



Mayo

Informe mensual de
Calidad del Aire en Bogotá
Año 2017

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Enrique Peñalosa Londoño
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Francisco José Cruz Prada
Secretario Distrital de Ambiente

Carlos Arturo Puerta Cárdenas
Subsecretario Distrital de Ambiente

Oscar Ferney López Espitia
Director de Control Ambiental

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

Edgar Alberto Rojas
Coordinador General RMCAB-SATAB-SIMCAB

Diana Alexandra Ramirez Cardona
Coordinador (a) Técnica RMCAB

Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez
Eaking Ballesteros Urrutia
Jhonathan Ramírez Gamboa
Yessica Natalia Ramírez Yara
Grupo de Validación y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Marco Antonio Sánchez
Grupo de Operación de la RMCAB

Edison Yesid Ortiz Duarte
Líder del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá - SIMCAB

1 COMPORTAMIENTO TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE PM₁₀

La Tabla 1 presenta los datos obtenidos para material particulado PM₁₀ en el mes de mayo 2017 y el porcentaje de datos válidos.

Tabla 1. Resumen de datos de PM₁₀ para mayo de 2017

Estación	Promedio PM ₁₀ (µg/m ³)	Máximo PM ₁₀ (µg/m ³)	Fecha máximo PM ₁₀	Excedencias 24h	Datos válidos (%)
Guaymaral	22	36	19/05/2017	0	94%
Usaquén	38	62	12/05/2017	0	100%
Suba*	52	66	19/05/2017	0	55%
Las Ferias	33	56	17/05/2017	0	94%
C.D.A.R.	30	57	17/05/2017	0	87%
MinAmbiente	29	53	11/05/2017	0	100%
Puente Aranda	43	80	17/05/2017	0	100%
Kennedy	49	76	17/05/2017	0	97%
Carvajal - Sevillana	66	101	17/05/2017	1	84%
Tunal	43	84	11/05/2017	0	100%
San Cristóbal*	24	39	12/05/2017	0	74%

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

La Figura 1 presenta los promedios y máximos por estación de monitoreo con captura de datos superior a 75%. Se observa que las mayores concentraciones como promedio mensual se presentaron en el suroccidente de la ciudad en la estación de Carvajal - Sevillana (**66 µg/m³**) y Kennedy (**49 µg/m³**). Las menores concentraciones se presentaron en la zona norte para la estación Guaymaral (**22 µg/m³**) y en la zona centro en la estación MinAmbiente (**29 µg/m³**). La concentración máxima diaria para el mes fue de **101 µg/m³** en la estación Carvajal - Sevillana, seguida de **84 µg/m³** en Tunal y **80 µg/m³** en Puente Aranda. El valor máximo diario en la estación Carvajal - Sevillana sobrepasó la norma diaria (100 µg/m³), y para esta misma estación se presentó una excedencia en Mayo de 2017. Para las demás estaciones, los valores máximos no superan la norma diaria establecida. Los valores máximos se presentaron en su mayoría el día 17 de Mayo, en las estaciones Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Kennedy, y Carvajal-Sevillana.

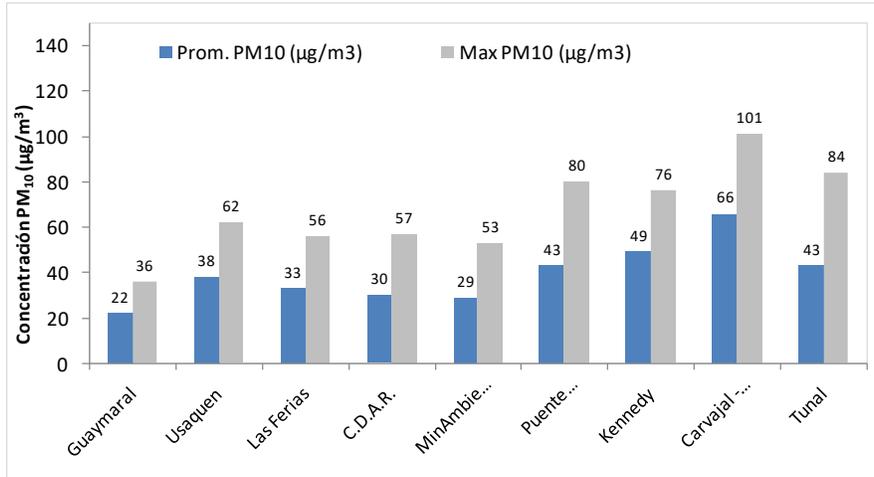


Figura 1. Promedios de las concentraciones diarias y valores máximos de PM₁₀ - mayo 2017

La Figura 2 muestra el comportamiento de la captura de datos durante el mes y las concentraciones diarias comparadas con respecto a la norma nacional diaria. En la gráfica se agrupan los datos por zonas de acuerdo a la ubicación de las estaciones (Norte, Centro, Suroccidente y Sur). De acuerdo a la ubicación, se observa que las concentraciones más altas de PM₁₀ se presentaron en la zona suroccidente (Puente Aranda, Carvajal-Sevillana y Kennedy), especialmente en la segunda y tercera semanas del mes; las concentraciones más bajas se observan en la zona sur (San Cristóbal) y zona centro (MinAmbiente), en la cuarta semana del mes.

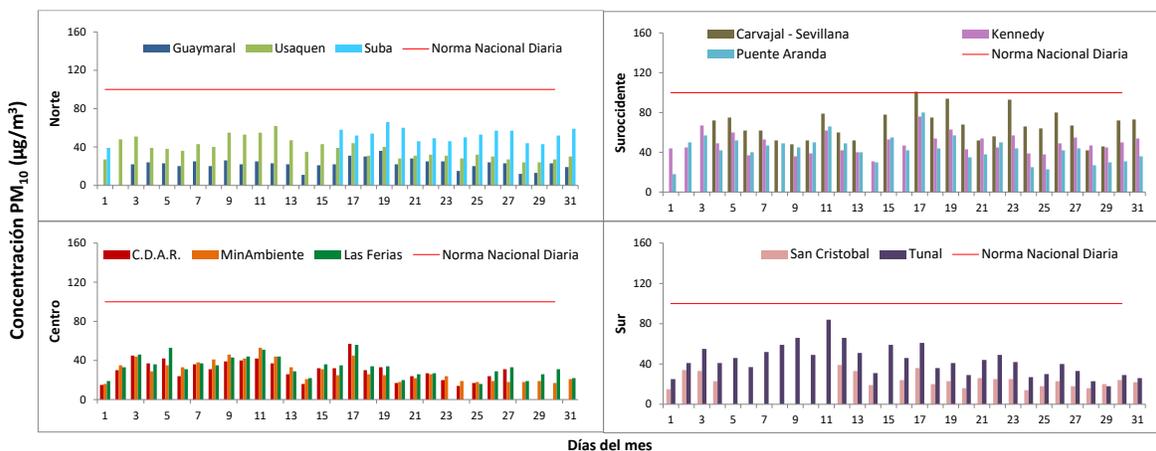


Figura 2. Comportamiento diario de datos PM₁₀ para mayo de 2017

En la Figura 3 se evidencia el comportamiento temporal de las concentraciones de PM₁₀ para el mes de mayo a través de los últimos 3 años. Teniendo en cuenta las estaciones que tienen datos representativos para el año 2017, se observa que las estaciones Puente Aranda, Carvajal-Sevillana y Kennedy presentaron disminución en las concentraciones frente a los valores del mismo mes de 2016; mientras que en Usaquén, Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias MinAmbiente y Tunal hubo un aumento en la concentración en relación al año anterior.

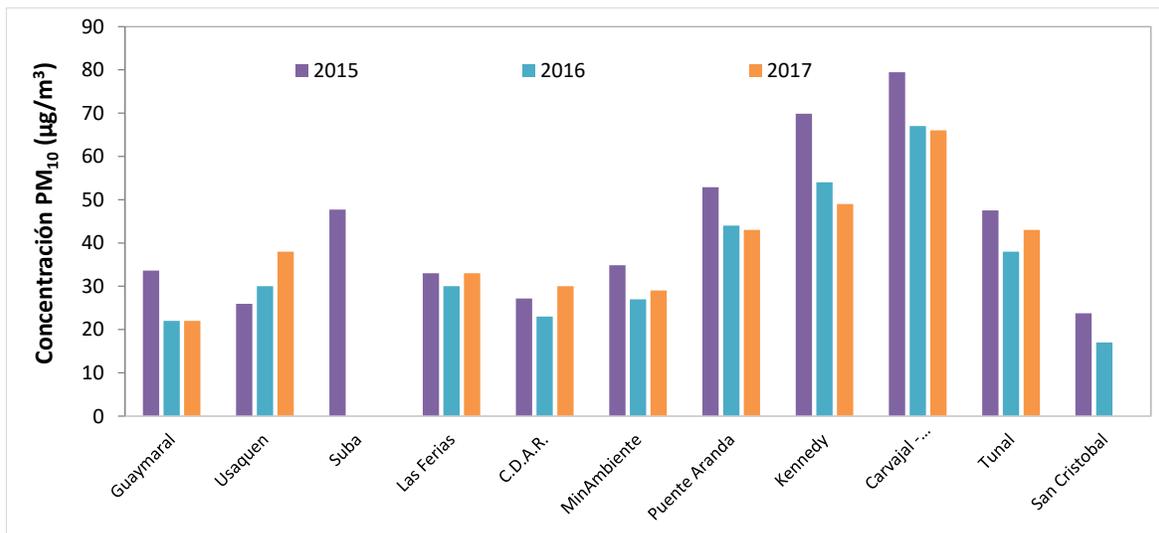


Figura 3. Comportamiento interanual PM₁₀ (2015-2016-2017) para los meses de mayo

En la Figura 4 se representan los promedios mensuales de concentración de PM₁₀ registrados por las 11 estaciones que monitorearon este contaminante en el mes de mayo, mediante el uso de la interpolación Kriging para evidenciar mediante una escala de colores las concentraciones que se presentaron en diferentes zonas de la ciudad, y mediante un campo vectorial la velocidad y dirección del viento. De acuerdo a esta representación, se observa que en el suroccidente de la ciudad se presentan los mayores niveles de contaminación por PM₁₀, con concentraciones entre 56 y 68 µg/m³, en las localidades de Bosa, Kennedy, parte de Tunjuelito y Ciudad Bolívar, mientras que las concentraciones más bajas se registran al oriente de la ciudad, en las localidades de San Cristóbal, Candelaria, Santa Fe, y al norte, en la localidad de Usaquén, registrando concentraciones entre 24 y 33 µg/m³. En la zona suroccidente además se registran las mayores velocidades del viento, y la dirección del viento predomina en sentido norte - sur, lo cual contribuye a la dispersión de la contaminación, especialmente en horas de la tarde.

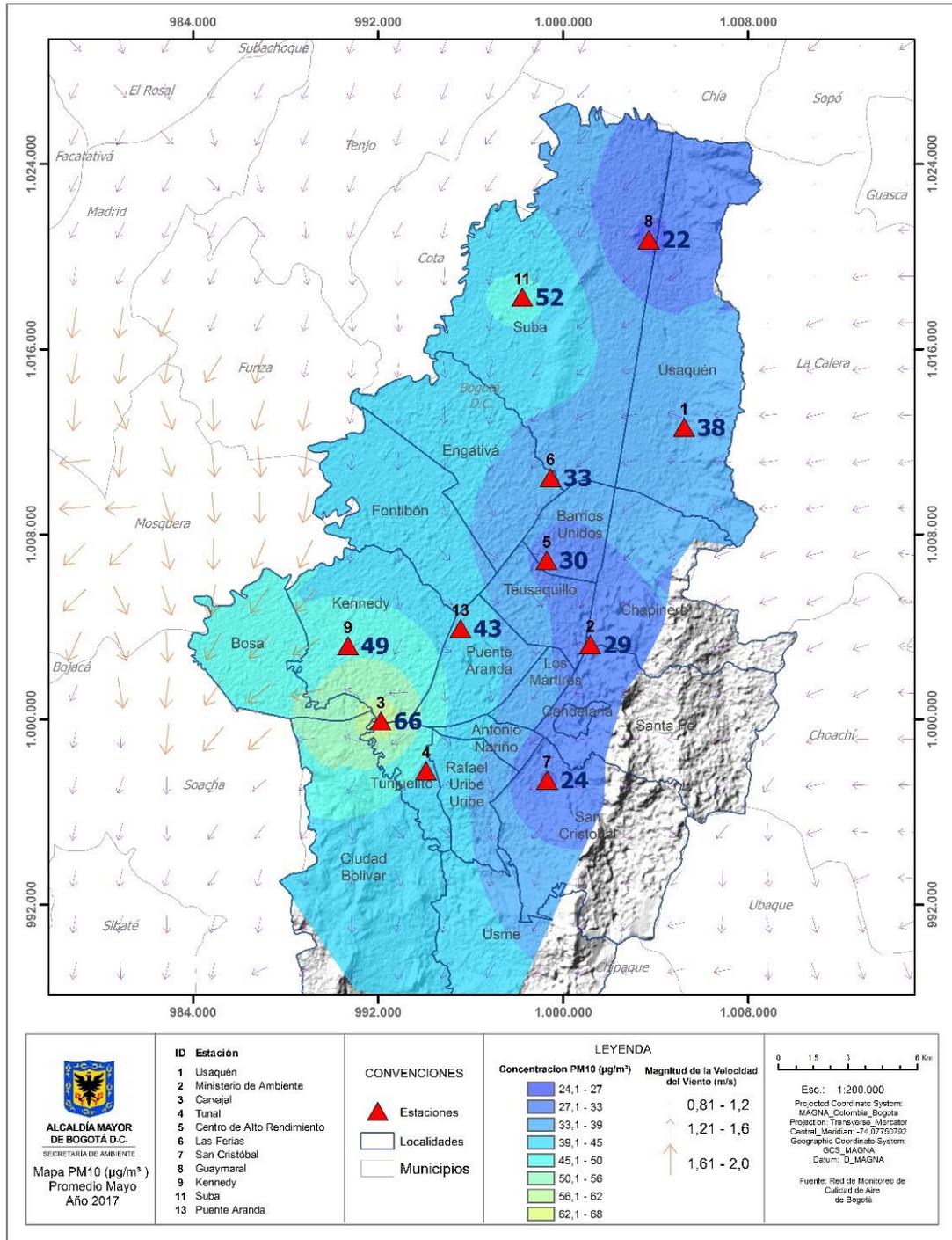


Figura 4. Distribución espacial de los promedios mensuales de concentración de PM₁₀ con base en el método de interpolación de Kriging

1.1 INDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE (IBOCA) – PM₁₀

El Índice Bogotano de Calidad de Aire, IBOCA, adoptado mediante la Resolución 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.

Basados en las concentraciones de PM₁₀, la Figura 5 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de 24 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con representatividad de datos superior al 75%. Se observa que predominan las categorías “favorable” y “moderada” para todas las estaciones. La estación Carvajal-Sevillana presenta la condición de calidad del aire “moderada” en mayor proporción, con 76% del tiempo, mientras que las estaciones San Cristóbal y Guaymaral presentan las mejores condiciones ambientales con una condición de “Favorable” el 100% del tiempo, como se observa en la Tabla 2.

