

2017

INFORME ANUAL DE CALIDAD DEL AIRE DE SANTIAGO DE CALI

DAGMA
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE
GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Directora DAGMA

Claudia María Buitrago Restrepo

Grupo Gestión Calidad del Aire:

Dirección Técnica:

Gisela Arizabaleta Moreno

Procesamiento y Análisis de Datos:

Jefferson Valdés Basto

Analista Químico:

Wilson Salas

Soporte Electrónico:

Arístides Benavides Hernandez

Soporte de Campo:

Jairo Copete Ramos

Soporte de Campo:

Edgar Feijoo

Gestión de Calidad:

Sindy Nova Perez



ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DAGMA
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE
GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



IDEAM Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Dirección: Av. 5ª No. 20N-08 Piso 7
Edif. Fuente Versailles, Cali - Valle
Telefono: +57 2 667-5859
Santiago de Cali – Colombia

Fecha de Expedición: Santiago de Cali, Febrero 21 de 2018

Declaración: Los resultados obtenidos en el presente informe se refieren solo al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	CONTAMINACIÓN DEL AIRE	1
1.1.1.	MATERIAL PARTICULADO	1
1.1.2.	PM10	1
1.1.3.	PM2.5	2
1.1.4.	Óxidos de Nitrógeno (NO _x).....	2
1.1.5.	Dióxido de Azufre (SO ₂)	2
1.1.6.	Ozono Troposférico (O ₃)	2
2.	DESCRIPCION GENERAL DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO.....	3
3.	CALIDAD DEL AIRE	4
3.1.	FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES DURANTE EL AÑO 2017.....	4
3.2.	COMPARACION DE CONTAMINANTES CON LA NORMATIVA AMBIENTAL NACIONAL.....	4
3.3.	ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL DIA DE LA SEMANA (GRAFICOS HORA-DIA SEMANA)	9
3.4.	COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL MES.	12
4.	INDICE DE CALIDAD DE AIRE	14
4.1.	CONTAMINANTES QUE COMPONEN EL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE	14
4.2.	RANGOS DEL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE.....	15
4.3.	EFFECTOS A LA SALUD DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE.....	15
4.4.	RESULTADOS DEL CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE.....	15
5.	ANÁLISIS METEOROLOGICO.....	18
5.1.	COMPORTAMIENTO DE LOS VIENTOS EN SUPERFICIE.....	18
5.1.1.	ROSAS DE VIENTOS	18
5.2.	PRECIPITACION.....	19
5.2.1.	Distribución de la precipitación horaria durante el año	20
5.3.	TEMPERATURA SUPERFICIAL	21
5.4.	RADIACION SOLAR	21
5.5.	HUMEDAD RELATIVA.....	22
6.	COMPARACIÓN DE LOS PROMEDIOS ANUALES DE LOS CONTAMINANTES CRITERIO SEGÚN EL PUNTO DE MONITOREO. AÑOS 2013 a 2017	23
6.1.	PROMEDIOS ANUALES.....	23

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Ubicación espacial de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Cali.....	3
Gráfico 2. Comportamiento del PM ₁₀ – Promedio 24 horas.....	5
Gráfico 3. Comportamiento del PM _{2.5} – Promedio 24 horas.....	6
Gráfico 4. Comportamiento del Ozono Troposférico en las zonas noreste y sur de la ciudad. Estaciones Base Aérea y Univalle	6
Gráfico 5. Comportamiento del Dióxido de Nitrógeno en la zona sur de la ciudad (Estación Univalle)	7
Gráfico 6. Comportamiento del Dióxido de Nitrógeno en la zona sur de la ciudad (Estación Univalle)	7
Gráfico 7. Comportamiento del Sulfuro de Hidrogeno	8
Gráfico 8. Diagrama de cajas y alambres según la hora del día del comportamiento del Material Particulado PM ₁₀	9
Gráfico 9. Diagrama de cajas y alambres según la hora del día del comportamiento del Material Particulado PM _{2.5}	10
Gráfico 10. Diagrama de cajas y alambres del Dióxido de Azufre SO ₂ según el día de la semana. Datos horarios	11
Gráfico 11. Diagrama de cajas y alambres del Ozono Troposférico O ₃ según el día de la semana. Estaciones Pance,	11
Gráfico 12. Diagrama de cajas y alambres del Ozono Troposférico O ₃ según el día de la semana. Estaciones Pance,	12
Gráfico 13. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del Material Particulado PM ₁₀ según el mes del año.....	13
Gráfico 14. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del Material Particulado PM _{2.5} según el mes del año.....	13
Gráfico 15. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del Dióxido de Azufre SO ₂ según el mes del año	13
Gráfico 16. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del Dióxido de Nitrógeno NO ₂ según el mes del año.....	14
Gráfico 17. Diagrama de cajas y alambres del Ozono Troposférico O ₃ según el mes del año. Datos horarios	14
Gráfico 18. Comportamiento máximo mensual de los valores máximos diarios del índice de calidad del aire.....	16
Gráfico 19. Diagrama de Cajas del Índice de Calidad del Aire.....	16
Gráfico 20. Rosas de los Vientos Anual.....	19
Gráfico 21. Distribución de Frecuencias de Velocidad de Vientos. Año 2017	19
Gráfico 22. Comportamiento de la Precipitación Horaria. Estaciones ERA-Obrero, La Flora y Pance.....	20
Gráfico 23. Días con lluvias durante el año 2017	20
Gráfico 24. Comportamiento mensual de la Temperatura. (Estación Compartir).....	21
Gráfico 25. Comportamiento horario de la Temperatura en el Nororiente de la ciudad durante el año 2017 (estación Compartir).....	21
Gráfico 26. Comportamiento mensual y horario de la Radiación Solar durante el año 2017 (estación Compartir).....	21
Gráfico 27. Comportamiento mensual y horario de la Humedad Relativa durante el año 2017 (estación Compartir).....	22
Gráfico 28. Comportamiento Promedio Anual del Material Particulado PM ₁₀ según la estación de monitoreo.....	23
Gráfico 29. Comportamiento Promedio Anual del Material Particulado PM _{2.5} según la estación de monitoreo.....	24
Gráfico 30. Comportamiento Promedio Anual del Dióxido de Azufre SO ₂ según la estación de monitoreo.....	24
Gráfico 31. Comportamiento Promedio Anual del Dióxido de Nitrógeno NO ₂ según la estación de monitoreo.....	24

Lista de Tablas

Tabla 1. Porcentaje de datos validos por estación durante el año 2017.	4
Tabla 2. Excedencias de Ozono troposférico según la estación de monitoreo. Norma Horaria y Octohoraria	8
Tabla 3. Clasificación del Índice de Calidad del Aire de la EPA	15
Tabla 4. Categoría de Calidad para el Índice de Calidad del Aire y sus Efectos en la Salud	15
Tabla 5. Comportamiento del ICA Diario – Anual 2017	17
Tabla 6. Porcentaje de lluvias durante el año 2017 clasificados según el mes durante el año 2017	20

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de Cali – SVCASC opera bajo la coordinación y administración del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente –DAGMA. Actualmente el SVCASC cuenta con nueve estaciones automáticas, de las cuales se reportaron información en 9 sitios alrededor de la ciudad: Estación ERA-Obrero (Centro), La Flora (Norte), Pance (Background Rural), Univalle (Sur), Base Aérea (Noreste), Cañavalejo (Suroeste), Compartir (Oriente), La Ermita (Centro) y Transitoria (Oriente).

Los resultados de las variables contaminantes y meteorológicas del año 2017 son objeto de elaboración del siguiente informe técnico sobre el estado de la calidad del aire, así como el comportamiento de la meteorología en las zonas de influencia de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.

El SVCASC fue acreditado en la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 por el IDEAM a través de la Resolución 1328 del 23 de junio de 2017 en los siguientes parámetros:

- PM_{2.5}, O₃, SO₂ en la estación Base Aérea – Acuparque
- PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ en la estación Compartir
- PM₁₀, O₃ en la estación Pance
- PM_{2.5}, O₃, NO₂ en la estación Univalle

Los resultados de las variables contaminantes y meteorológicas del año 2017 son objeto de elaboración del siguiente informe técnico sobre el estado de la calidad del aire, así como el comportamiento de la meteorología en las zonas de influencia de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.

1.1. CONTAMINACIÓN DEL AIRE

El aire limpio es un requisito esencial para la salud de los seres humanos. No obstante, la contaminación del aire es una de las problemáticas que tiene un fuerte impacto en el bienestar de las personas: la OMS en el año 2012, estimó que este fenómeno provoca cada año 3 millones de defunciones prematuras en ciudades y zonas rurales¹.

De esto nacen las políticas y normas de calidad del aire, que buscan proteger la salud pública de los ciudadanos. Nuestro país se rige por la resolución 610 de 2010, la cual fue actualizada por la resolución 2254 de 2017, que entró en vigor el 1º de enero de 2018. En ella se establecen los contaminantes criterio y los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia. A continuación, se describen los contaminantes criterios que son monitoreados por el SVCASC

1.1.1. MATERIAL PARTICULADO

El material particulado (PM de sus siglas en inglés *Particulate Matter*), es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas, las cuales contienen un amplio rango de componentes orgánicos e inorgánicos. Su masa y composición es altamente variable en términos espacio-temporales, y las condiciones climáticas y meteorológicas tienen una alta influencia sobre este.

