enero 2020

Tabla 16. Sesgos en los promedios diarios de material particulado determinados para Enero 2020 por el modelo (IC 95%).

Estación	Sesgo diario PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Sesgo diario $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)
Carvajal-Sevillana	24 ± 11	7 ± 10
CDAR	14 ± 9	5 ± 7
Fontibón	9 ± 10	0 ± 6
Guaymaral	4 ± 7	1 ± 6
Kennedy	10 ± 13	2 ± 7
Las Ferias	13 ± 10	-1 ± 7
MinAmbiente	10 ± 11	4 ± 7
Móvil 7ma	7 ± 13	2 ± 9
Puente Aranda	5 ± 11	3 ± 6
San Cristóbal	1 ± 10	2 ± 6
Suba	-4 ± 11	2 ± 6
Tunal	-1 ± 11	2 ± 8
Usaquén	19 ± 8	2 ± 7



ANEXOS

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

Tabla 17. 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 ₁₀	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PM _{2.5}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	O ₃	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	NO ₂	X	X	X	X	X	X		X	X		X			
	CO	X	X	X		X	X		X	X			X	X	
	SO ₂	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 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 a 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 junio de 2018¹. 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 CFR². (Tabla 18)

Tabla 18. 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	
SO ₂	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100	A-1
		EQSA-0486-060	

¹ 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

² 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

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 Enero de 2020, 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 ₁₀ y PM _{2.5}
PA10-PR07 (v. 5.0)	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación de los analizadores de los gases NO _x , SO ₂ , CO y O ₃

NOTA 2

En la segunda versión de este documento se modifica el contenido del capítulo correspondiente al análisis del Sistema Integrado de Modelación de Calidad del Aire de Bogotá. También se realiza actualización en los procedimientos internos y en los métodos de referencia de los equipos de la RMCAB.

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 Ortiz 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:

Julio César Pulido Puerto - SUBDIRECTOR (E) DE CALIDAD DEL AIRE, AUDITIVA Y VISUAL

FIN DEL INFORME