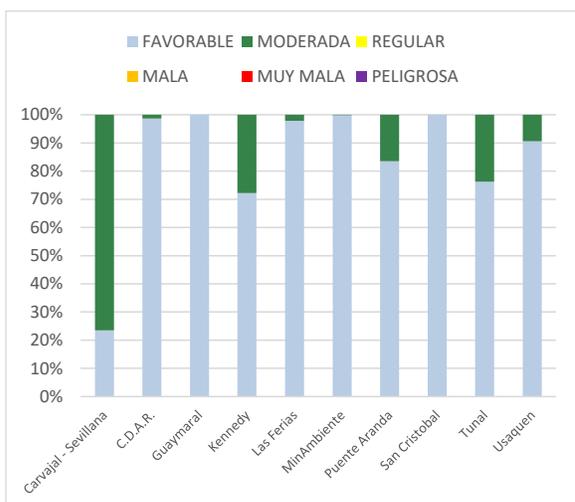


Figura 5. IBOCA para PM₁₀ por estación en mayo 2017

Tabla 2. Porcentaje del tiempo por categoría de IBOCA para PM₁₀

IBOCA PM ₁₀		
ESTACIÓN	FAVORABLE	MODERADA
Carvajal - Sevillana	24%	76%
C.D.A.R.	99%	1%
Guaymaral	100%	0%
Kennedy	72%	28%
Las Ferias	98%	2%
MinAmbiente	100%	0%
Puente Aranda	83%	17%
San Cristobal	100%	0%
Tunal	76%	24%
Usaquen	91%	9%

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

La Tabla 3 muestra los datos obtenidos para material particulado PM_{2.5} en el mes de mayo de 2017. Se obtuvieron datos con un porcentaje de captura superior a 75% para diez (10) de las once (11) estaciones que monitorearon este contaminante. La estación con menor cantidad de datos capturados fue Centro de Alto Rendimiento con un 0% del total posible.

Tabla 3. Resumen de datos de PM_{2.5} para mayo de 2017

Estación	Promedio PM _{2.5} (µg/m ³)	Máximo PM _{2.5} (µg/m ³)	Fecha máximo PM _{2.5}	Excedencias 24h	Datos válidos (%)
Guaymaral	11	14	12/05/2017	0	90%
Usaquén	13	26	12/05/2017	0	97%

Estación	Promedio PM _{2.5} (µg/m ³)	Máximo PM _{2.5} (µg/m ³)	Fecha máximo PM _{2.5}	Excedencias 24h	Datos válidos (%)
Suba	17	21	22/05/2017	0	100%
Las Ferias	15	25	10/05/2017	0	90%
C.D.A.R.	N.A.	0	N.A.	0	0%
MinAmbiente	17	33	11/05/2017	0	87%
Puente Aranda	18	29	17/05/2017	0	97%
Kennedy	25	40	03/05/2017	0	97%
Carvajal - Sevillana	27	41	15/05/2017	0	90%
Tunal	22	41	11/05/2017	0	100%
San Cristóbal	10	21	12/05/2017	0	97%

La Figura 6 presenta los promedios y máximos por estación de monitoreo de PM_{2.5} con captura de datos superior a 75%. Se observa que las mayores concentraciones como promedio mensual se presentaron en el suroccidente de la ciudad en la estación de Carvajal - Sevillana (**27 µg/m³**) y Kennedy (**25 µg/m³**); las menores concentraciones se presentaron en la zona sur en la estación de San Cristóbal (**10 µg/m³**) y en el norte de la ciudad en Guaymaral (**11 µg/m³**). La concentración máxima diaria para el mes fue de **41 µg/m³** en las estaciones Tunal y Carvajal - Sevillana. Los valores máximos se presentaron en su mayoría el día 12 de Mayo en las estaciones Guaymaral, Usaquén y San Cristóbal.

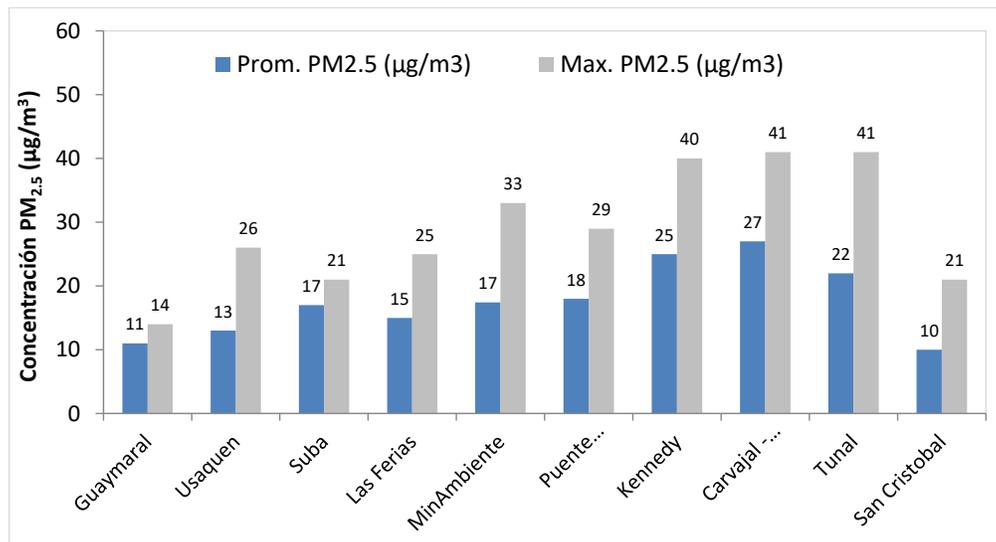


Figura 6. Promedios de las concentraciones diarias y valores máximos de PM_{2.5} - mayo 2017

La Figura 7 muestra el comportamiento de la captura de datos durante el mes y las concentraciones diarias comparadas con respecto a la norma nacional diaria. En la gráfica se agrupan los datos por zonas de acuerdo a la ubicación de las estaciones (Norte, Centro, Suroccidente y Sur). 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 Sur (Tunal), especialmente en la segunda y tercera semanas del mes; las concentraciones más bajas se observan en la zona sur (San Cristóbal) y zona centro (MinAmbiente), en la primera

semana del mes. En ninguna estación se presentaron valores sobre la norma diaria de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

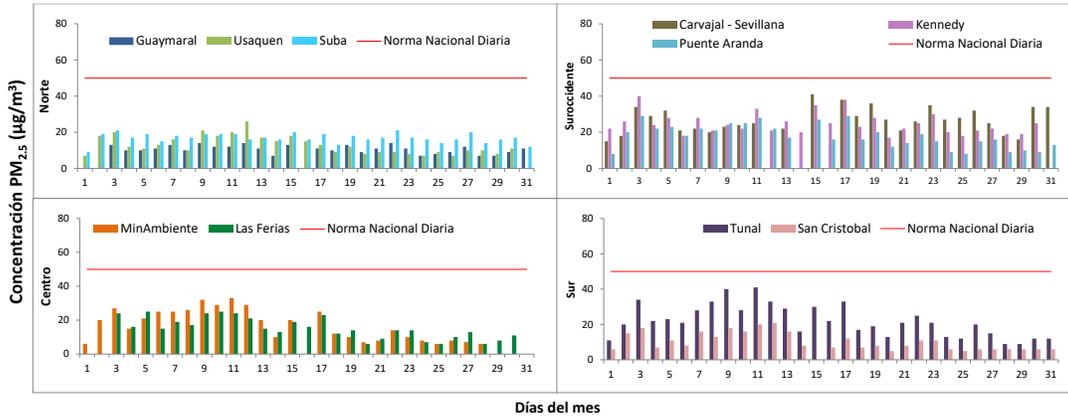


Figura 7. Comportamiento captura de datos $\text{PM}_{2.5}$ para mayo de 2017

La Figura 8 muestra el comportamiento temporal de las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ para el mes de mayo a través de los últimos 3 años. Según las estaciones que tienen datos representativos para el año 2017, se observa que en las estaciones Guaymaral, Suba, MinAmbiente, Carvajal-Sevillana Tunal y San Cristóbal hubo un aumento de las concentraciones con respecto a los valores del mismo mes de 2016, y en Usaquén se observa un aumento según el valor reportado en 2015. La estación de Puente Aranda no posee registros históricos de 2015 y 2016, debido a que el monitor de $\text{PM}_{2.5}$ se instaló en Octubre de 2016.

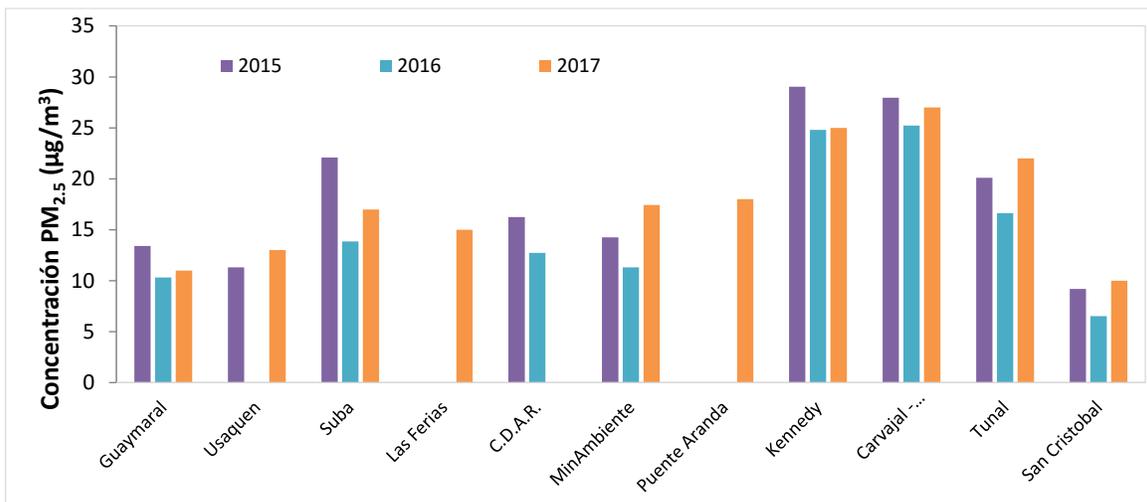


Figura 8. Comportamiento interanual $\text{PM}_{2.5}$ (2015-2016-2017) para los meses de mayo

En la Figura 9 se representan los promedios mensuales de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ registrados por las 11 estaciones que monitorearon este contaminante en el mes de mayo, mediante el uso de la interpolación Kriging para evidenciar mediante una escala de colores las concentraciones que se presentaron en diferentes zonas de la ciudad, y mediante un campo vectorial la velocidad y dirección del viento. De acuerdo a esta representación, se

observa que en el suroccidente de la ciudad se presentan los mayores niveles de contaminación por $PM_{2.5}$, con concentraciones entre 25 y 30 $\mu g/m^3$, en las localidades de Bosa, Kennedy, parte de Ciudad Bolívar y Tunjuelito, mientras que las concentraciones más bajas se registran al oriente de la ciudad, en las localidades de San Cristóbal y Candelaria, y en norte de la ciudad en Suba y Usaquén, registrando concentraciones entre 10 y 15 $\mu g/m^3$. En la zona suroccidente además se registran las mayores velocidades del viento, y la dirección del viento predomina en sentido norte - sur, lo cual contribuye a la dispersión de la contaminación, especialmente en horas de la tarde.

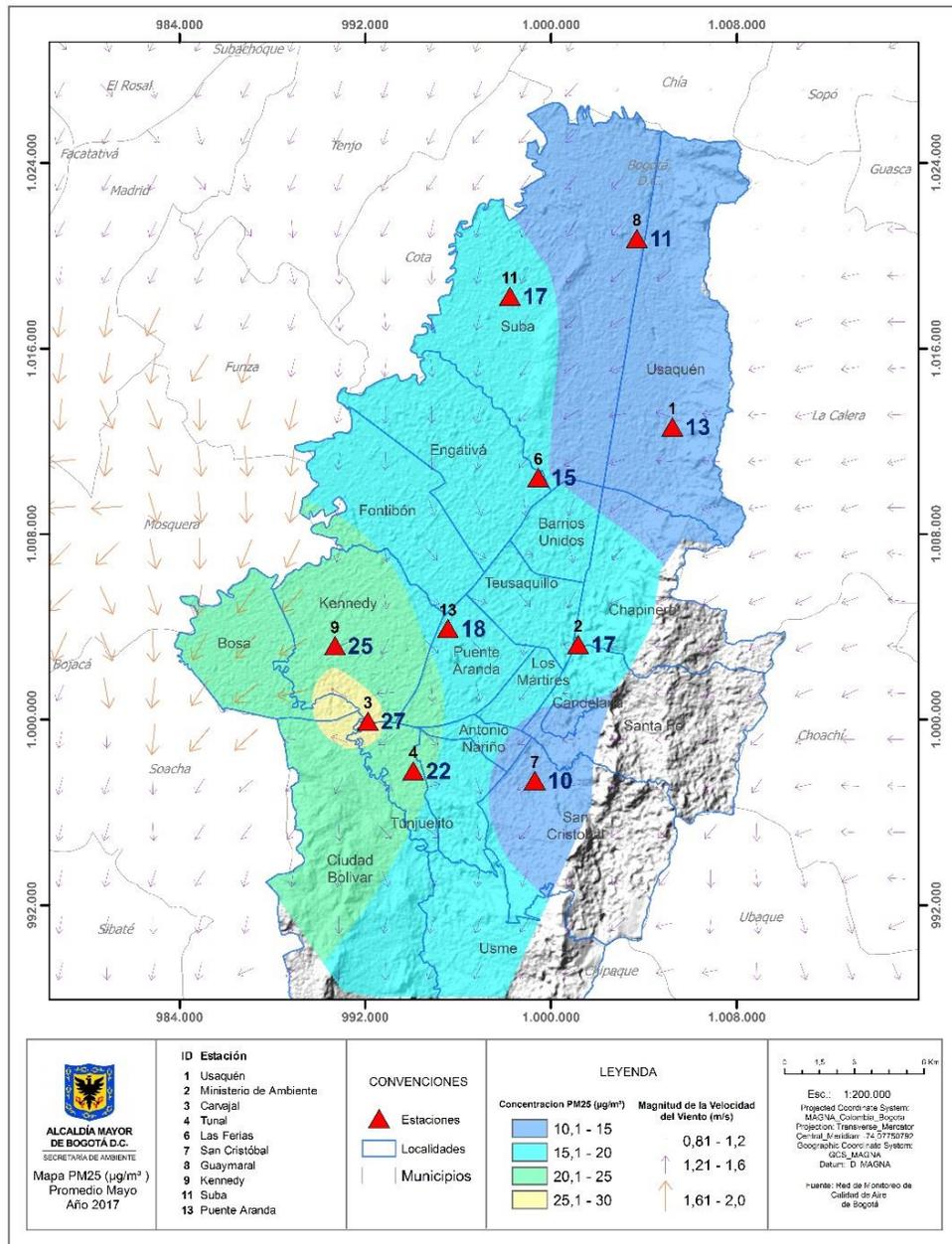


Figura 9. Distribución espacial de los promedios mensuales de concentración de PM_{2.5} con base en el método de interpolación de Kriging

2.1 INDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE (IBOCA) – PM_{2.5}

El Índice Bogotano de Calidad de Aire, IBOCA, adoptado mediante la Resolución 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.