Por lo general, el PM se define de acuerdo al tamaño o radio aerodinámico de las partículas que componen una fracción en particular, lo cual es un factor determinante del tiempo que residen en el aire, que tan lejos son transportadas, y en términos de salud, como se depositaran en el sistema respiratorio. Las normas de calidad del aire se basan en la masa de las fracciones de PM₁₀ y PM_{2.5}

1.1.2. PM₁₀

El PM₁₀ corresponde a la fracción de PM cuyo diámetro aerodinámico es menor a 10 micrómetros (µm), es decir una millonésima parte de un metro. Estas partículas pueden provenir de polvo, motores de combustión, así como por la formación de aerosoles a producto de las reacciones de otros contaminantes como NO_x y SO₂.

¹Tomado de: Calidad del aire ambiente (exterior) y salud, Nota descriptiva. Organización Mundial de la Salud.
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>

Los impactos en salud del PM10 se relacionan con su capacidad de penetrar profundamente en el tracto respiratorio. Su inhalación puede aumentar el riesgo, frecuencia y severidad de desórdenes respiratorios y cardiopulmonares.

1.1.3. PM2.5

El PM2.5 se considera material particulado fino, está formado por una mezcla de sólidos y líquidos de un tamaño menor a 2.5 μm . Está compuesto por un variado número de componentes, que dependen de la fuente de emisión. Estos incluyen nitratos, sulfatos, compuestos orgánicos volátiles (COVs), metales, partículas de suelo y polvo. El PM2.5 puede ser emitido directamente a la atmósfera o formado de manera secundaria.

1.1.4. Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

NO_x refiere a 2 contaminantes, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂); estos son producidos durante la combustión a altas temperaturas. La exposición a corto plazo al NO₂ está relacionada con la inflamación de las vías respiratorias.

El NO_x es un precursor principal en la formación de ozono troposférico, así como en la formación de smog; también contribuye, junto con el SO₂ a la deposición ácida.

1.1.5. Dióxido de Azufre (SO₂)

El SO₂ es un gas formado cuando los combustibles con impurezas de azufre son quemados. Este es principalmente emitido por las fuentes móviles, sector industrial y estaciones de energía. Se caracteriza por ser un gas irritante, afectando las partes superiores de las vías respiratorias.

1.1.6. Ozono Troposférico (O₃)

El ozono es un contaminante secundario, producido por la reacción entre los NO_x y los compuestos orgánicos volátiles, en presencia de radiación solar. Exposiciones a corto plazo pueden causar inflamación de las vías respiratorias e irritación de los ojos, nariz y garganta.

2. DESCRIPCION GENERAL DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

A continuación se muestra la ubicación espacial de las estaciones de monitoreo, los métodos de referencia avalados por la US-EPA y la estimación de incertidumbre de los equipos de medición.

	Fotos Estaciones	Que Mide	Metodos de Referencia US-EPA	Ubicación (Coordenadas de las estaciones)																																	
1 FLO		PM10	Thermo Scientific 5014i EQPM-1102-150	<div>CONVENCIONES - UBICACIÓN ESTACIÓN DE MONITOREO SVCASC</div> <table><thead><tr><th>Fig.</th><th>Est.</th><th>Ubicación</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>FLO</td><td>La Flores</td></tr><tr><td>2</td><td>ERA</td><td>ERA - Obispo</td></tr><tr><td>3</td><td>ET</td><td>Estación Transitoria - EDB Navamp</td></tr><tr><td>4</td><td>BA</td><td>Base Aérea</td></tr><tr><td>5</td><td>PA</td><td>Pance</td></tr><tr><td>6</td><td>UV</td><td>Universidad del Valle</td></tr><tr><td>7</td><td>CO</td><td>Compartir</td></tr><tr><td>8</td><td>ER</td><td>La Ermita</td></tr><tr><td>9</td><td>CA</td><td>Calaveralejo</td></tr><tr><td>10</td><td>CC</td><td>Centro de Control</td></tr></tbody></table>	Fig.	Est.	Ubicación	1	FLO	La Flores	2	ERA	ERA - Obispo	3	ET	Estación Transitoria - EDB Navamp	4	BA	Base Aérea	5	PA	Pance	6	UV	Universidad del Valle	7	CO	Compartir	8	ER	La Ermita	9	CA	Calaveralejo	10	CC	Centro de Control
Fig.	Est.	Ubicación																																			
1	FLO	La Flores																																			
2	ERA	ERA - Obispo																																			
3	ET	Estación Transitoria - EDB Navamp																																			
4	BA	Base Aérea																																			
5	PA	Pance																																			
6	UV	Universidad del Valle																																			
7	CO	Compartir																																			
8	ER	La Ermita																																			
9	CA	Calaveralejo																																			
10	CC	Centro de Control																																			
		O3	Thermo Scientific 49i EQOA-0880-047																																		
		H2S	Thermo Scientific 450i No está avalado por la US-EPA																																		
2 ERA		PM10	Thermo Scientific 5014i EQPM-1102-150																																		
		O3	Thermo Scientific 49i EQOA-0880-047																																		
		H2S	No está avalado por la EPA (Thermo Scientific 450i)																																		
3 ET		PM10	Thermo Scientific 5014i EQPM-1102-150																																		
		PM2.5	Thermo Scientific Semiautomático Partisol rP 2025 RFPS-0498-118																																		
4 BA		PM2.5	Met One Instruments BAM1020 EQPM-0308-170																																		
		O3	Teledyne T400 EQOA-0992-08																																		
		SO2	Teledyne T100 EQSA-0495-100.																																		
5 PA		PM10	Met One Instruments BAM1020 EQPM-0798-122																																		
		O3	Teledyne T400 EQOA-0992-08																																		
6 UV		PM2.5	Met One Instruments BAM1020 EQPM-0308-170																																		
		O3	Teledyne T400 EQOA-0992-08																																		
		NO2	Teledyne T200 RFNA-1194-099																																		
7 CO		PM10	Met One Instruments BAM1020 EQPM-0798-122																																		
		PM2.5	Met One Instruments BAM1020 EQPM-0308-170																																		
		O3	Teledyne T400 EQOA-0992-08																																		
8 ER		PM10	Thermo Scientific TEOM 1405 EQPM-1090-079																																		
		SO2	Thermo Scientific 43i EQSA-0486-060																																		
9 CA		PM10	Thermo Scientific TEOM 1405 EQPM-1090-079																																		
		SO2	Thermo Scientific 43i EQSA-0486-060																																		
10 CC		Centro de Control del SVCASC																																			

Ubicación (Coordenadas de las estaciones)					
Estación	Latitud	Longitud	msnm	Dirección	
1	FLO	3° 29' 25,85"	76° 31' 16,41"	959	Av. 3FN No. 52 - 46
2	ERA	3° 27' 1,51"	76° 31' 20,16"	968	Cra. 11D No. 23 - 49
3	ET	3° 25' 1,93"	76° 29' 41,05"	954	Carrera 28j con calle 72u
4	BA	3° 27' 25,66"	76° 30' 8,29"	956	Calle 44 No. 7-138
5	PA	3° 18' 19,22"	76° 31' 57,29"	978	Kilómetro 17 vía a Jamundi
6	UV	3° 22' 40,48"	76° 32' 17,2"	985	Calle 13 No 100-00
7	CO	3° 25' 42,20"	76° 28' 01,2"	952	Calle 112 No 25-28
8	ER	3° 27' 19,69"	76° 31' 51,57"	994	Cra 1 No 11-40
9	CA	3° 24' 55,40"	76° 32' 57,65"	975	Calle 4A No 50-09

Estimacion de la Incertidumbre				
Estimación de la Incertidumbre				
1. Periodo de estimación: Anual				
2. Unidad de medida (ug/m3)				
3. Equipos tenidos en cuenta: Analizadores de las estaciones Compartir, Univalle, Base aérea – Acuparque y Pance				
4. Metodología tomada de los documentos:				
✓ Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas. Eurachem Citac, Guía CG4. Tercera edición, 2012.				
✓ Evaluación de datos de medición: Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. Centro Español de Metrología, Primera edición, 2008				
PM10	PM2.5	O3	SO2	NO2
2,7	1,0	2,5	3,0	2,2

Gráfico 1. Descripción general de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Cali

3. CALIDAD DEL AIRE

3.1. FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES DURANTE EL AÑO 2017

En términos muy generales se puede aseverar que el funcionamiento de las estaciones de monitoreo ha sido exitoso, en el cual se han logrado consolidar porcentajes de datos muy cercanos al 75% durante todo el año. A continuación, se muestra la tabla 1, en la cual se hace un balance general del porcentaje de datos validos por estación durante el año 2017.

Estación	PM10 (ug/m3)	PM2,5 (ug/m3)	SO2 (ug/m3)	NO2 (ug/m3)	O3 (ug/m3)	H2S (ug/m3)	Vel Viento (m/s)	Dir Viento (Grados)	Temperatura (C°)	Humedad (%)	Radiación Solar (Watt/M2)	Lluvia (mm)
La Flora	84.6%				83.9%	87.5%					49.2%	89.5%
ERA-Obrero	97.2%				97.3%	86.4%					57.2%	96.8%
Transitoria	75.5%	(*)										
Pance	78.7%				82.6%		37.7%	37.7%		84.9%		84.9%
Univalle		83.6%		85.0%	85.8%							
Compartir	90.9%	76.0%			77.8%		93.2%	93.2%	93.2%	93.2%	93.0%	93.2%
La Ermita	95.7%		95.3%									
Cañaveralejo	67.1%		79.1%									
Base Aérea - Acuaparque		60.1%	36.5%		69.7%							

(*) Equipo Semiautomático que midió cada 5 días PM_{2.5}

Porcentajes superiores al 75%

Tabla 1. Porcentaje de datos validos por estación durante el año 2017.

(Nota: Valores de la tabla que no tienen un porcentaje es debido a que no existe el analizador en un determinado punto de monitoreo).

A continuación se hace un análisis por variable (analizador) para determinar el porcentaje de datos validos:

- **Material Particulado menor a 10 micras – PM₁₀:** Se encontró que 6 de los 7 analizadores incluidos en el informe superan el 75% de datos válidos.
- **Material Particulado menor a 2.5 micras – PM_{2.5}:** Se encontró que los analizadores ubicados en Univalle y Compartir superaron el 75% de datos válidos. El analizador ubicado en Base Aérea - Acuaparque tuvo un 60.1% de datos válidos.
- **Dióxido de Azufre SO₂:** Las mediciones de este contaminante en las estaciones Ermita y Cañaveralejo superaron el 75% de datos válidos, mientras que el analizador ubicado en Base Aérea - Acuaparque tuvo un porcentaje del 36.5%.
- **Dióxido de Nitrógeno NO₂:** Solo hay un analizador para este contaminante ubicado en la estación Univalle, el cual registro un porcentaje por encima del 75% de datos válidos.
- **Ozono Troposférico O₃:** Los analizadores de la estación Pance, Compartir, ERA-Obrero y La Flora y Univalle presentaron un porcentaje de datos superior al 75%.
- **Meteorología:** En términos generales se puede decir que la estación Compartir superó el porcentaje de datos válidos por encima del 75%.

3.2. COMPARACION DE CONTAMINANTES CON LA NORMATIVA AMBIENTAL NACIONAL

A continuación, se mostrarán algunos resultados del comportamiento de los diferentes contaminantes en las estaciones de monitoreo que registraron información en el año 2017, además de la comparación de la normativa estipulada en la resolución 610 de marzo de 2010 del MADS en el tema calidad del aire.

- ✓ **Material Particulado PM_{10} :** La grafica 2 muestra como fue el comportamiento de las partículas menores a 10 micras durante el 2017 y la comparación con la norma nacional establecida

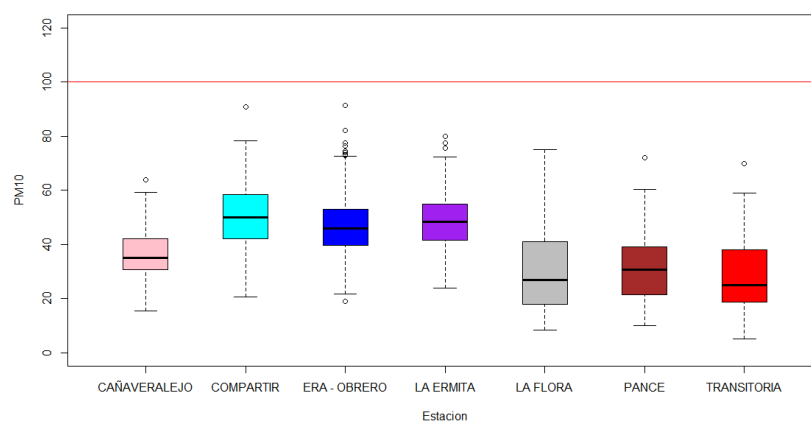
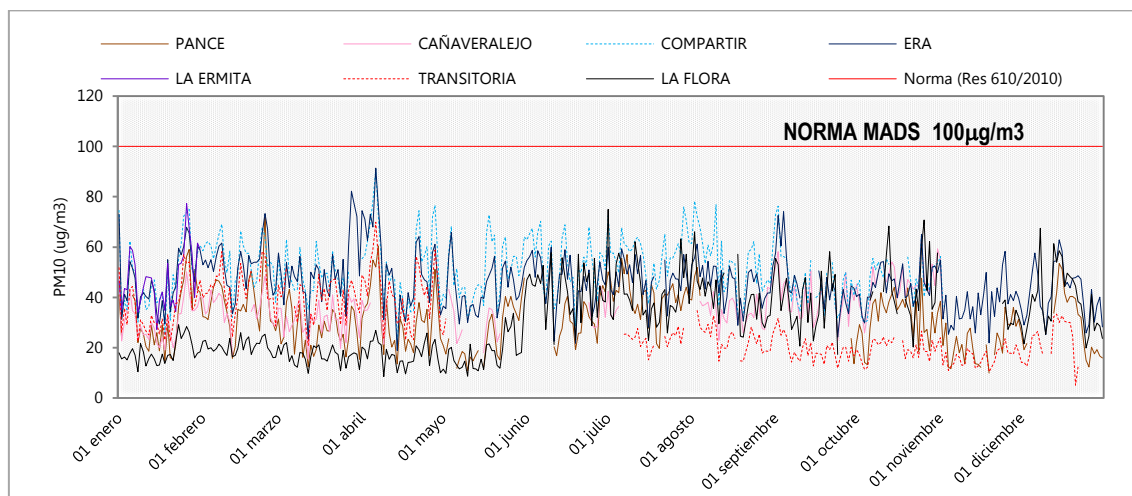
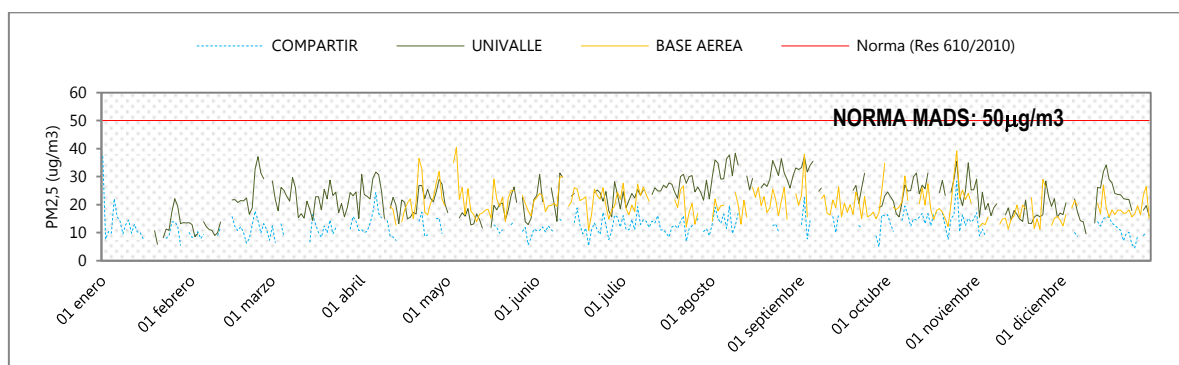


Gráfico 2. Comportamiento del PM_{10} – Promedio 24 horas.

PM_{10} promedio 24 horas: Para el caso del material particulado menor a 10 micras PM_{10} , se observó que en ninguna de las estaciones en donde se midió este contaminante durante el 2017 sobrepasó la norma diaria de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se puede apreciar que las estaciones Compartir y ERA-Obrero y Ermita registraron los valores más altos de este contaminante. El comportamiento de la contaminación en La Flora fue de los más bajos en comparación al resto de puntos en donde se midió este contaminante.

- ✓ **Material Particulado $PM_{2.5}$:** La grafica 3 muestra como fue el comportamiento de las partículas menores a 2.5 micras durante el 2017 y la comparación con la norma nacional establecida



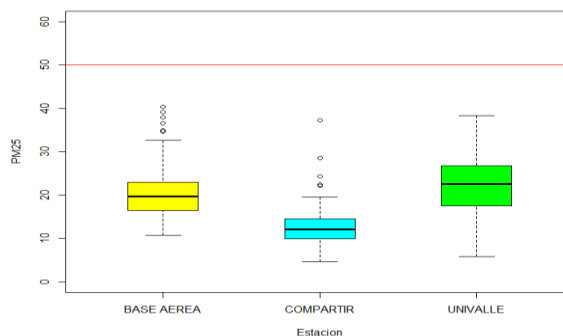
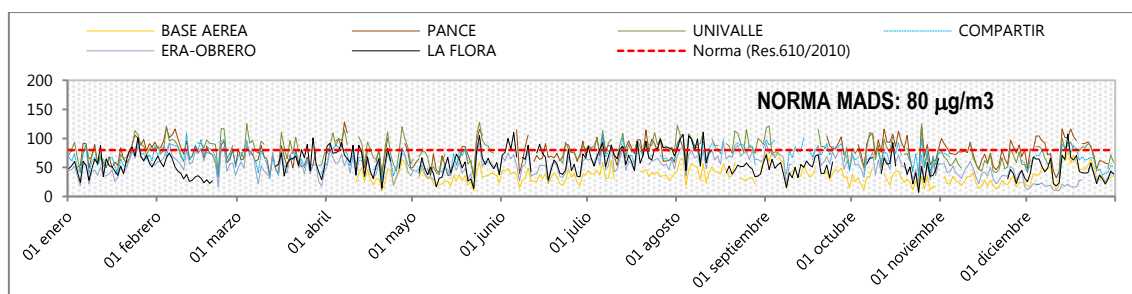


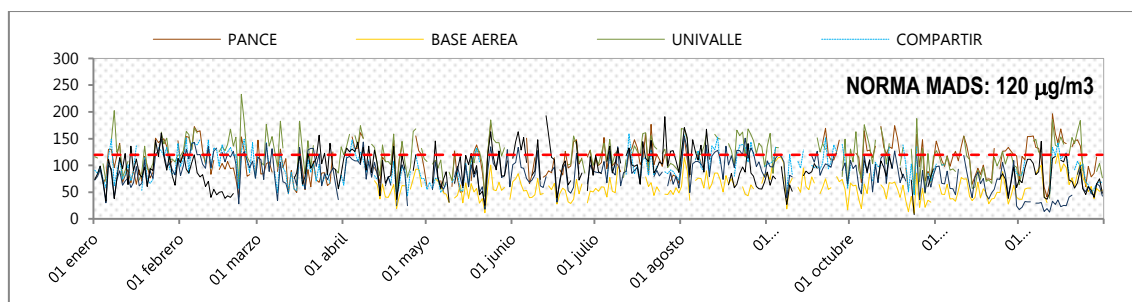
Gráfico 3. Comportamiento del $PM_{2.5}$ – Promedio 24 horas.