Basados en las concentraciones de PM_{2.5}, la Figura 10 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de 24 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con representatividad de datos superior al 75%. Se observa que predominan las categorías “favorable”, “moderada” y “regular. La estación Tunal presenta el estado de calidad del aire más desfavorable, con una condición “favorable” el 13% del tiempo, “moderada” el 76% del tiempo y “regular” el 8% del mes de Mayo, mientras que las estaciones San Cristóbal y Guaymaral presentan el mejor estado con una condición de “favorable” el 66% del tiempo y “moderada” el 34% restante, como se observa en la Tabla 4.

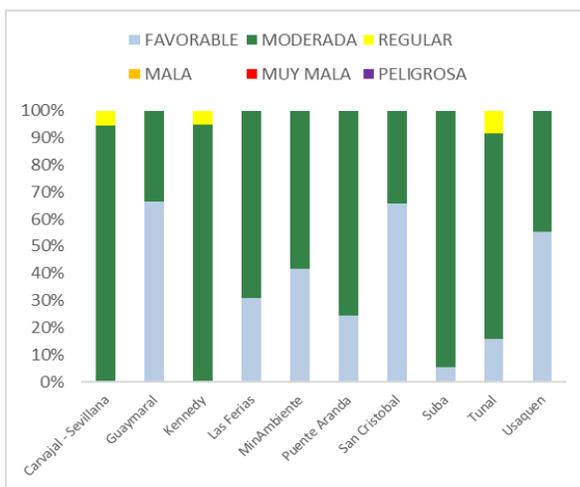


Figura 10. IBOCA para PM_{2.5} por estación en mayo 2017

Tabla 4. Porcentaje del tiempo por categoría de IBOCA para PM_{2.5}

IBOCA PM _{2.5}			
ESTACIÓN	FAVORABLE	MODERADA	REGULAR
Carvajal - Sevillana	0%	94%	6%
Guaymaral	66%	34%	0%
Kennedy	0%	95%	5%
Las Ferias	31%	69%	0%
MinAmbiente	42%	58%	0%
Puente Aranda	24%	76%	0%
San Cristobal	66%	34%	0%
Suba	6%	98%	0%
Tunal	16%	76%	8%
Usaquen	55%	45%	0%

3 COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO (O₃). PROMEDIOS MÓVILES DE 8 HORAS.

La Tabla 5 muestra los datos obtenidos para ozono - O₃ - en el mes de mayo de 2017.

Tabla 5. Resumen de datos de O₃ para mayo de 2017

Estación	Promedio O ₃ 8h (µg/m ³)	Máximo. O ₃ 8h (µg/m ³)	Fecha máximo O ₃	Excedencias 8h	Datos válidos (%)
Guaymaral	15	43	12/05/2017	0	95%
Usaquén	17	36	14/05/2017	0	96%
Suba	19	54	14/05/2017	0	95%
Las Ferias	15	42	28/05/2017	0	100%
C.D.A.R.*	15	49	14/05/2017	0	34%
MinAmbiente	16	49	14/05/2017	0	96%

Estación	Promedio O ₃ 8h (µg/m ³)	Máximo. O ₃ 8h (µg/m ³)	Fecha máximo O ₃	Excedencias 8h	Datos válidos (%)
Kennedy	9	21	13/05/2017	0	99%
Carvajal - Sevillana	11	45	13/05/2017	0	95%
Tunal	11	35	14/05/2017	0	99%
San Cristóbal	12	28	19/05/2017	0	98%

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

La Figura 11 presenta los promedios y máximos por estación de monitoreo de O₃ con captura de datos superior a 75%. Se observa que las mayores concentraciones como promedio mensual 8 horas se presentaron en el noroccidente de la ciudad en la estación de Suba (**19 µg/m³**) y en la zona norte en la estación Usaquén (**17 µg/m³**). Las menores concentraciones se presentaron en el suroccidente en la estación Kennedy (**9 µg/m³**) y las estaciones Tunal y Carvajal - Sevillana (**11 µg/m³**). Se puede observar que existe una dinámica diferente para este contaminante frente al material particulado en términos de localización y horas de concentración máxima.

La concentración máxima con base en promedios 8 horas fue de **54 µg/m³** en la estación Suba, seguida de **49 µg/m³** en la estación MinAmbiente, y de **45 µg/m³** en la estación Carvajal - Sevillana.

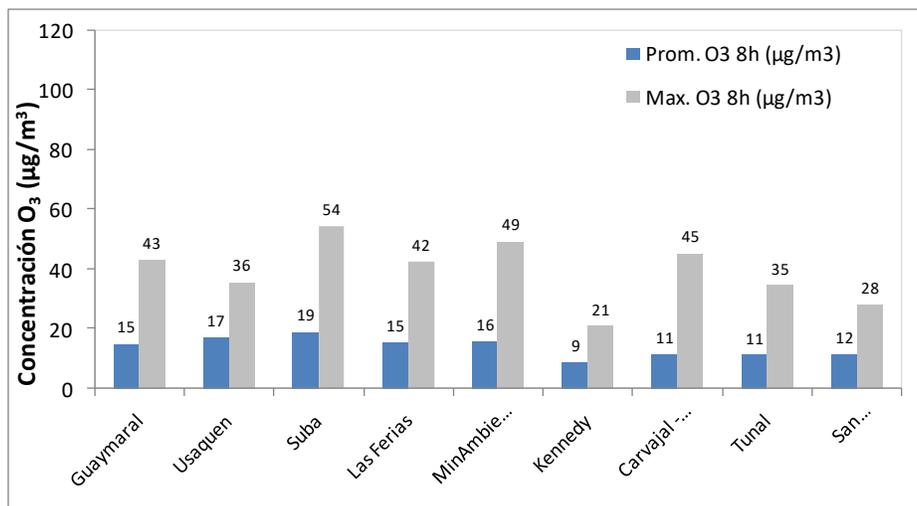


Figura 11. Promedios de las concentraciones 8 horas y valores máximos de O₃ - mayo 2017.

La Figura 12 muestra el comportamiento de la captura de datos durante el mes y las concentraciones comparadas con 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 estaciones Guaymaral, Suba y MinAmbiente, especialmente en la segunda y tercera semanas del mes; las concentraciones más bajas se observan en las estaciones San Cristóbal y Carvajal-Sevillana, en la última semana del mes. En mayo de 2017, no se

presentó ninguna excedencia a la norma 8 horas, y ninguna estación superó el valor guía recomendado por la OMS de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

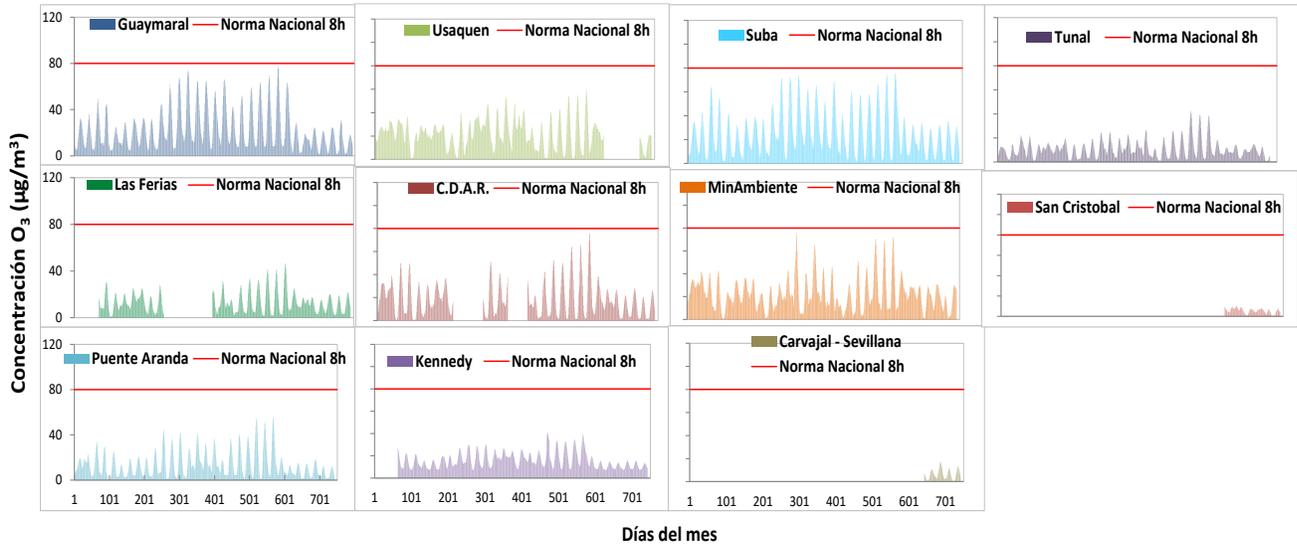


Figura 12. Comportamiento 8h de O_3 para mayo 2017 y comparación con norma nacional.

La Figura 13 muestra el comportamiento temporal de las concentraciones de O_3 del mes de mayo a través de los últimos 3 años. Según los valores de concentración registrados en 2017, en las estaciones Usaquén y MinAmbiente se presenta una reducción en las concentraciones frente a los valores del año 2016, y en las estaciones Guaymaral, Suba, Carvajal-Sevillana, Kennedy y San Cristóbal las concentraciones aumentaron con respecto al año 2016.



Figura 13. Comportamiento interanual O_3 (2015-2016-2017) para los meses de mayo

3.1 INDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE (IBOCA) – O₃

El Índice Bogotano de Calidad de Aire, IBOCA, adoptado mediante la Resolución 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.

Basados en las concentraciones de O₃, la Figura 14 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con representatividad de datos superior al 75%. En la Tabla 6 se observa que la categoría “favorable” predomina en todas las estaciones de la RMCAB, con un 100% del tiempo del mes de mayo.

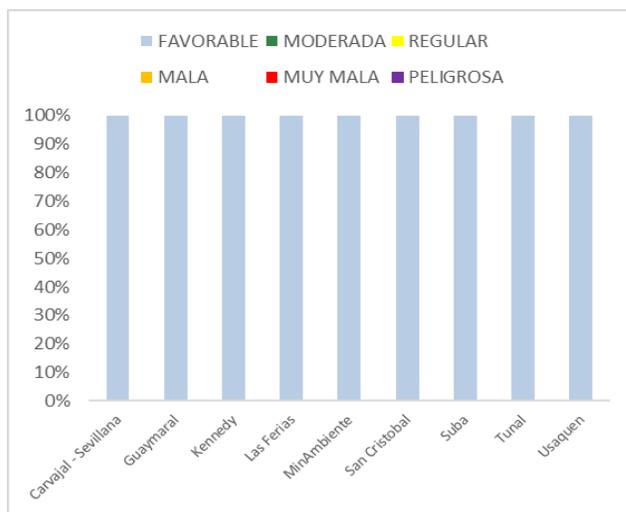


Figura 14. IBOCA para O₃ por estación en mayo 2017

Tabla 6. Porcentaje del tiempo por categoría de IBOCA para O₃

IBOCA O ₃	
ESTACIÓN	FAVORABLE
Carvajal - Sevillana	100%
Guaymaral	100%
Kennedy	100%
Las Ferias	100%
MinAmbiente	100%
San Cristobal	100%
Suba	100%
Tunal	100%
Usaquen	100%

4 COMPORTAMIENTO DIARIOS DE LAS CONCENTRACIONES DE SO₂, NO₂, CO.

La Figura 15, Figura 17 y Figura 19 presentan los promedios y máximos por estación de monitoreo de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO) con captura de datos superior a 75% y la Figura 16, Figura 18 y Figura 20 presentan los promedios diarios de NO₂ y SO₂, y 8 horas de CO. Igualmente se presentan en la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9 el resumen de datos válidos, las excedencias y la comparación con la norma, donde se observa que las concentraciones de SO₂, NO₂ y CO, presentaron magnitudes relativamente bajas, e históricamente se han mantenido por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 en sus respectivos tiempos de exposición. Por tanto, sus efectos potenciales en la afectación a la salud pública son menores que aquellos correspondientes a material particulado y ozono.

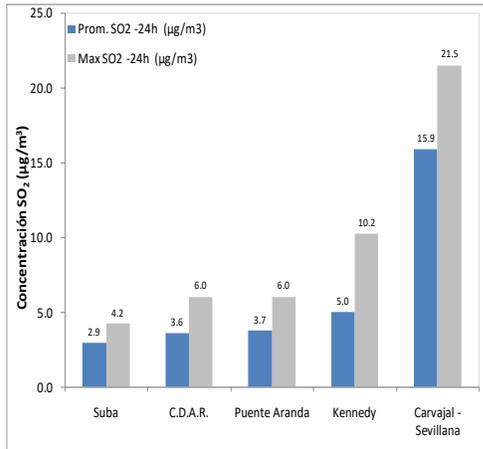


Tabla 7. Resumen de los promedios 24 horas para SO₂. mayo 2017.

Estación	Promedio SO ₂ -24h (µg/m ³)	Max SO ₂ -24h (µg/m ³)	Fecha máximo SO ₂	Exced .24h	Datos válidos (%)
Suba	2.9	4.2	31/05/2017	0	84%
C.D.A.R.	3.6	6.0	03/05/2017	0	87%
Puente Aranda	3.7	6.0	03/05/2017	0	84%
Kennedy	5.0	10.2	17/05/2017	0	100%
Carvajal - Sevillana	15.9	21.5	26/05/2017	0	90%
San Cristóbal*	N.R.	2.4	11/05/2017	0	35%

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

Figura 15. Promedios de las concentraciones diarias y valores máximos de SO₂. mayo 2017.

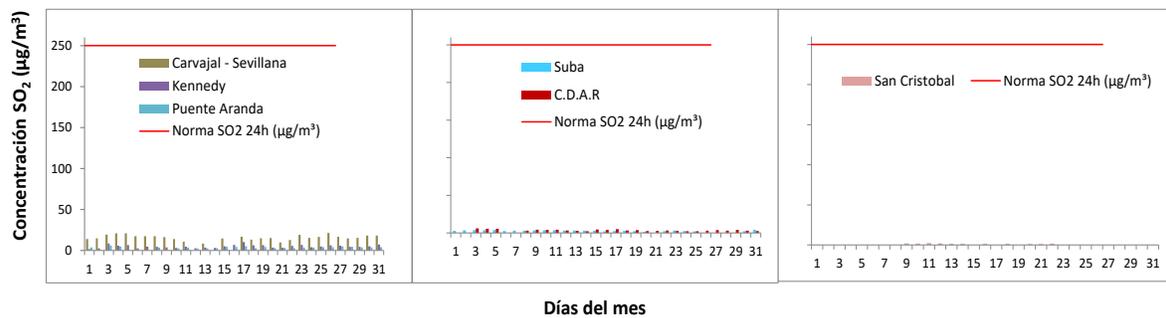


Figura 16. Comportamiento diario de SO₂ para mayo 2017 y comparación con norma nacional

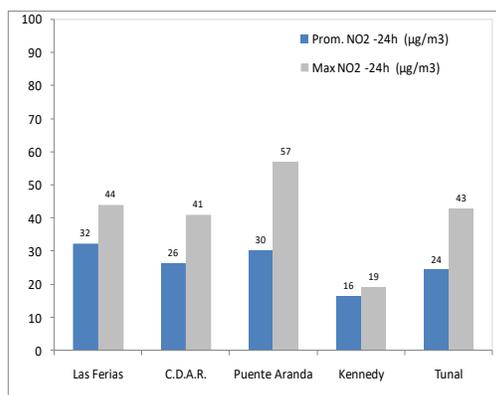


Figura 17. Promedios de las concentraciones diarias y valores máximos de NO₂. mayo 2017

Tabla 8. Resumen de los promedios 24 horas para NO₂. mayo 2017.