$PM_{2.5}$ - 24 horas: Para el caso del material particulado menor a 2.5 micras no se registró ninguna excedencia de la norma diaria de $50 \mu g/m^3$. La estación Univalle registró los más altos en comparación con los otros punto de monitoreo.

- ✓ **Ozono Troposférico O_3 :** La grafica 4 muestra como fue el comportamiento de este contaminante durante el 2017 y la comparación con la norma nacional establecida.



Ozono Troposférico - Máximo Diario, promedio móvil 8 horas



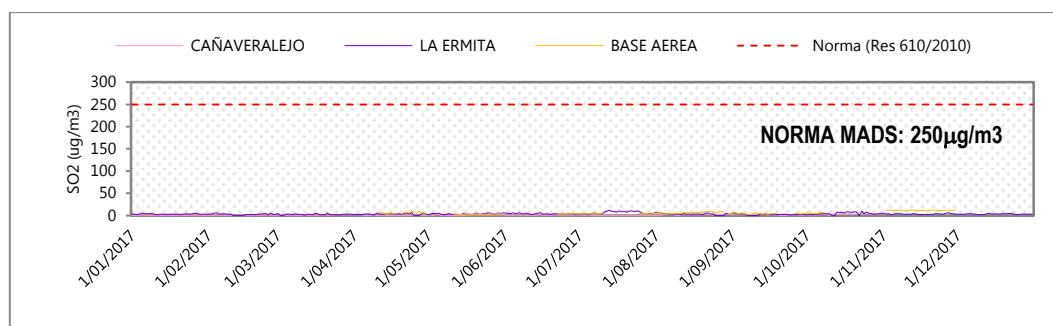
Ozono Troposférico - Máximo Diario, promedio móvil 1 hora

Gráfico 4. Comportamiento del Ozono Troposférico en las zonas noreste y sur de la ciudad. Estaciones Base Aérea y Univalle

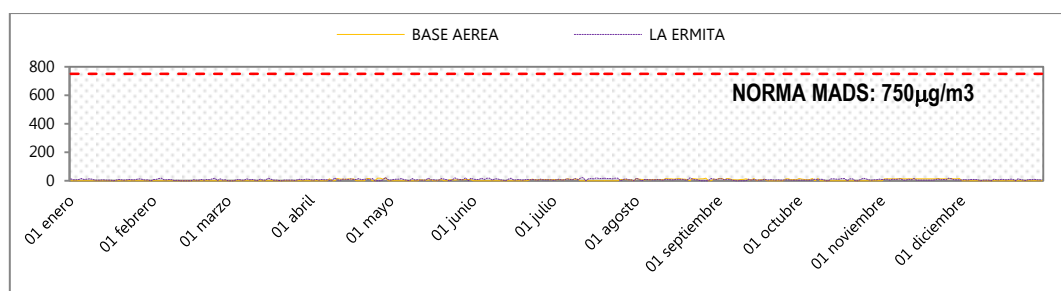
O_3 promedio 8 horas: se observó que el Ozono sobrepaso la norma de $80 \mu g/m^3$ a lo largo del año en las estaciones Base Aérea, Pance y Univalle.

O_3 promedio 1 hora: se observó que el Ozono sobrepaso la norma de $120 \mu g/m^3$ a lo largo del año en las estaciones Base Aérea, Pance y Univalle.

- ✓ **Dióxido de Azufre SO₂:** La grafica 5 muestra como fue el comportamiento de este gas contaminante durante el 2017 y la comparación con la norma nacional establecida



Dióxido de Azufre - Promedio 24 horas



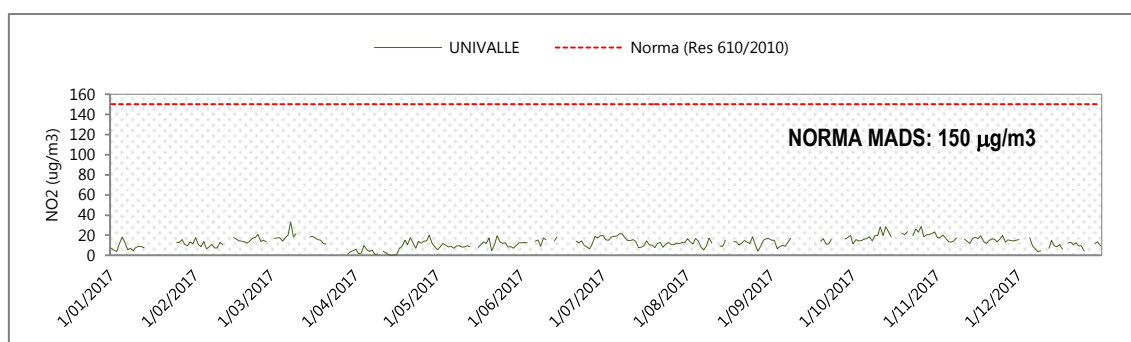
Dióxido de Azufre - Máximo Diario, promedio Móvil 3 horas

Gráfico 5. Comportamiento del Dióxido de Nitrógeno en la zona sur de la ciudad (Estación Univalle)

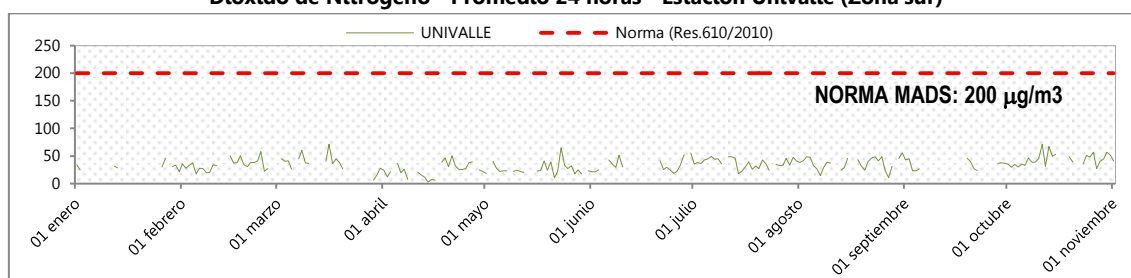
SO₂ promedio 24 horas: se observó que el Dióxido de Azufre no sobrepasó la norma diaria de 250µg/m³ a lo largo del año en las zonas donde se monitoreo este contaminante.

SO₂ promedio 3 horas: se observó que el Dióxido de Azufre no sobrepasó la norma 3 horas de 750µg/m³ a lo largo del año en las zonas donde se monitoreo este contaminante.

- ✓ **Dióxido de Nitrógeno NO₂:** La grafica 6 muestra como fue el comportamiento de este gas contaminante durante el 2017 y la comparación con la norma nacional establecida



Dióxido de Nitrógeno - Promedio 24 horas - Estación Univalle (Zona sur)



Dióxido de Nitrógeno - Máximo Diario, promedio 1 hora - Estación Univalle (Zona sur)

Gráfico 6. Comportamiento del Dióxido de Nitrógeno en la zona sur de la ciudad (Estación Univalle)

NO₂ promedio 24 horas: se observó que el Dióxido de Nitrógeno no sobrepasó la norma diaria de 150 µg/m³ a lo largo del año en la zona sur de la ciudad (Estación Univalle)

NO₂ promedio 1 hora: se observó que el Dióxido de Nitrógeno no sobrepasó la norma horaria de 200 µg/m³ a lo largo del año en la zona sur de la ciudad (Estación Univalle)

- ✓ **Sulfuro de Hidrogeno H₂S** La grafica 7 muestra como fue el comportamiento de este gas contaminante durante el 2017 y la comparación con la norma nacional establecida

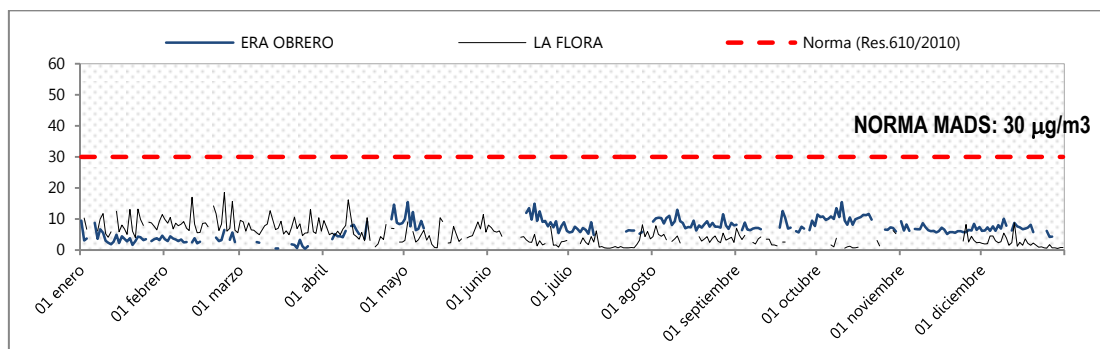


Gráfico 7. Comportamiento del Sulfuro de Hidrogeno

H₂S promedio 1 hora: se observó que el Sulfuro de Hidrogeno no sobrepasó la norma horaria de 30 µg/m³ a lo largo del año en la estaciones ERA-Obrero y La Flora.

✓ ANÁLISIS DE EXCEDENCIAS A LA NORMATIVA

Uno de los aspectos más relevantes a revisar en este informe es el tema de las excedencias a la norma por parte de los contaminantes criterio, en el cual según lo analizado anteriormente, no se registraron valores por encima de la norma en el Material Particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno. Solo se registraron excedencias en lo correspondiente al Ozono Troposférico.

Excedencias de Ozono: como bien se mencionó en el párrafo anterior, solo el Ozono Troposférico mostro excedencias tanto horarias como octorarias. La tabla 2 muestra como han sido dichas excedencias según la estación en donde se midió este contaminante. Cabe resaltar que en los 5 puntos en donde se midió este contaminante se registraron excedencias.

Excedencias 8h (Norma 80ug/m3) Norma Colombiana					
Estación	COMPARTIR	ERA- OBRERO	LA FLORA	PANCE	UNIVALLE
Excedencias	281	67	155	568	693
Porcentaje de excedencias con datos validos	4.1%	0.8%	2.1%	7.9%	9.3%
Datos validos en el Año	6791	8526	7327	7210	7426
% Datos Validos en el Año	77.5%	97.3%	83.6%	82.3%	84.8%
Excedencias 8h (Norma 100ug/m3) Norma OMS					
Estación	COMPARTIR	ERA- OBRERO	LA FLORA	PANCE	UNIVALLE
Excedencias	15	0	18	106	160
Porcentaje de excedencias con datos validos	0.2%	0.0%	0.2%	1.5%	2.2%
Datos validos en el Año	6791	8526	7327	7210	7426
% Datos Validos en el Año	77.5%	97.3%	83.6%	82.3%	84.8%
Excedencias 1h (Norma 120ug/m3) Norma Colombiana					
Estación	COMPARTIR	ERA- OBRERO	LA FLORA	PANCE	UNIVALLE
Excedencias	90	67	104	240	387
Porcentaje de excedencias con datos validos	1.3%	0.8%	1.4%	3.3%	5.1%
Datos validos en el Año	6816	8522	7346	7232	7518
% Datos Validos en el Año	77.8%	97.3%	83.9%	82.6%	85.8%

Tabla 2. Excedencias de Ozono troposférico según la estación de monitoreo. Norma Horaria y Octohoraria

La tabla anterior muestra que en la estación Univalle (Zona sur) es donde se registraron las mayores excedencias de ozono octohorarias (9.3% (Norma Colombiana) y 2.2% (Norma OMS)), mientras que la estación Compartir registró excedencias octorarias del 2% (Norma Colombiana) y 0.1% (Norma OMS). En lo que respecta a la norma horaria, se puede evidenciar que en la estación Univalle se registró el porcentaje

más alto de excedencias a la norma nacional (5.1%). En términos generales se puede concluir que los porcentajes de excedencias son bajos y estos valores se registraron entre las 10 am y las 5 pm, rango en donde se presentaron los mayores niveles de radiación solar durante el año 2017.

3.3. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL DIA DE LA SEMANA (GRAFICOS HORA-DIA SEMANA)

A continuación se hará un análisis más extendido del comportamiento de los contaminantes según la hora del día durante el año 2017.

Material Particulado PM₁₀

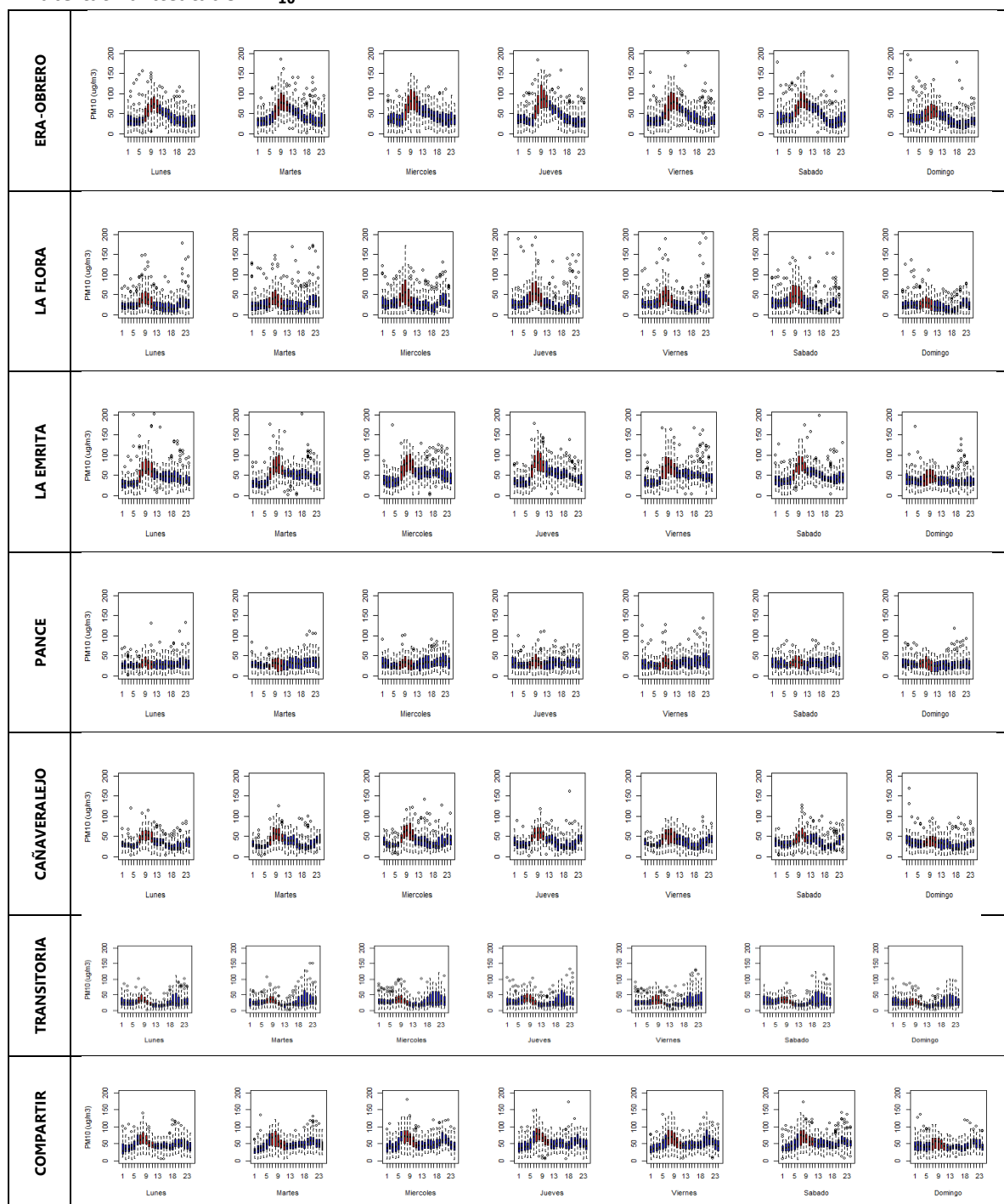


Gráfico 8. Diagrama de cajas y alambres según la hora del día del comportamiento del Material Particulado PM₁₀.

La grafica 8 muestra el comportamiento horario del PM₁₀ según la hora del día, en el cual se observa que en las estaciones ERA-Obrero, La Flora, La Ermita, Cañaveralejo, Transitoria y Compartir ocurre un aumento de los niveles de partículas en las horas pico las cuales son entre las 7 de la mañana y las 10 am en donde se llegan a tener los valores más altos. El comportamiento de este contaminante en los puntos mencionados anteriormente muestran que en general en el día Domingo se registraron los valores más bajos. La estación background (Pance) muestra un comportamiento muy homogéneo durante los días de la semana y no hay un patrón claro de aumento durante las horas del día. Los valores más bajos de PM₁₀ se registraron en esta zona de la ciudad.