Estación	Promedio NO ₂ -24h (µg/m ³)	Max NO ₂ -24h (µg/m ³)	Fecha máximo NO ₂	Exc. 24h	Datos válidos (%)
Las Ferias	32	44	27/05/2017	0	97%
C.D.A.R.	26	41	15/05/2017	0	100%
Puente Aranda	30	57	15/05/2017	0	87%
Kennedy	16	19	22/05/2017	0	77%

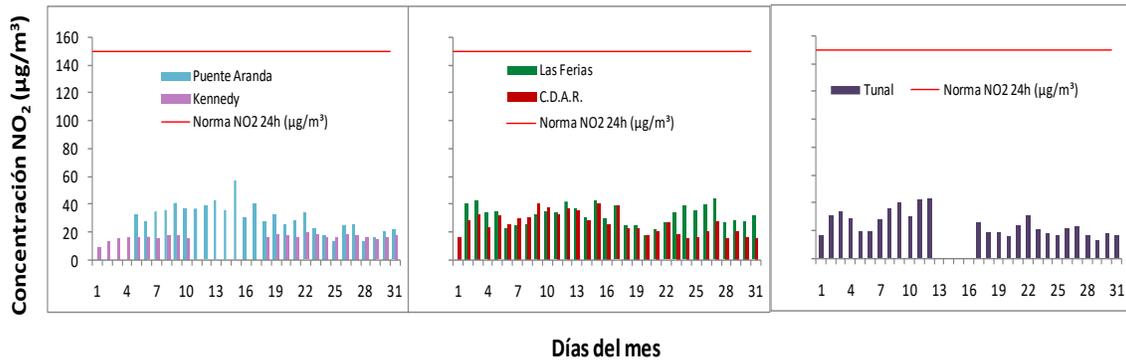


Figura 18. Comportamiento diario de NO₂ para mayo 2017 y comparación con norma nacional

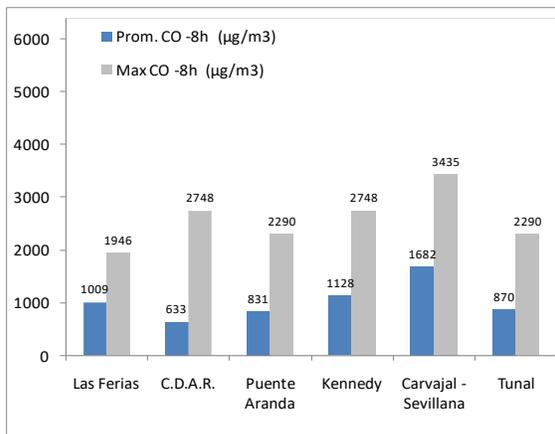


Figura 19. Promedios de las concentraciones 8 horas y valores máximos de CO mayo 2017

Tabla 9. Resumen de los promedios 8 horas para CO. mayo 2017.

Estación	Prom. CO -8h (µg/m³)	Max CO -8h (µg/m³)	Fecha máximo CO	Exc. 8h	Datos válidos (%)
Las Ferias	1009	1946	04/05/2017	0	95%
C.D.A.R.	633	2748	04/05/2017	0	100%
Puente Aranda	831	2290	15/05/2017	0	89%
Kennedy	1128	2748	04/05/2017	0	99%
Carvajal - Sevillana	1682	3435	03/05/2017	0	96%
Tunal	870	2290	04/05/2017	0	84%

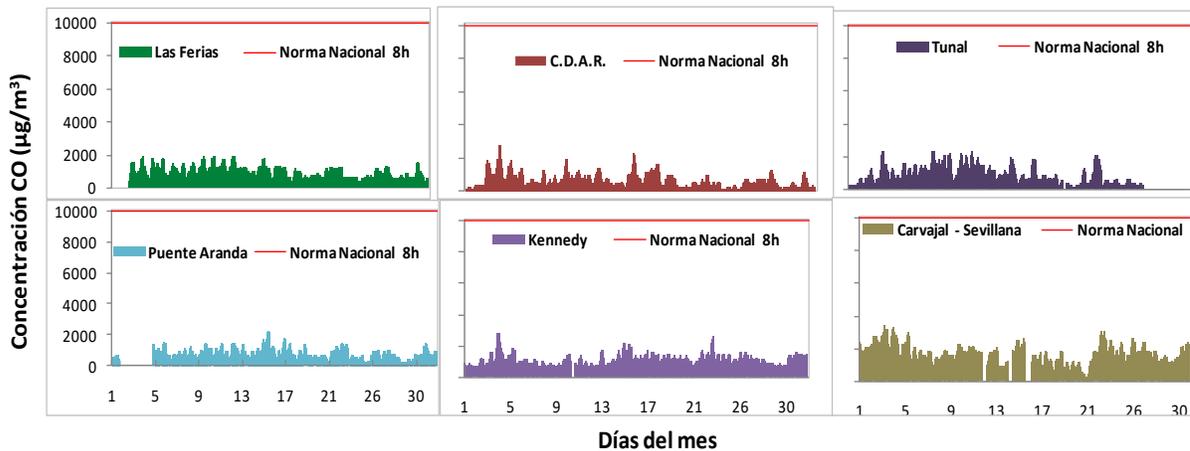


Figura 20. Comportamiento 8h de CO para mayo 2017 y comparación con norma nacional

5 COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN

En mayo se presentaron abundantes lluvias como históricamente se ha reportado. Como se puede apreciar en la Figura 21, de las precipitaciones del mes de mayo de 2010 a 2017, se puede inferir que mayo de 2017 fue el más lluvioso de los últimos siete años. Cabe anotar que en 2010 hubo tres estaciones, donde se reportó información, que superaron las precipitaciones de mayo de 2017; estas fueron Usaquén, Las Ferias y MinAmbiente. Además, se destaca la precipitación registrada en la estación de Kennedy, donde los antecedentes han mostrado que es parte del sector más seco de la ciudad y, en esta ocasión, prácticamente se duplicó la precipitación con respecto a los 8 años anteriores.

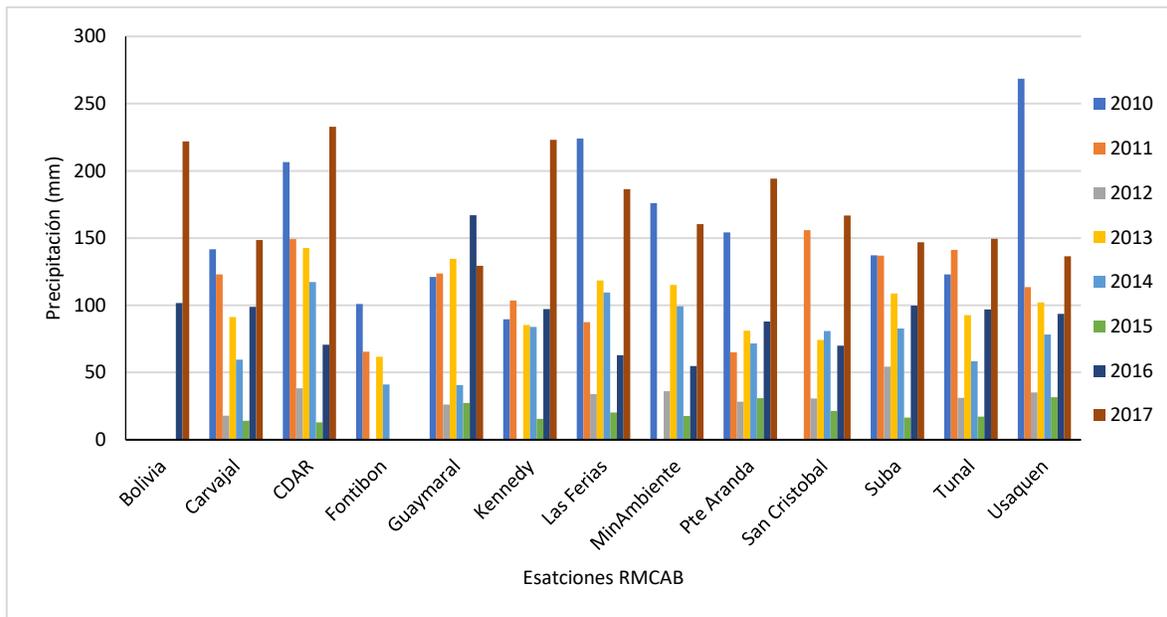


Figura 21. Variación interanual de la precipitación en los meses de mayo 2010-2017

En el mes de mayo la precipitación en la ciudad fluctuó entre 129,4 mm hacia el sector norte de la ciudad, representado por la estación de Guaymaral, hasta 232,7 mm en el centro geográfico de la misma. (Tabla 10 y Figura 22)

Las estaciones que mayor número de días de lluvia registraron fueron: Kennedy (21 días) y Centro de Alto Rendimiento (20 días); la estación con menor número de días fue Guaymaral (6 días). En general el promedio de días con lluvia fue de 18 días.

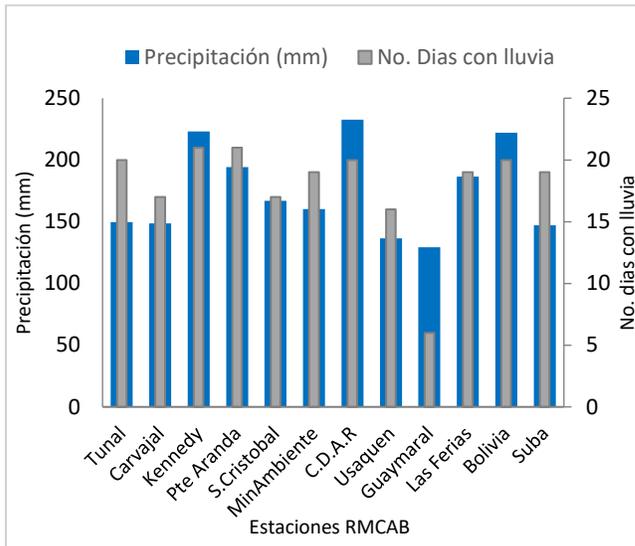


Figura 22 Precipitación media mensual por estaciones y número de días con precipitación (Mayo-2017).

Tabla 10 Precipitación media mensual por estaciones y número de días con lluvia (mayo-2017)

Estación	Precipitación acumulada (mm/mes)	Días con lluvia
Tunal	149,6	20
Carvajal	148,5	17
Kennedy	223,1	21
Puente Aranda	194,3	21
San Cristóbal	166,8	17
MinAmbiente	160,3	19
C.D.A.R	232,7	20
Usaquén	136,4	16
Guaymaral	129,4	6
Las Ferias	186,4	19
Bolivia	222	20
Suba	147	19
Promedio		18

6 COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.

En la Figura 23 se registra el comportamiento interanual del viento para los meses de mayo desde 2010 – 2017. Se observa que las velocidades durante los últimos ocho años son muy similares por estación. No obstante, entre estaciones se perciben diferencias importantes en la influencia de la intensidad del viento. Por ejemplo, se advierte que para los meses de mayo entre 2010 a 2017, las velocidades medias mensuales del viento en inmediaciones de Kennedy (2,2 a 2,8 m/s) y Fontibón (2,6 a 3,0 m/s) han sido las más altas de la ciudad, es decir hacia el sector suroccidental, en tanto que las más bajas se han registrado al norte y sur de la ciudad, en cercanías de Guaymaral (0,8 a 1,1 m/s) y Tunal (0,9 a 1,2 m/s). Las velocidades del viento en el mes de mayo de 2017, frente a periodos anuales anteriores, se encuentran en un nivel ligeramente más bajo, en la mayoría de las estaciones, pero es notable la diferencia entre los años 2010 y 2017, en la estación de Carvajal.

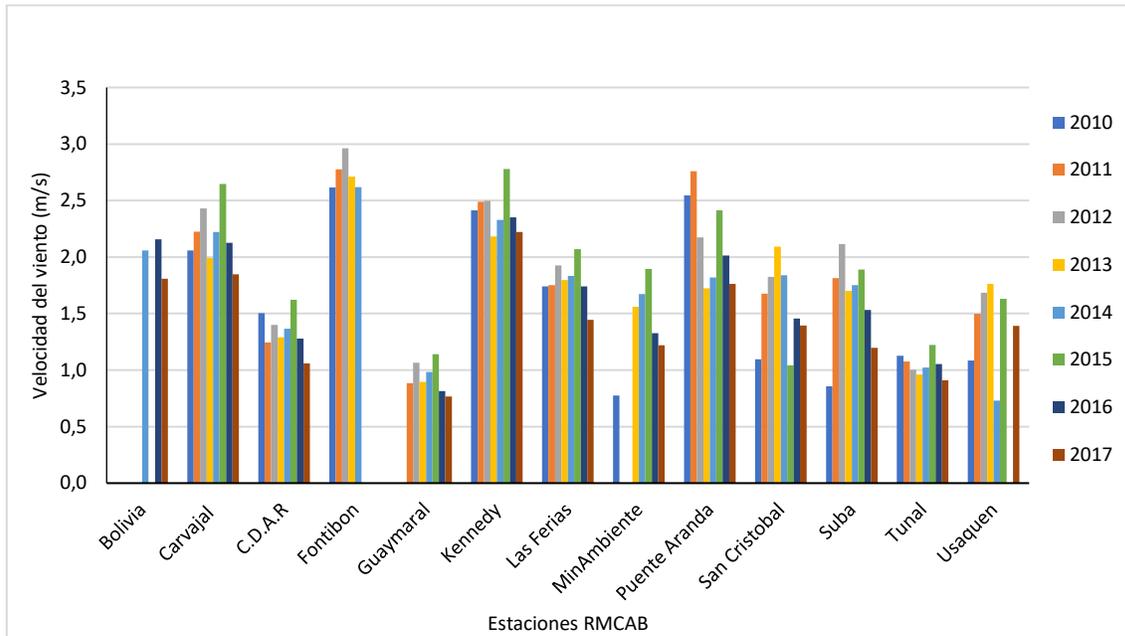


Figura 23. Comportamiento interanual de la velocidad del viento. Marzo 2017.

Las máximas velocidades del viento en la ciudad se registraron en las estaciones de Usaquén, Puente Aranda y Kennedy. En cuanto a las velocidades mínimas, en general todas las estaciones de la RMCAB, reportaron valores muy cercanos a cero. (Tabla 11 y Figura 24). Esta disminución está estrechamente relacionada con el ciclo diurno de la radiación solar. De allí, que las mínimas velocidades se reporten en las horas de la madrugada, entre las 5 y 6 AM cuando el suelo ha entregado gran parte de la energía acumulada durante el día.