Material Particulado PM_{2.5}

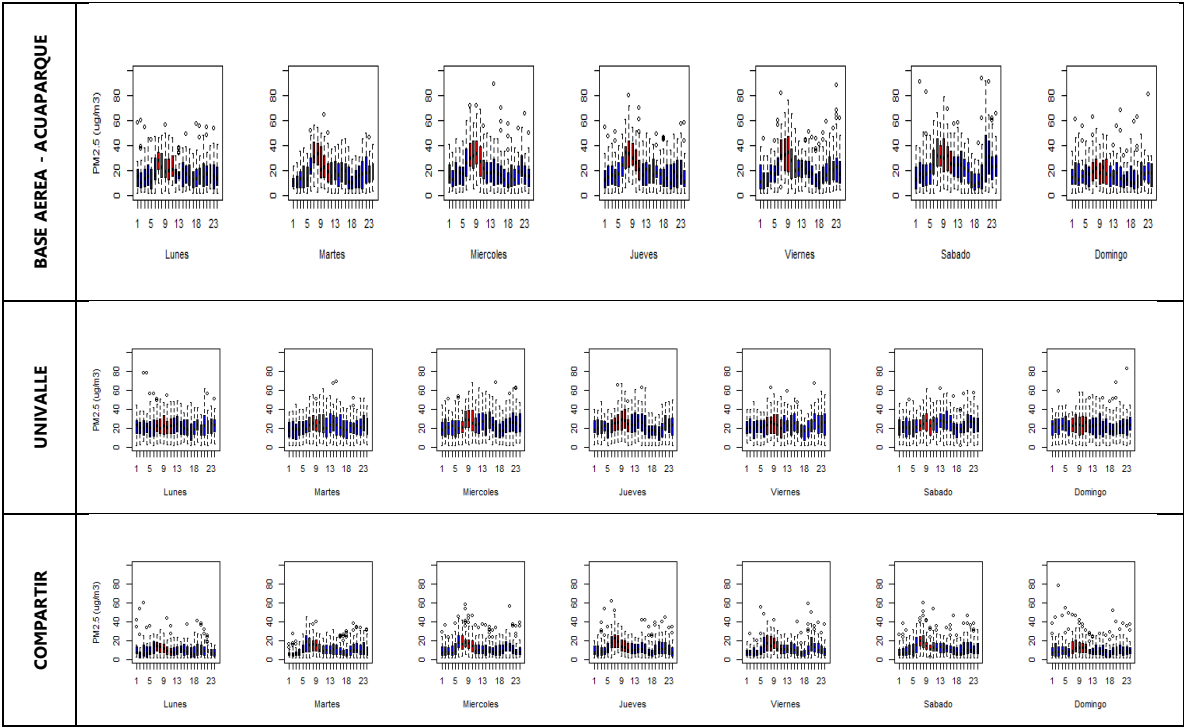
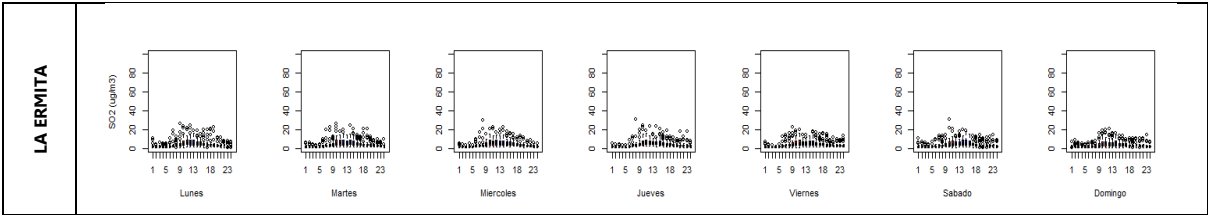


Gráfico 9. Diagrama de cajas y alambres según la hora del día del comportamiento del Material Particulado PM_{2.5}.

La grafica 9 muestra el comportamiento horario del PM_{2.5} según la hora del día, en el cual se observa que en las estaciones Base Aérea, Compartir y Univalle ocurre un aumento de los niveles de partículas en las horas pico las cuales son entre las 7 de la mañana y las 10 am en donde se llegan a tener valores máximos en las horas mencionadas anteriormente.. Los días sabados fueron donde se presentaron los mayores niveles de este contaminante, aunque hay que aclarar que estas diferencias no son tan claras gráficamente.

Dióxido de Azufre SO₂:



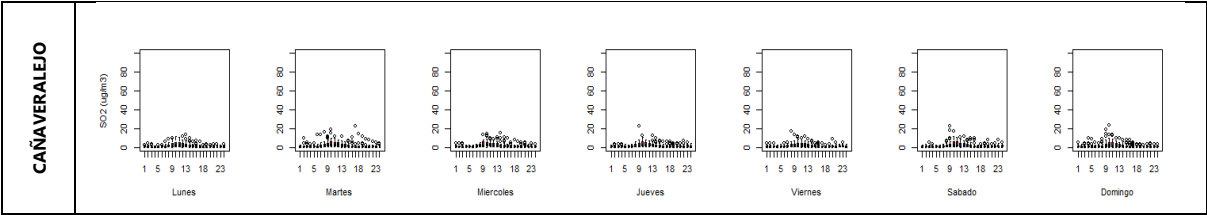


Gráfico 10. Diagrama de cajas y alambres del Dióxido de Azufre SO₂ según el día de la semana. Datos horarios

El grafico 10 correspondiente al comportamiento promedio horario del Dióxido de Azufre en la Estaciones La Ermita y Cañaderalejo muestran un aumento en los niveles de este contaminante entre las 8 y las 11 de la mañana. Hay que mencionar que este contaminante está muy por debajo de lo establecido en la normativa nacional.

Dióxido de Nitrógeno NO₂:

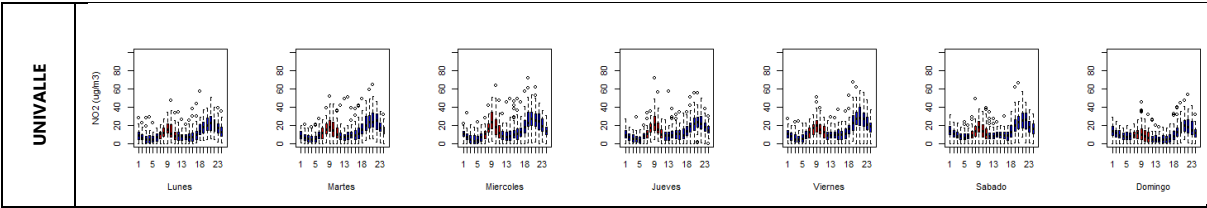
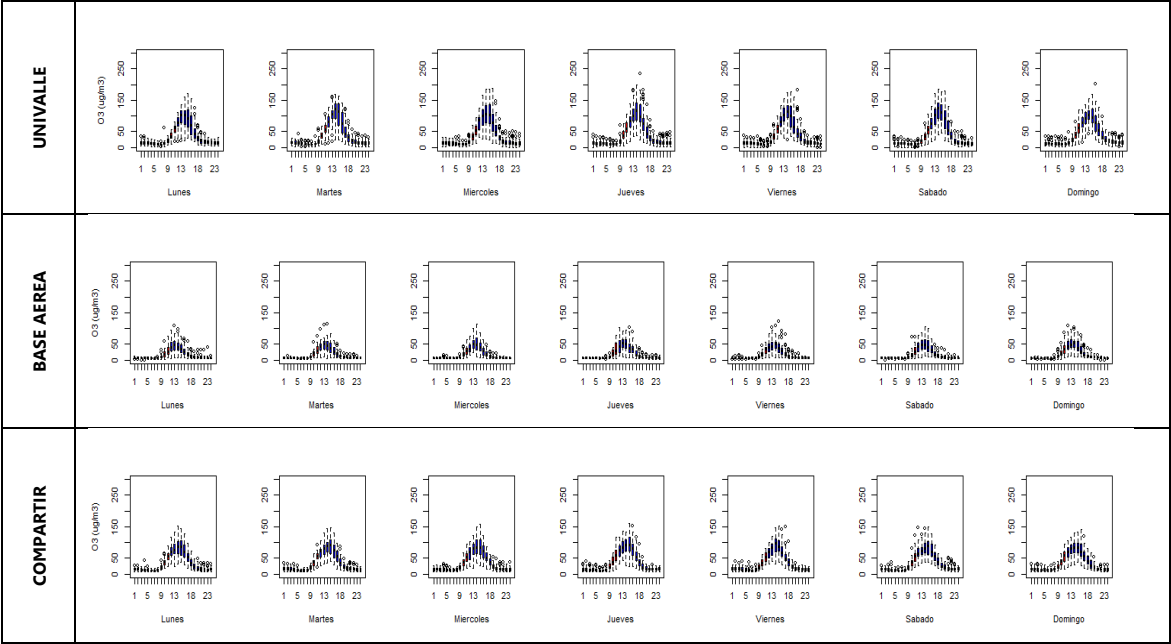


Gráfico 11. Diagrama de cajas y alambres del Ozono Troposférico O₃ según el día de la semana. Estaciones Pance,

El grafico 11 correspondiente al comportamiento promedio horario del Dióxido de Nitrógeno en la Estación Univalle muestran un aumento en los niveles de este contaminante entre las 8 y las 11 de la mañana, y un aumento más alto entre las 5 y las 9 pm esto quizás ligado muy seguramente al flujo vehicular que transita frecuentemente por esta zona de la ciudad de Santiago de Cali. Hay que mencionar que este contaminante está muy por debajo de lo establecido en la normativa nacional.

Ozono Troposférico O₃:



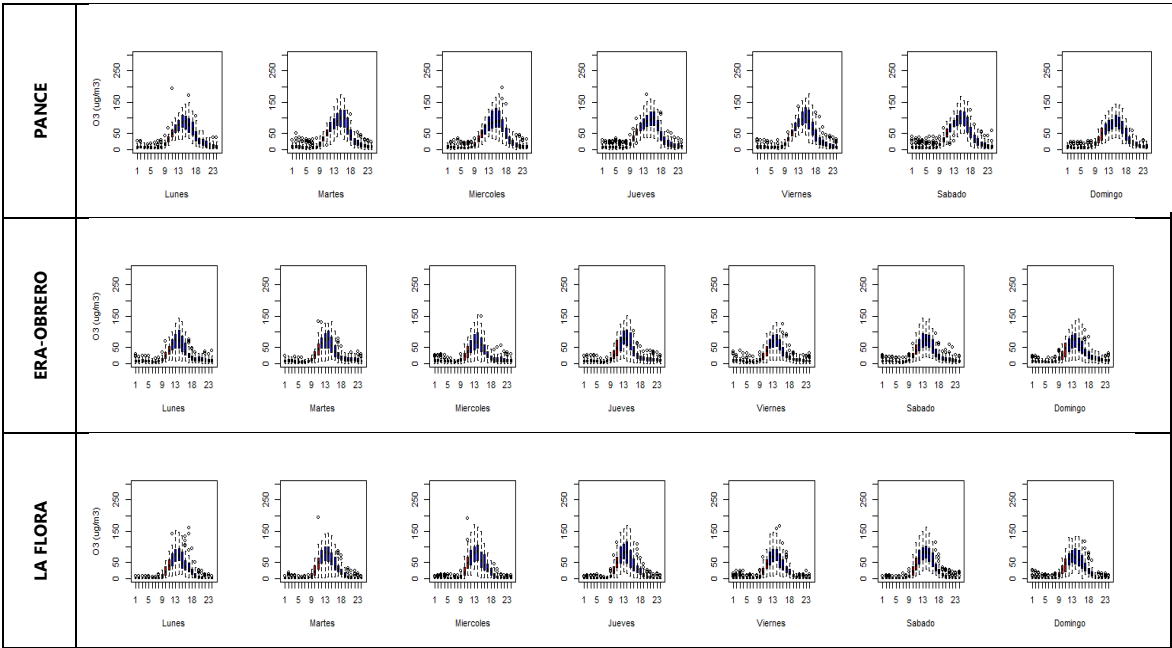


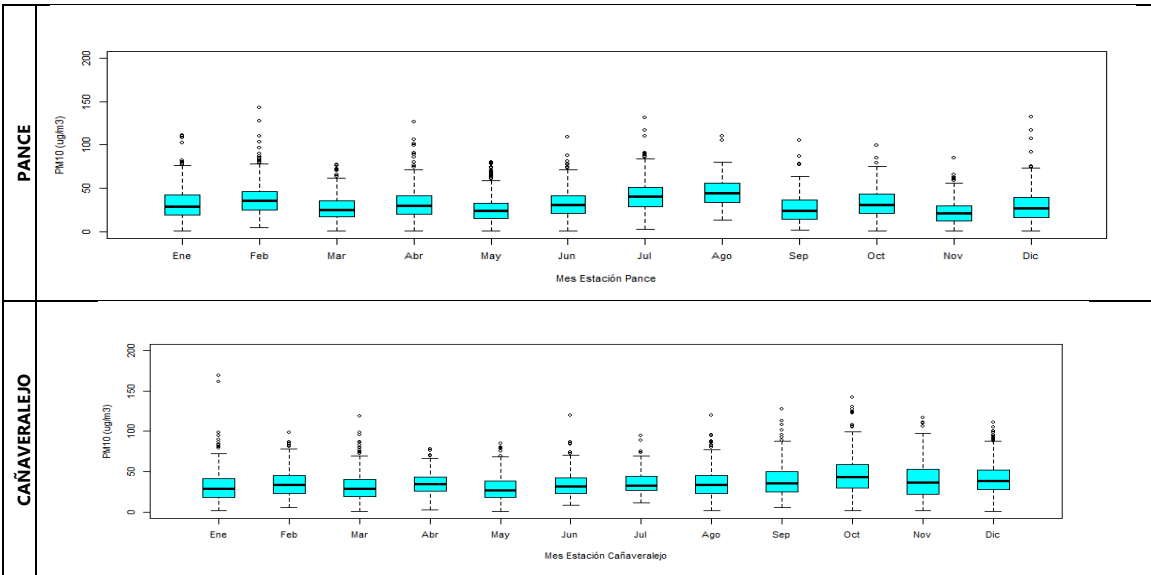
Gráfico 12. Diagrama de cajas y alambres del Ozono Troposférico O_3 según el día de la semana. Estaciones Pance,

El gráfico 12, muestra el comportamiento del promedio horario del Ozono en las estaciones ERA-Obrero, Flora, Compartir, Pance, Univalle y Base Aérea, aparentemente muy similar al comparar los días de la semana y claramente se puede observar el aumento que se presenta en las horas cercanas al mediodía, en donde se registraron los niveles más altos de radiación solar.

3.4. COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL MES.

A continuación se hará un análisis más extendido del comportamiento de los contaminantes según el mes del año.

Material Particulado PM_{10}



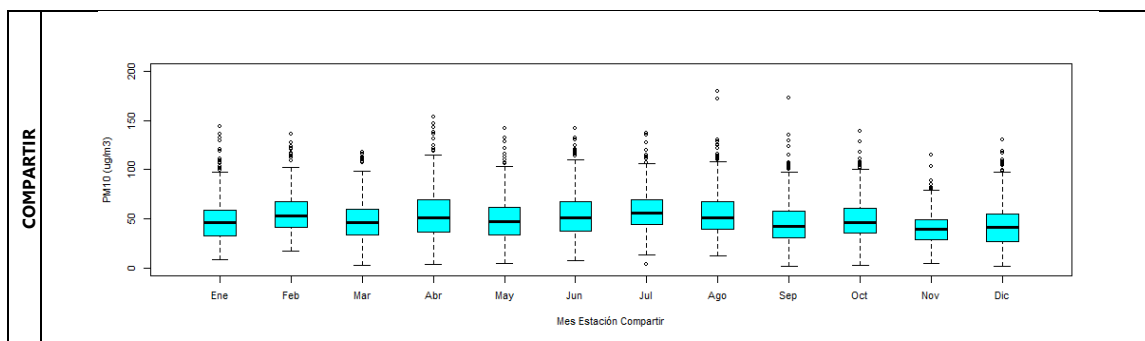


Gráfico 13. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del Material Particulado PM_{10} según el mes del año.

Se observa gráficamente que en las estaciones Compartir y Pance el mes de agosto fue el de los mayores niveles de PM_{10} , mientras que en la estación Cañaveralejo el mes de octubre fue el de mayores niveles de material particulado. Gráficamente se evidencian bastantes datos atípicos.

Material Particulado $PM_{2.5}$

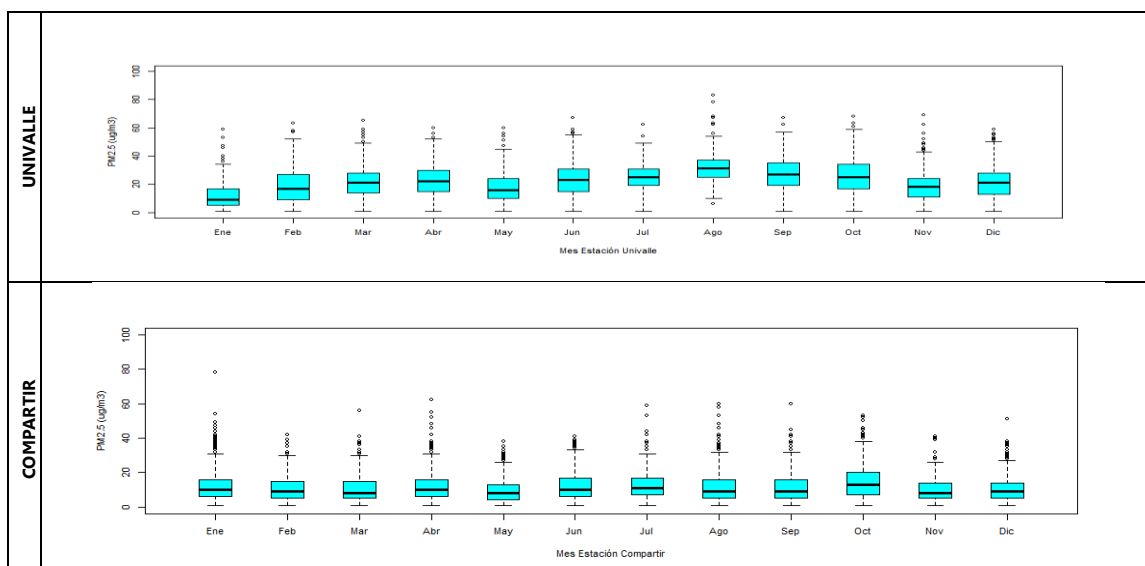


Gráfico 14. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del Material Particulado $PM_{2.5}$ según el mes del año.

Se observa gráficamente que en la estación Univalle el mes de agosto fue el de los mayores niveles de PM_{10} , mientras que en la estación Cañaveralejo fue el mes de octubre con el de mayores niveles de material particulado. Gráficamente se evidencian bastantes datos atípicos.

Dióxido de Azufre SO_2

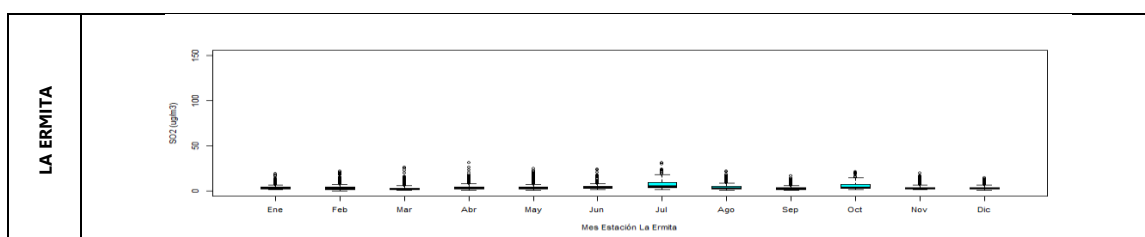


Gráfico 15. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del Dióxido de Azufre SO_2 según el mes del año

Gráficamente se puede evidenciar valores atípicos en relación con el comportamiento común del resto de datos reflejado en los diagramas de cajas. En la estación Ermita se puede evidenciar que los valores más altos en los meses de julio y octubre.