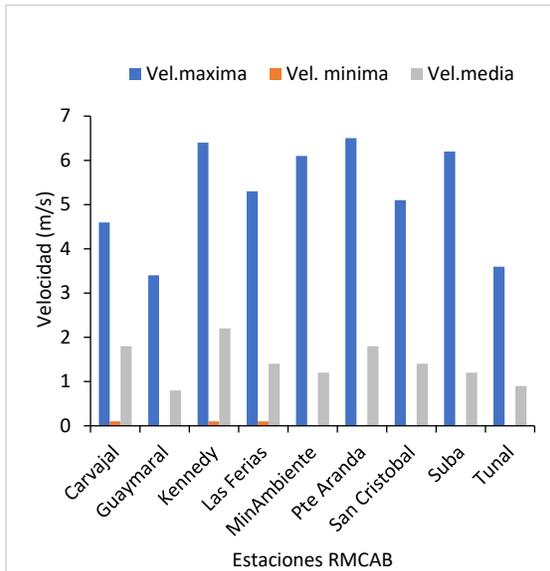


Figura 24 Velocidad del viento máxima, media y mínima por estaciones –Mayo 2017

Tabla 11 Velocidades reportadas para mayo de 2017

Estación	Vel. Máxima (m/s)	Vel. Mínima (m/s)	Vel. media (m/s)
Bolivia	5,9	0	1,8
Carvajal	4,6	0,1	1,8
C.D.A.R	4,6	0	1,1
Guaymaral	3,4	0	0,8
Kennedy	6,4	0,1	2,2
Las Ferias	5,3	0,1	1,4
MinAmbiente	6,1	0	1,2
Puente Aranda	6,5	0	1,8
San Cristóbal	5,1	0	1,4
Suba	6,2	0	1,2
Tunal	3,6	0	0,9
Usaquén	6,5	0	1,4
Promedio Ciudad	5,3	0,0	1,4

6.1 COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.

En cuanto a la distribución espacial de los vientos en el mes de mayo, hacia la franja de los cerros orientales predominaron los vientos alisios del noreste y suroeste. Hacia el norte hubo persistencia de los vientos del norte y noreste, mientras que hacia el suroccidente de la ciudad se observa una predominancia de vientos del sur. Esta dirección puede estar asociada a vientos que fluyen por la cuenca del Río Tunjuelito o al ascenso relativo de la Zona de Confluencia Intertropical, tomando mayor fuerza los vientos alisios del sureste. Ver Figura 25 y Figura 44.

La Figura 25 es la representación del estado y del comportamiento promedio del flujo de los vientos durante el mes de mayo, y se indica el posible proceso de transporte de contaminantes en la ciudad de acuerdo a la velocidad y dirección del viento. Se nota una influencia de vientos del este hacia el sector norte de la ciudad, distinto a su comportamiento en los primeros meses del año. Además, una atenuación de la componente oeste, tomando mayor influencia los vientos del este y del sur.

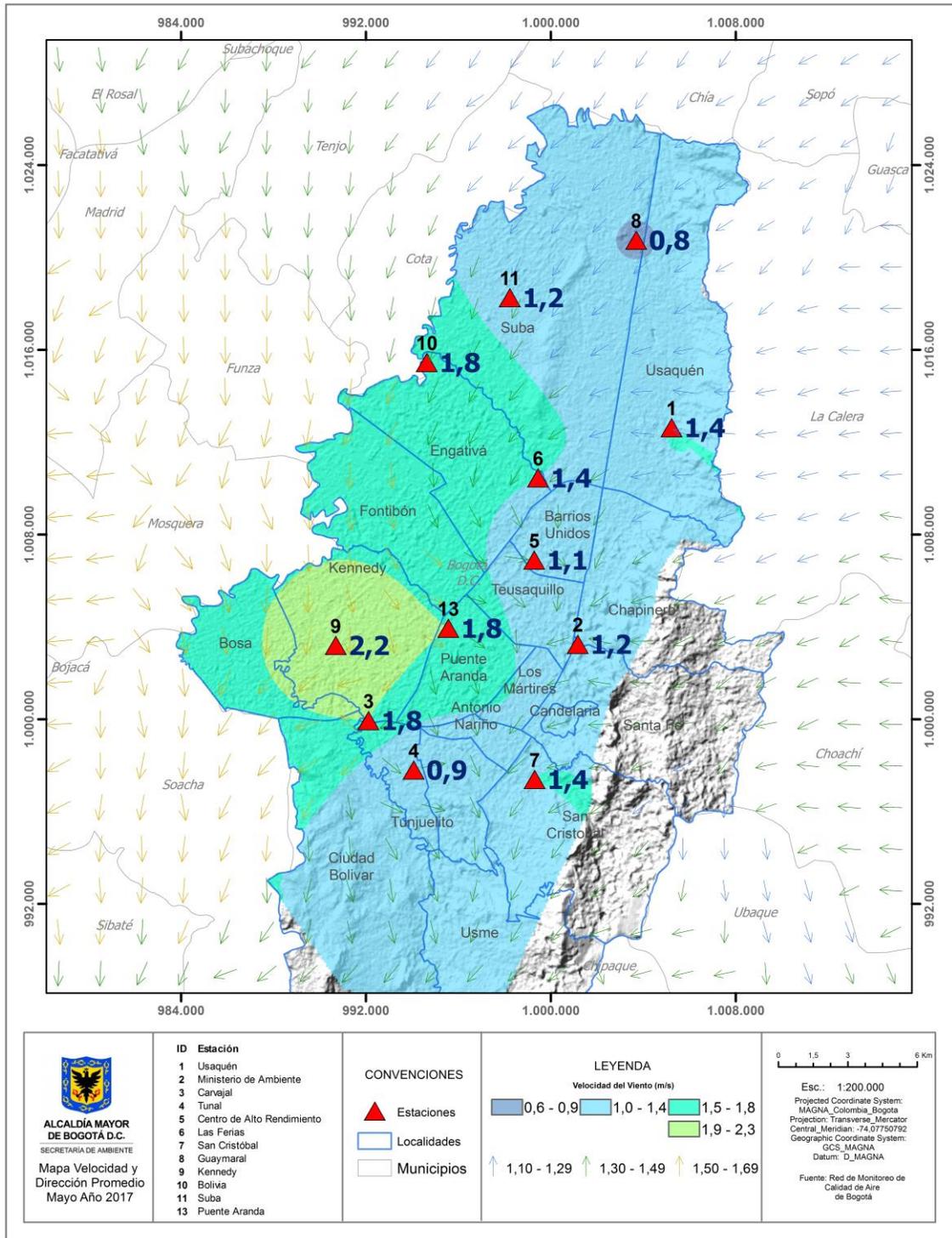


Figura 25 Velocidad promedio (Superficie en colores) y Dirección promedio (Vectores) del Viento de Bogotá con base en el método de interpolación de Kriging

7 COMPORTAMIENTO TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

En mayo las mayores temperaturas se registraron hacia el sector suroccidental y hacia el norte de la ciudad. En inmediaciones de las estaciones de Carvajal y Kennedy se registraron 15,5 y 15,3 °C respectivamente, y hacia el norte en la estación Guaymaral (15,1 °C). Las temperaturas más bajas se reportaron hacia el sector del Tunal (13,7 °C) y San Cristóbal (13,6 °C). En el resto de la ciudad se registraron temperaturas entre 14,5 y 15,1 °C. (Tabla 11 Figura 26 y Figura 27)

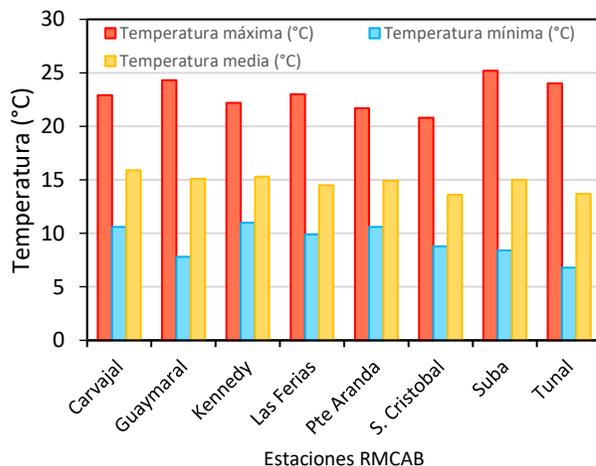


Figura 26 Temperaturas medias, máxima y mínima promedio por estaciones y promedio por ciudad. mayo 2017

Tabla 12. Resumen Temperaturas medias, máximas y mínima promedio por estaciones y promedio ciudad. mayo 2017

Estación	Temp. Máx. (°C)	Temp. mínima (°C)	Temp. media (°C)
Carvajal	22,9	10,6	15,9
C.D.A.R.	24,0	7,9	15,1
Guaymaral	24,3	7,8	15,1
Kennedy	22,2	11,0	15,3
Las Ferias	23,0	9,9	14,5
Pte. Aranda	21,7	10,6	14,9
San Cristóbal	20,8	8,8	13,6
Suba	25,2	8,4	15,0
Tunal	24,0	6,8	13,7
Promedio	23,1	9,1	14,8

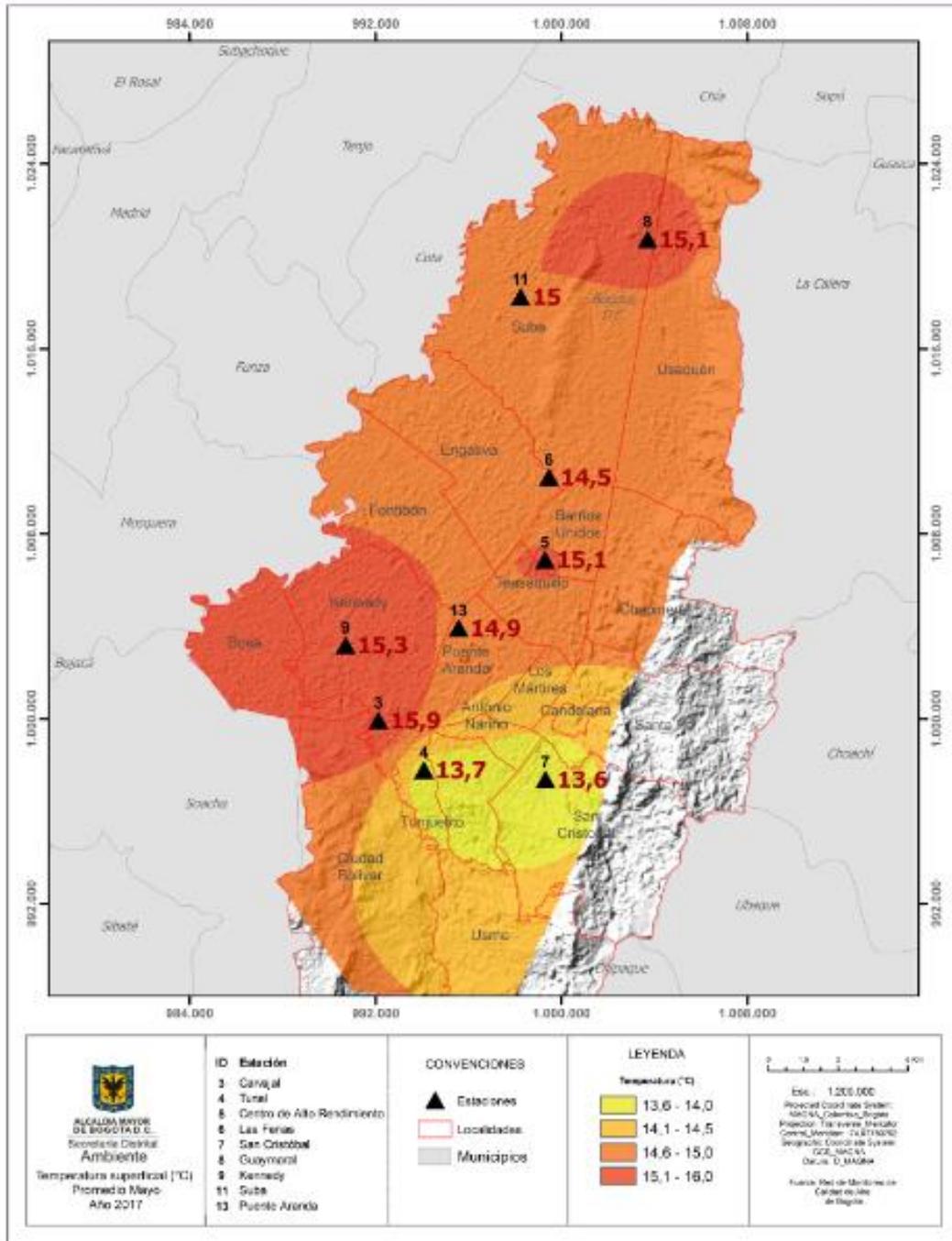


Figura 27 Mapa del promedio de temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB con base en el método de interpolación de Kriging - Mayo 2017

8 COMPORTAMIENTO DE LA RADICACIÓN SOLAR Y SU RELACIÓN CON LAS CONCENTRACIONES DE OZONO.

Conforme se incrementa la cobertura nubosa, la radiación solar entrante se reduce. Sin embargo, en algunos puntos de la ciudad, las concentraciones de ozono tendieron a incrementar. (Figura 28)

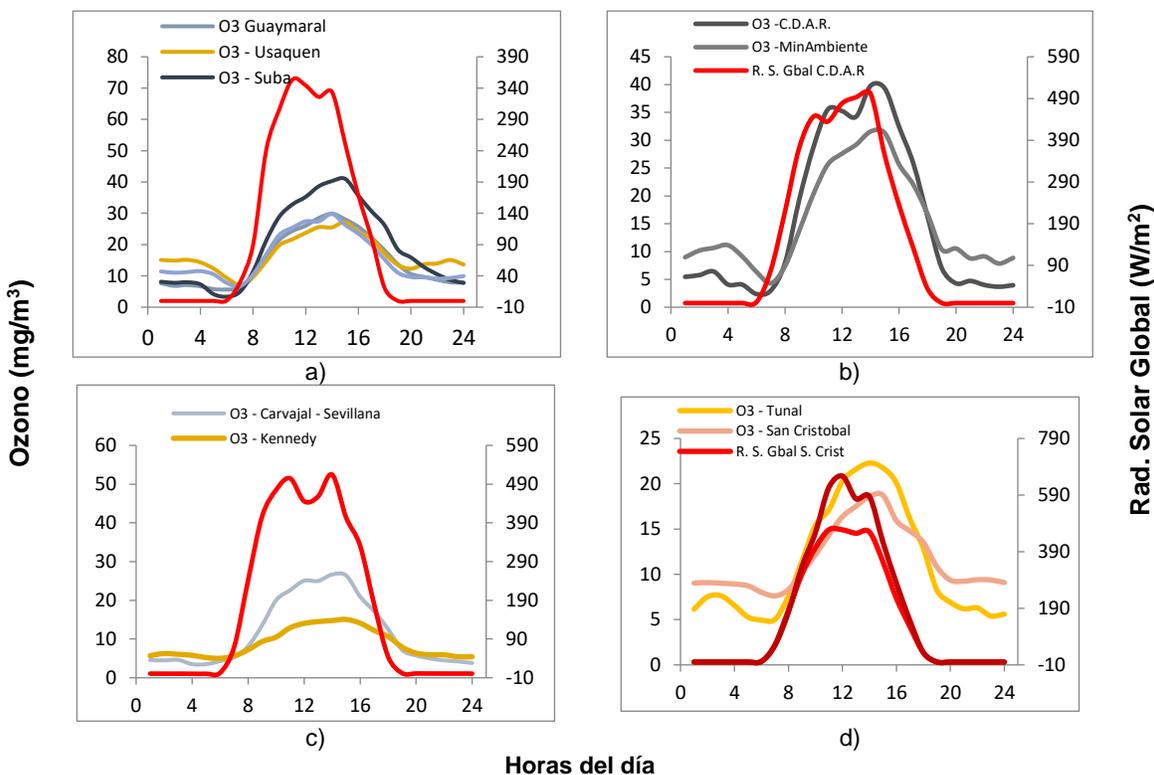


Figura 28. Comportamiento horario de O_3 ($\mu g/m^3$) y su relación con la Radiación Solar entrante (W/m^2), mayo 2017. a) - zona norte, b) zona centro, c) zona suroccidente y d) zona sur

10. REPORTE MENSUAL DE VALIDACIÓN SIMCAB

8.1 MODELO WRF

Teniendo en cuenta los datos de todas las estaciones, se realiza una validación a nivel ciudad tanto de las variables continuas (temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, presión atmosférica y radiación solar) como de la categórica (precipitación).

Los diagramas de Taylor (ver Figura 30) y los Box Plot (Ver Figura 30) de las variables continuas mencionadas, indican que la temperatura es bien representada por el modelo ya que presenta una buena correlación y representa de manera acertada el ciclo diurno. El RMSE se encuentra levemente por encima de 2°C y el BIAS indica que el modelo tiene a subestimar la temperatura. La precisión del modelo es muy cercana a la observada.

Por el contrario, la humedad relativa pronosticada por el modelo tiende a sobre estimarse con un RMSE por encima de 10%, sin embargo ésta variable tiene una buena correlación y el ciclo diurno es bien representado por el modelo, así como una buena precisión.

La velocidad del viento muestra una baja correlación en el diagrama de Taylor a pesar de que en el Box plot se evidencia que el modelo intenta representar los picos de máxima velocidad, con tendencia a la sobre estimación. Sin embargo el BIAS está por debajo de 2 m/s lo cual es un buen resultado para esta variable.

La radiación solar muestra también una buena correlación, y en el Box plot se observa que sigue el ciclo diurno observado, con tendencia a la sobre estimación especialmente en las horas de mayor radiación, presentando un RMSE 200 W/m².

La presión tanto observada como modelada presenta poca variación ya que sus valores oscilan entre 560 y 567 mmHg, la correlación igualmente es buena, pero la dispersión de los datos modelados es un poco mayor en el modelo. El modelo tiende a sobrestimar un poco la presión, con un RMSE cercano a 1 mmHg.

En términos de precipitación (ver Tabla 13), la validación se realiza con tablas de contingencia como variable categórica (lluvia – no lluvia). Los resultados indican que las estaciones puente Aranda y Min Ambiente son las mejor representadas en términos de Threat score, BIAS y baja False Alarm Ratio. Las estaciones que tuvieron menor bondad en la validación fueron Las Ferias y Usaquén, principalmente por su bajo Threat score y False Alarm Ratio.

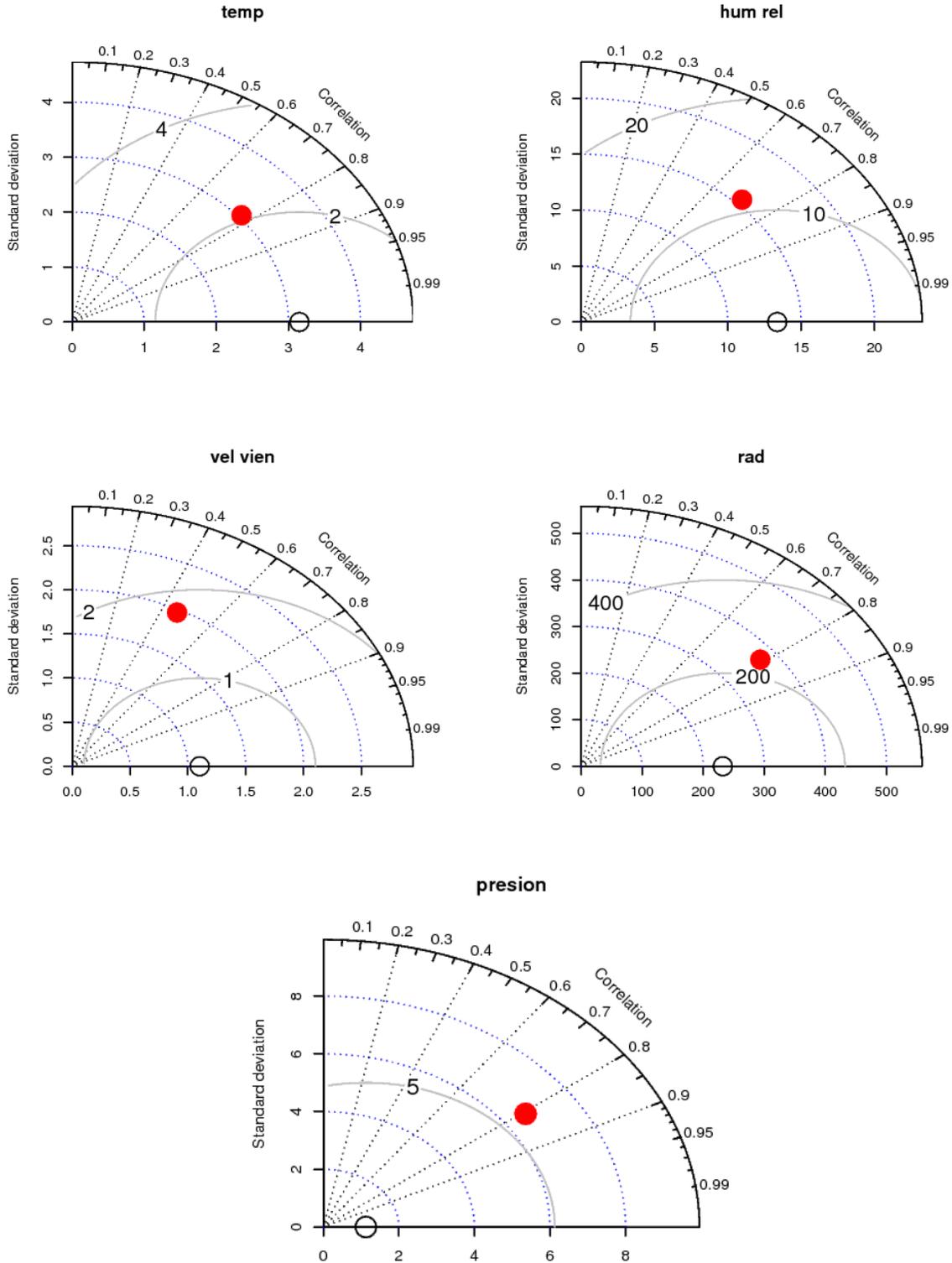


Figura 29. Diagramas de Taylor parámetros meteorológicos. Mayo 2017

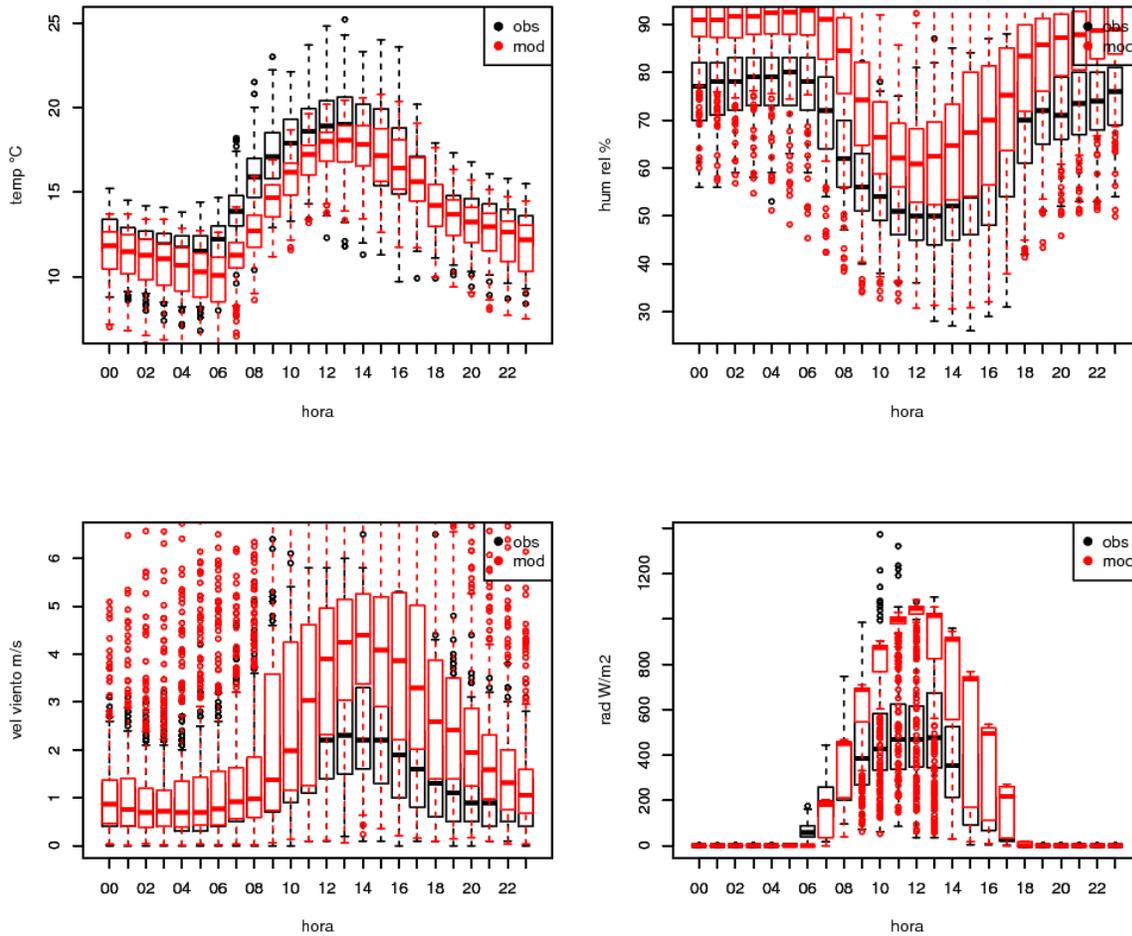


Figura 30. Box Plot parámetros meteorológicos – Mayo 2017

Tabla 13. Datos estadísticos de Precipitación por estación - Mayo 2017

ESTACIÓN	THREAT SCORE	POD	FAR	PERCENT CORRECT	BIAS
Carvajal- Sevillana	0.74	0.95	0.23	0.77	1.24
CDAR	0.68	0.86	0.24	0.71	1.14
Guaymaral	0.73	0.95	0.24	0.77	1.25
Kennedy	0.75	0.91	0.19	0.77	1.13
Las Ferias	0.63	0.85	0.29	0.68	1.20
MinAmbiente	0.73	0.86	0.17	0.77	1.05
Puente Aranda	0.82	0.92	0.12	0.84	1.04
San Cristóbal	0.58	0.71	0.25	0.64	0.95
Suba	0.69	0.90	0.25	0.74	1.20
Tunal	0.65	0.85	0.26	0.71	1.15
Usaquén	0.65	0.89	0.29	0.71	1.26

8.2 MODELO CMAQ

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 fotoquímico CMAQ para los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , NO_2 , SO_2 y CO .

Para el material particulado (PM_{10} 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. Para PM_{10} , el modelo tiene una correlación de Pearson cercana a 0.5, adicionalmente, el modelo presenta un RMSE cercano a $30 \mu g/m^3$; Por otro lado, para $PM_{2.5}$ el modelo tiene una correlación con respecto a los datos observados de 0.5, con un RMSE de $15 \mu g/m^3$.

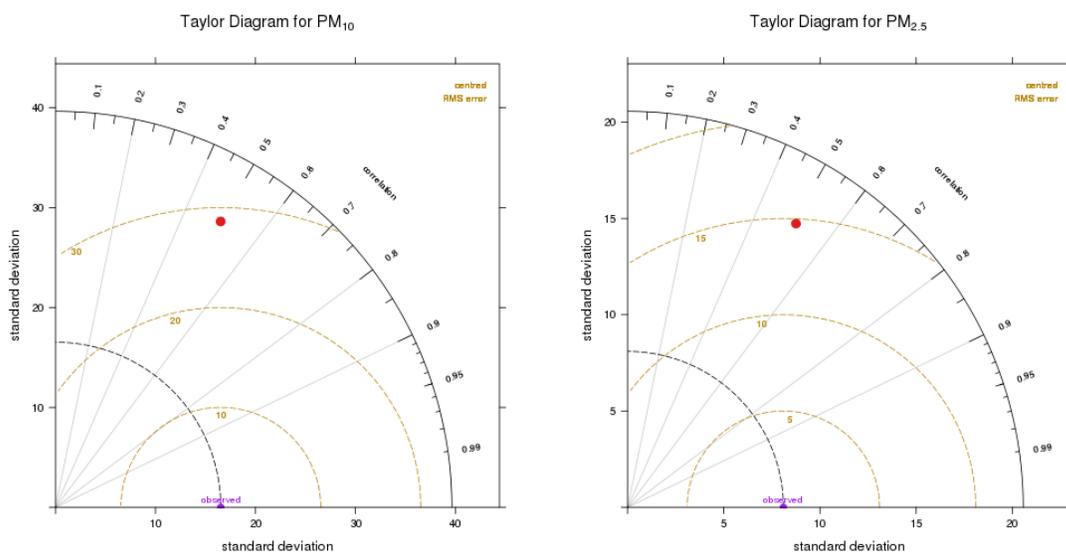


Figura 31. Diagramas de Taylor para material particulado en métrica diaria

En cuanto a los gases, el ozono es el que mejor se representa en métrica horaria por el modelo con un RMSE menor a 10 ppb y una correlación con los datos observados de 0.5; para el caso del SO_2 , no se muestra el punto de modelado, ya que la correlación fue negativa y el punto se sale del área del gráfico.

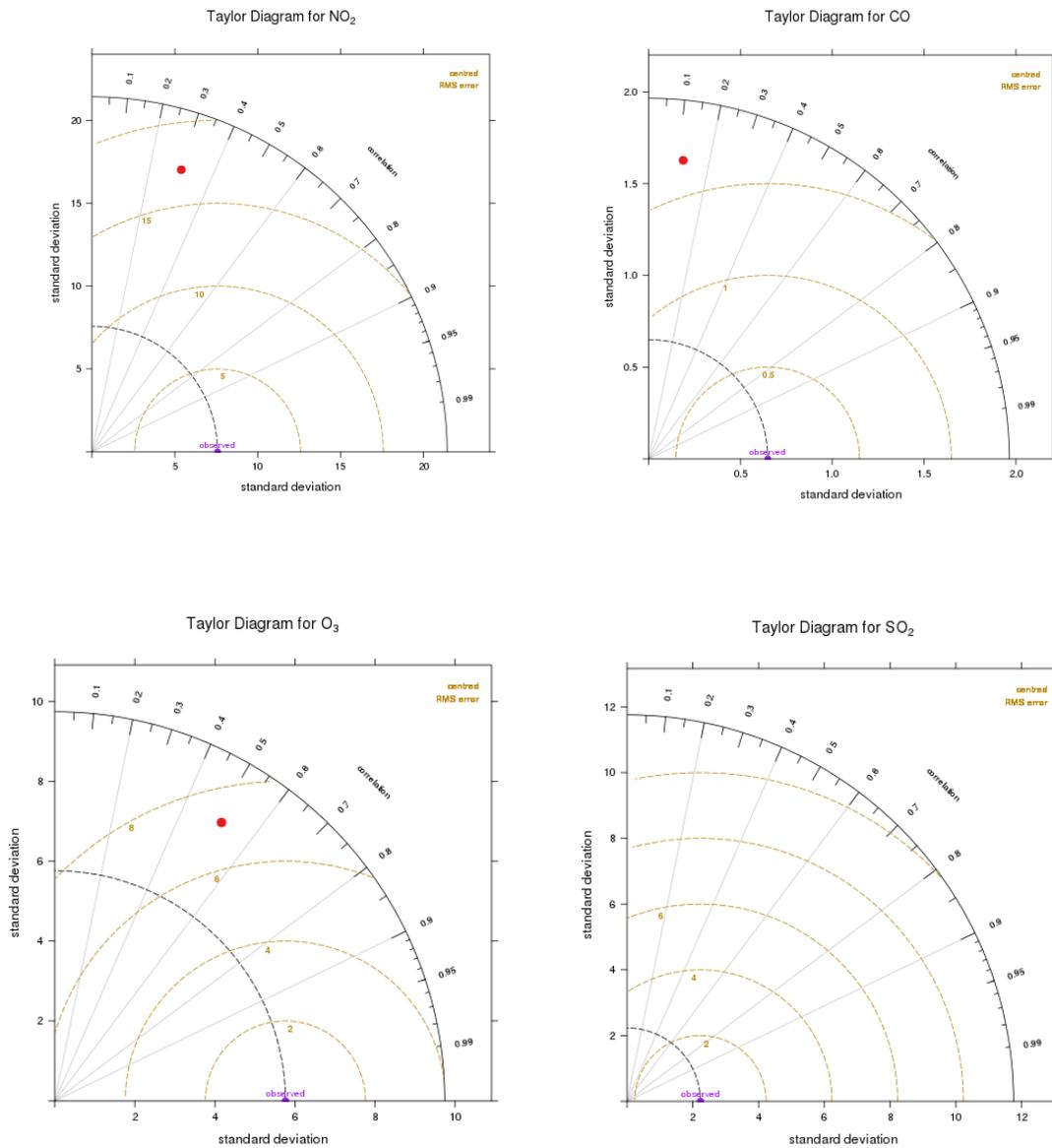


Figura 32. Diagramas de Taylor para NO₂, CO, O₃ y SO₂, en métrica horaria

Dado que el material particulado es el contaminante más crítico en la ciudad, se muestra a continuación una tabla de sesgos (bias), que muestra el comportamiento promedio de los sesgos del modelo para el mes de mayo, por estación. De esta tabla se puede concluir que las estaciones de Carvajal, Guaymaral, Puente Aranda y Kennedy es donde ocurren las mayores sobreestimaciones por parte del modelo, mientras que el modelo tiende a subestimar las concentraciones en las estaciones de Suba y Usaquén, principalmente.

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

Estación	Sesgo diario PM ₁₀ (µg/m ³)	Sesgo diario PM _{2.5} (µg/m ³)
Carvajal-Sevillana	40 ± 96	10 ± 48

Estación	Sesgo diario PM ₁₀ (µg/m ³)	Sesgo diario PM _{2.5} (µg/m ³)
Centro de Alto Rendimiento	30 ± 38	No hay mediciones
Guaymaral	40 ± 96	9 ± 28
Kennedy	16 ± 48	12 ± 30
Las Ferias	8 ± 26	6 ± 16
MinAmbiente	9 ± 26	3 ± 16
Puente Aranda	28 ± 54	22 ± 34
San Cristóbal	-3 ± 26	2 ± 14
Suba	-29 ± 14	-4 ± 10
Tunal	10 ± 28	4 ± 30
Usaquén	-14 ± 26	-3 ± 16

ANEXOS

A. Comportamiento horario de las concentraciones de PM₁₀

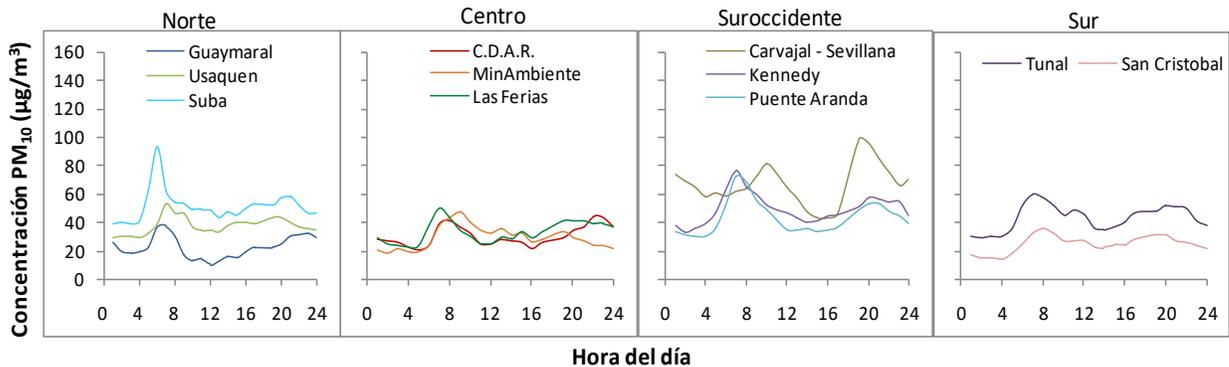


Figura 33. Comportamiento horario de PM₁₀ para mayo de 2017

B. Comportamiento horario de las concentraciones de PM_{2.5}

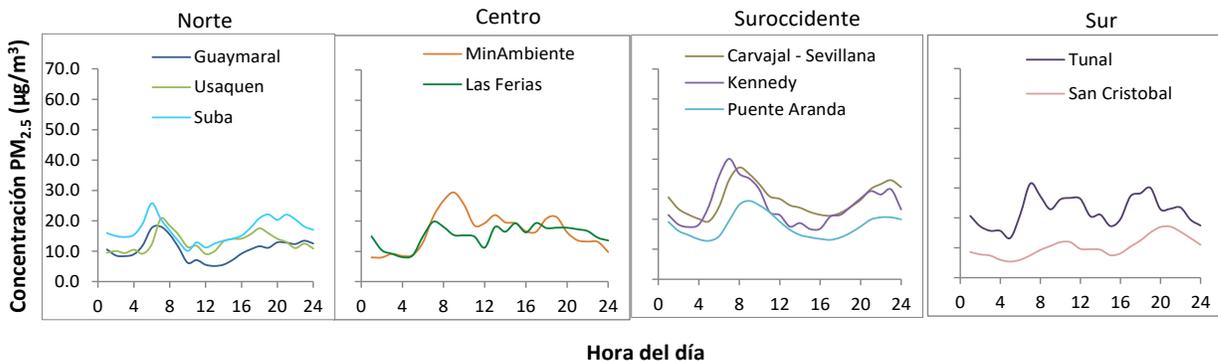


Figura 34. Comportamiento horario de PM_{2.5} para mayo de 2017.

C. Comportamiento horario de las concentraciones de O₃

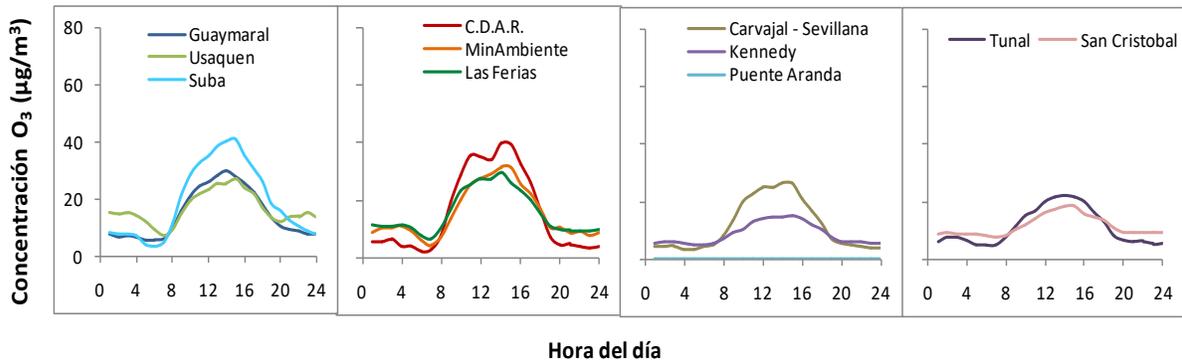


Figura 35. Comportamiento horario de O₃ para mayo 2017.

D. Comportamiento horario de las concentraciones de SO₂

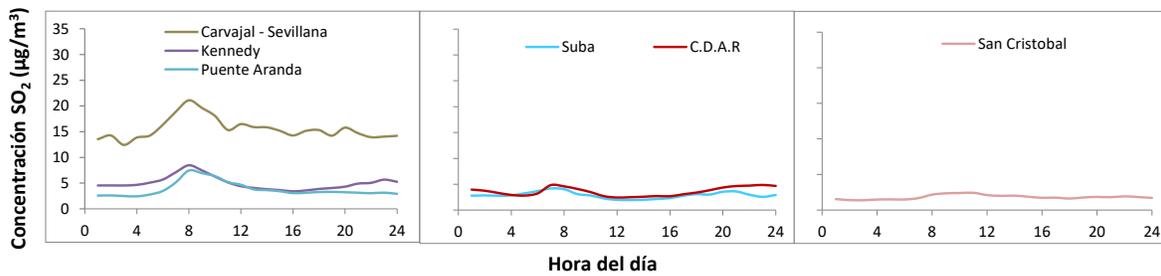


Figura 36. Comportamiento horario de SO₂ para mayo 2017.

E. Comportamiento horario de las concentraciones de NO₂

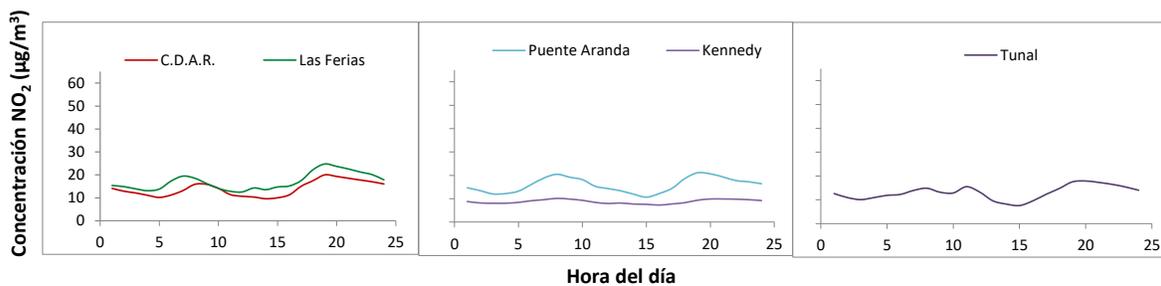


Figura 37. Comportamiento horario de NO₂ para mayo 2017.

F. Comportamiento horario de las concentraciones de CO

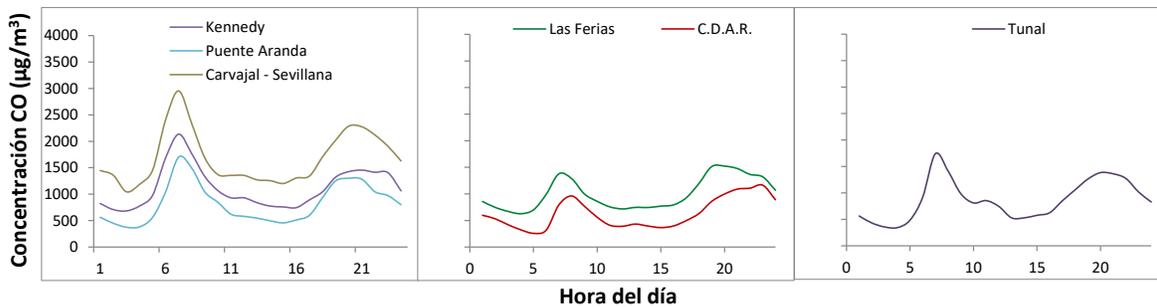


Figura 38. Comportamiento horario de CO para mayo 2017.

G. Relación $PM_{10}/PM_{2.5}$

El cálculo de la relación de concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} para cada una de las estaciones consideró únicamente aquellos promedios mensuales con una representatividad temporal igual o superior a 75%. Una relación alta implica una mayor participación de material particulado fino ($PM_{2.5}$) el cual está relacionado de forma más directa con los procesos de combustión y con los productos de reacciones secundarias atmosféricas.

Las fracciones más altas de $PM_{2.5}$ en PM_{10} fueron observadas las estaciones de Centro de Alto Rendimiento y Guaymaral, mientras que las menores en fueron observadas en San Cristóbal y Suba. La relación global para la ciudad fue de 0,47, lo que indica que las fracciones gruesa y fina tienen igual importancia a nivel ciudad para el mes de mayo de 2017. (Tabla 15)

Tabla 15. Relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ por estación - mayo de 2017.

Mayo 2017			
Estación	Promedio $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio. PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Relación $PM_{2.5}/PM_{10}$
Guaymaral	15	27	0.54
Usaquén	17	39	0.43
Suba	21	50	0.41
Las Ferias	N.R.	N.R.	N.A.
C.D.A.R.	19	33	0.58
MinAmbiente	16	32	0.50
Puente Aranda	N.R.	45	N.A.
Kennedy	26	54	0.48
Carvajal - Sevillana	24	59	0.41
Tunal	23	44	0.52
San Cristóbal	9	24	0.38

H. Promedios ciudad para PM_{10} , $PM_{2.5}$ y O_3

En la Figura 39, Figura 40 y Figura 41 se muestran los promedios anuales a mayo de 2017 para PM_{10} , $PM_{2.5}$, y O_3 , cuyos valores son de **43 $\mu g/m^3$** , **21 $\mu g/m^3$** y **19 $\mu g/m^3$** respectivamente. Los valores reportados para PM_{10} , y $PM_{2.5}$ se calculan con base en los datos diarios de concentración y el valor de O_3 reportado es calculado con base en la media móvil 8 horas hasta el mes de corte; es decir, los promedios de la ciudad reportados en mayo de 2017 corresponde al promedio de datos de concentración diaria (PM_{10} , y $PM_{2.5}$) y 8 horas (O_3) de **151 días** (cinco meses) de las estaciones que tuvieron una captura de datos superior al 75%.

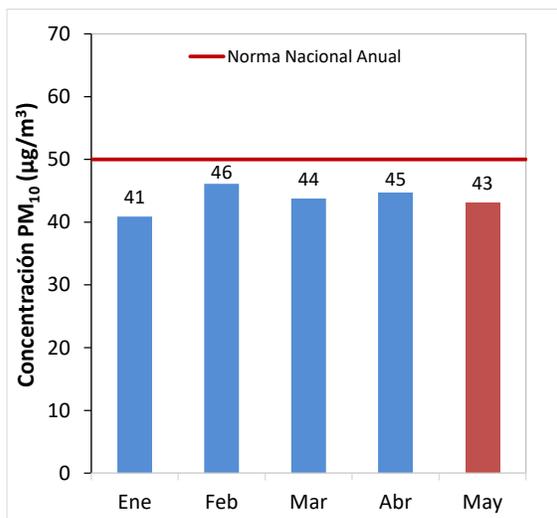


Figura 39. Promedio de PM_{10} corte a mayo 2017

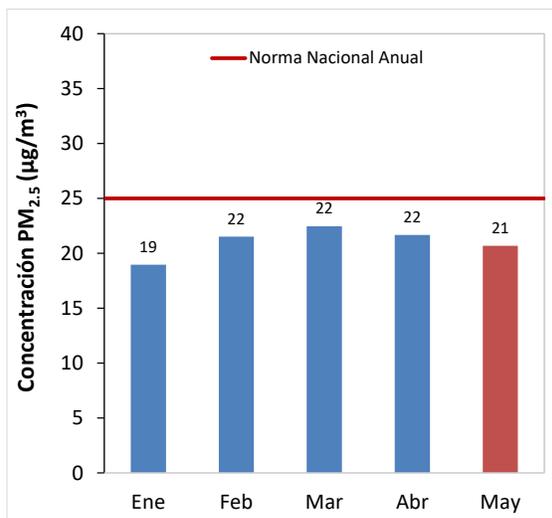


Figura 40. Promedio de $PM_{2.5}$ corte a mayo 2017

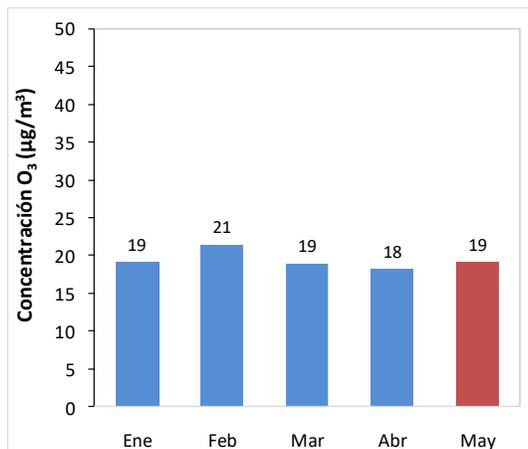


Figura 41. Promedio de O_3 corte a mayo 2017

I. Velocidades del viento promedio Ciudad

En cuanto al comportamiento diario de la velocidad del viento, en la Figura 42 se observa.

La Figura 42 muestra la variabilidad de la velocidad del viento durante el mes de mayo. Se observa que el promedio mensual de la velocidad del viento fue de 1,4 m/s con variaciones entre 0,8 a 2,2 m/s. Además, una fuerte tendencia al aumento de la velocidad con el transcurrir del mes, alrededor de 1,0 a 1,8 m/s.

En la Figura 43 se representa el perfil diario del viento a nivel horario en el mes de mayo. Allí se puede observar que en las madrugadas los promedios de las velocidades alcanzaron valores menores a 0,8 m/s. Entre las 7 AM a 11 AM se presentó un rápido incremento de 0,9 a 1,9 m/s; luego un ligero incremento de 1,9 a 2,4 m/s, entre la 1 PM y 3 PM. Entre la 3 y 8 PM la velocidad del viento descendió rápidamente de 2,4 a 1,3 m/s. Con lo anterior se deduce que la mayor mezcla y transporte de contaminantes, así como de refrigeración de la ciudad ocurre entre las 7 AM y 8 PM, con su máximo a las 3 PM.

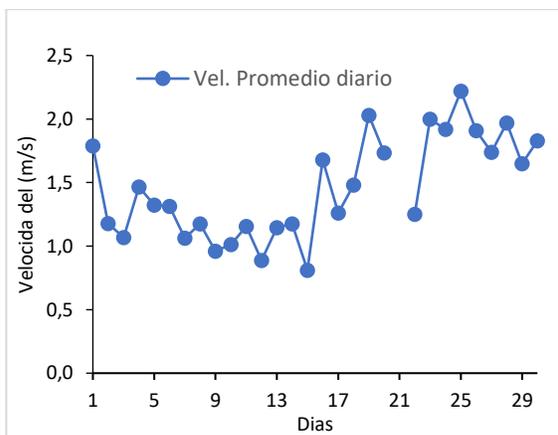


Figura 42 Velocidad media diaria del viento– mayo 2017

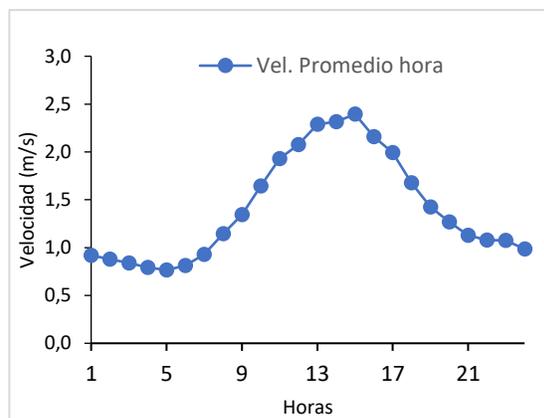
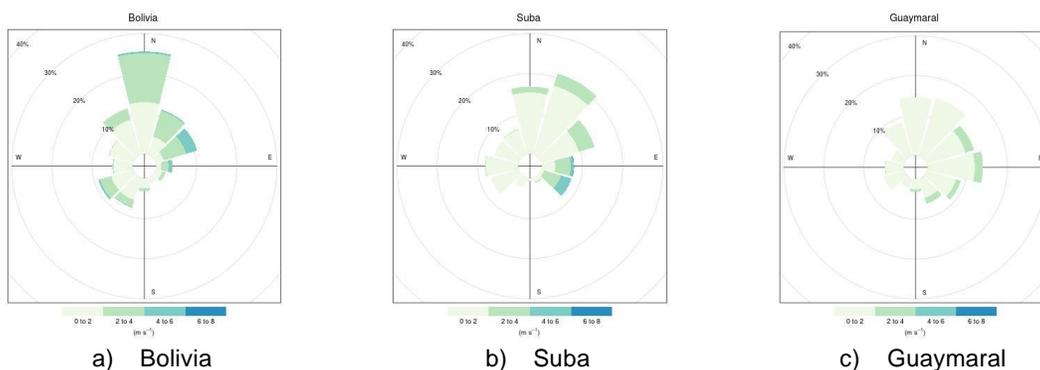


Figura 43. Perfil horario del viento - Mayo 2017

J. Rosas de viento consolidadas para mayo 2017



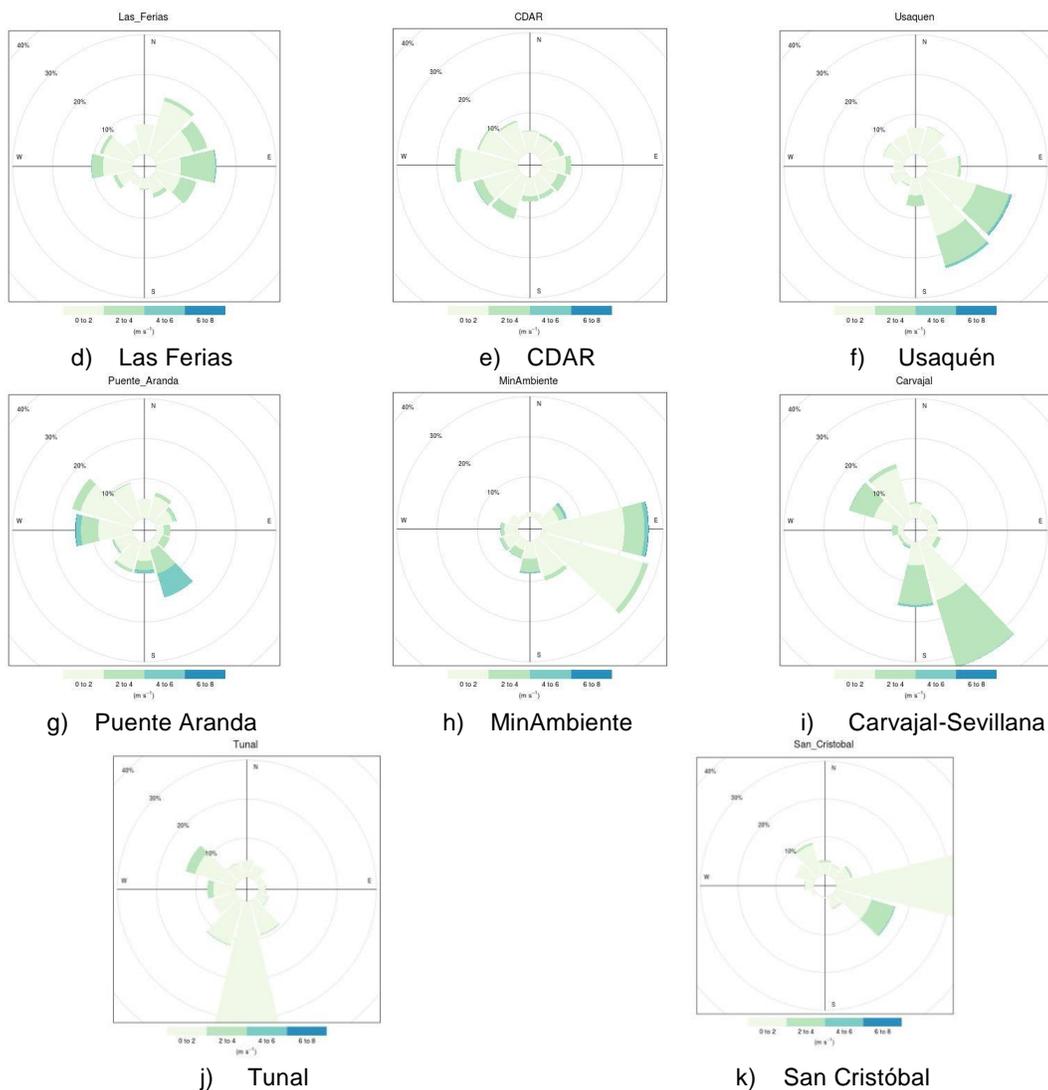


Figura 44. Rosas de viento - Mayo 2017. a) Bolivia b) Suba, c) Guaymaral, d) Las Ferias, e) C.D.A.R., f) Usaquén, g) Puente Aranda, h) MinAmbiente, i) Carvajal-Sevillana, j) Tunal, k) San Cristóbal.

K. Valores de velocidad promedio y de dirección del viento predominante en grupos horarios y diario en las estaciones de la RMCAB.

En la Tabla 16 se observan los promedios de velocidad y dirección del viento en cuatro momentos del día: madrugada, mañana, tarde y noche. Se puede apreciar que en las madrugadas la velocidad del viento es relativamente baja con valores que no superaron los 1,2 m/s. En las mañanas, con el ingreso de los primeros rayos solares, se dinamizaron los flujos de aire, incrementando su velocidad hasta los 2,1 m/s, y alcanzando su máximo en horas de la tarde 3,5 m/s, para debilitarse nuevamente en horas nocturnas con velocidades menores a 1,4 m/s.

En el mes de mayo las direcciones del viento se distribuyeron así: en las madrugadas predominaron los vientos del noreste y norte en el sector noroccidente de la ciudad (Guaymaral, Bolivia y Suba); en el suroccidente (Puente Aranda y Carvajal), vientos del

oeste y del sur; y hacia los cerros orientales (San Cristóbal, MinAmbiente Usaquén), vientos del sureste y del noroeste.

En las mañanas las direcciones predominaron los vientos del norte y noreste en el noroccidente de la ciudad. En el sector suroccidente, predominaron los vientos del oeste y del sur. En la zona oriental hubo influencia de los vientos del este, sureste y del noreste.

En las tardes, los vientos del sur predominaron hacia el sector noroccidental; vientos del noroeste en el sector suroccidente, y hacia los cerros orientales vientos del sureste. En las horas de la noche, los vientos provinieron del oeste en el sector noroccidental de la ciudad; hubo vientos del noroeste y del suroeste en la zona suroccidental; y en la zona oriental vientos del noreste y suroeste.

Tabla 16 Valores de velocidad promedio y de dirección del viento predominante en grupos horarios y diario en las estaciones de la RMCAB.

Estación	Velocidad promedio del viento (m/s)					Dirección promedio del viento (°)			
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Promedio	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche
Bolivia	1,2	2,1	2,6	1,4	1,8	340	14	185	316
Guaymaral	0,3	0,9	1,4	0,4	0,8	17	47	104	36
Usaquén	0,9	1,4	1,9	1,3	1,4	102	88	161	111
Suba	0,6	1,7	1,9	0,7	1,2	7	34	39	350
Las Ferias	1,0	1,5	2,0	1,3	1,4	17	71	169	356
C.D.A.R.	0,5	1,2	1,7	0,8	1,1	283	307	209	266
MinAmbiente	0,7	1,3	1,9	1,0	1,2	125	127	118	108
Puente Aranda	0,9	1,9	2,9	1,4	1,8	285	193	222	260
Kennedy	1,2	2,3	3,5	1,9	2,2	353	359	1	351
Carvajal	1,1	1,9	2,8	1,6	1,8	162	147	233	192
Tunal	0,5	0,9	1,5	0,7	0,9	212	197	224	225
San Cristóbal	1,1	1,2	1,9	1,3	1,4	58	23	163	245

L. Temperatura media, diaria y horario Ciudad

El comportamiento de la temperatura mensual a nivel promedio diario no presentó variaciones en el mes de mayo. Su promedio diario fue 14,8 °C con una variabilidad de 2,7 °C. (Figura 45).

En cuanto al perfil horario de la temperatura superficial del mes de mayo, en la madrugada se estimó en 11,6 °C a las 6 am y su máxima media horaria los 19,2 °C cerca de las 2 PM. Ver Figura 46).

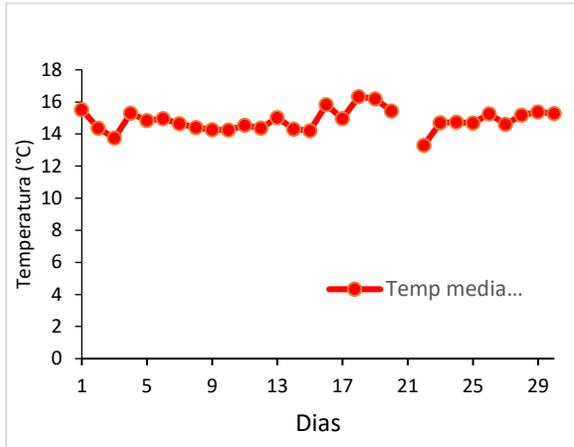


Figura 45. Temperatura media diaria – Mayo 2017

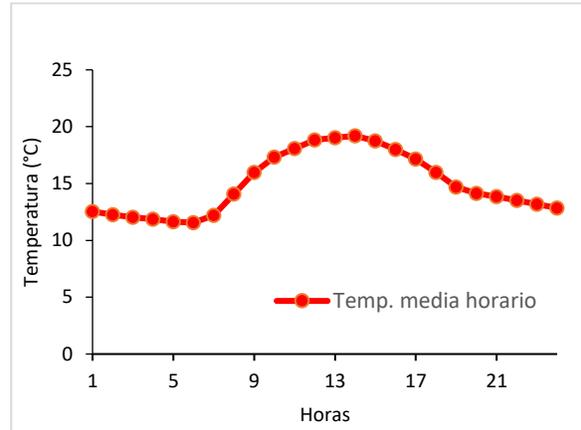


Figura 46. Perfil horario de la temperatura. Mayo 2017

FIN DEL INFORME