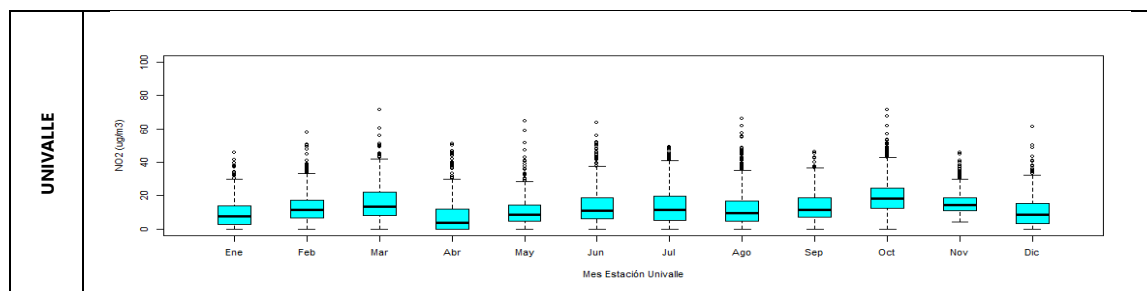


Gráfico 16. Diagrama de cajas y alambres del comportamiento del Dióxido de Nitrógeno NO₂ según el mes del año

Gráficamente se puede evidenciar que los valores más altos del Dióxido de nitrógeno en la estación Univalle se presentaron en el mes de octubre

Ozono Troposférico O₃

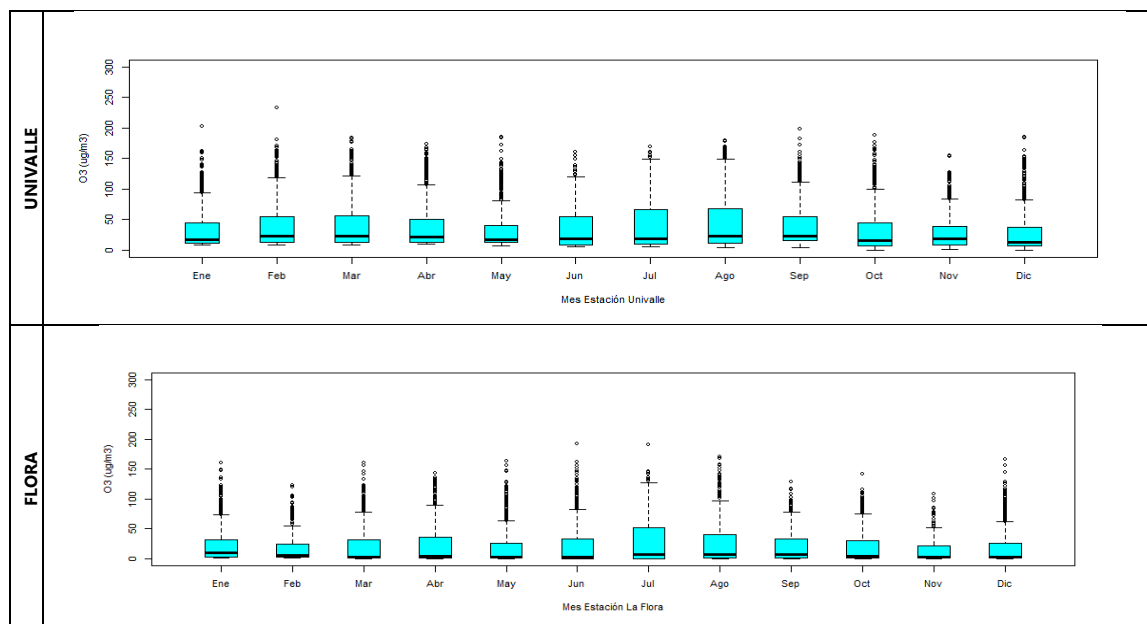


Gráfico 17. Diagrama de cajas y alambres del Ozono Troposférico O₃ según el mes del año. Datos horarios

El grafico mensual del comportamiento del ozono muestra una cantidad de observaciones consideradas como atípicas debido a la naturaleza de comportamiento de este contaminante. Siguiendo lo mencionado anteriormente, se puede evidenciar que en las estaciones Univalle y La Flora durante los meses de julio y agosto se registraron las concentraciones más altas de ozono troposférico.

4. INDICE DE CALIDAD DE AIRE

El Sistema de Vigilancia de la Calidad de Aire de Santiago de Cali en el año 2017 calculó el índice de calidad de aire (ICA), tomando como referencia el establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S - EPA) y que actualmente es implementado en Colombia adaptándolo a la normativa nacional. Este índice representa una de las herramientas más sencillas para determinar el estado en el que se encuentra la calidad del aire de las zonas de influencias de las estaciones que actualmente reportan datos en la ciudad.

4.1. CONTAMINANTES QUE COMPONEN EL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE

Los contaminantes que se tendrán en cuenta en la elaboración del índice de calidad del aire son los conocidos como los contaminantes "criterio", los cuales son los que generan Mayor impacto en la salud de las personas, estos contaminantes son: PM₁₀, PM_{2.5} y O₃.

4.2. RANGOS DEL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE

Basándose en el indicador de calidad de aire implementado por la U.S- EPA y adaptado a la ciudad de Cali, la siguiente tabla muestra los rangos en donde se encuentran cada uno de los parámetros de contaminación y la clasificación según lo planteado por la U.S- EPA.

PM10 (µg/m3) 24 Horas	CO (ppm) 8 Horas	SO ₂ (ppm) 24 Horas	NO ₂ (ppm) 1Hora	O ₃ (ppm) 8 Horas	RANGO ICA	Categoría
0-54	0-4,4	0-34	(*)	0.0-0.059	0-50	Buena. 0-50
55-154	4.5-9,4	35-144	(*)	0.06-0.075	51-100	Moderada 51-100
155-254	9,5-12,4	145-224	(*)	0.076-0.095	101-150	Dañina a la salud para grupos sensibles 101-150
255-354	12,5-15,4	225-304	(*)	0.096-0.115	151-200	Dañina a la salud 151-200
355-424	15,5-30,4	305-604	650-1.240	0.116-0.374	201-300	Muy Dañina a la salud 201-300

Tabla 3. Clasificación del Índice de Calidad del Aire de la EPA²

4.3. EFECTOS A LA SALUD DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE

A continuación se listan los posibles efectos en la salud humana según el valor obtenido en el cálculo del Índice de Calidad del Aire.

Categoría	Efecto general
Buena 0-50	La calidad del aire se considera satisfactoria, y la contaminación atmosférica plantea poco o nada de riesgo
Moderada 51-100	La calidad del aire es aceptable. Sin embargo para algunos agentes contaminadores puede haber una preocupación moderada de la salud para un número muy pequeño de la población. Por ejemplo, las personas que son inusualmente sensibles al ozono pueden experimentar síntomas de afección respiratorias.
Dañina a la salud para grupos sensibles 101-150	Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. Esto significa que es muy probable que sean afectados por niveles más bajos de contaminación. Por ejemplo, la población con enfermedades del pulmón está en Mayor riesgo si se expone al ozono, mientras que las personas con enfermedades del pulmón o con enfermedades cardíacas están en Mayor riesgo cuando son expuestas a la contaminación de partículas. Este nivel de AQI no presenta afecciones para el público en general.
Dañina a la salud 151-200	Personas pueden comenzar a experimentar efectos en la salud. Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos de salud más serios.
Muy Dañina a la salud 201-300	En este nivel se debe usar una alarma para prevenir efectos en salud de toda la población, pues todos pueden presentar problemas más serios.

Tabla 4. Categoría de Calidad para el Índice de Calidad del Aire y sus Efectos en la Salud

4.4. RESULTADOS DEL CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AIRE

Un resultado muy importante es el obtenido en el Índice de Calidad del Aire, el cual muestra cómo se mencionó anteriormente como es la calidad del aire y los efectos en salud asociados. Las estaciones las cuales se tuvieron en cuenta para el cálculo del ICA fueron ERA-Obrero, La Flora, Univalle, Pance, Base Aérea - Acuparque, Compartir, Cañaveralejo, Transitoria y La Ermita.

²Tomado del documento: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. Pág. 134. MADS, Octubre de 2010.

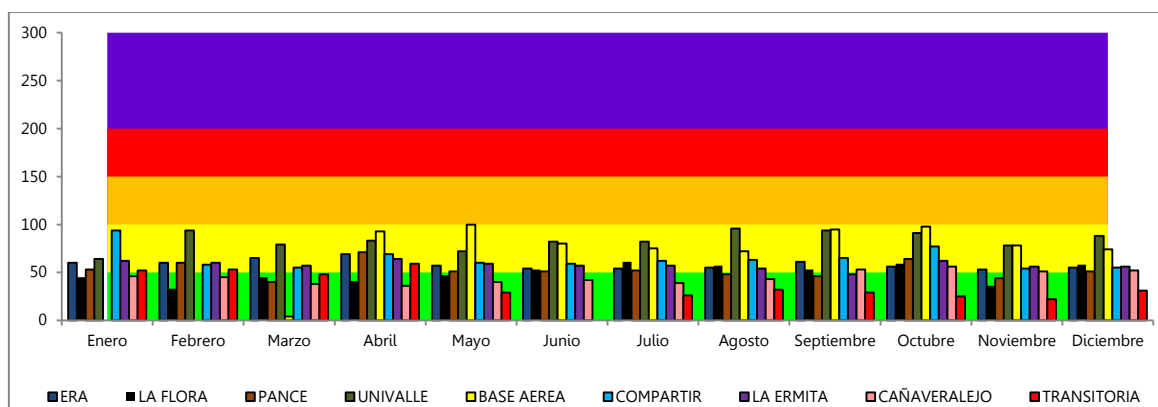


Gráfico 18. Comportamiento máximo mensual de los valores máximos diarios del índice de calidad del aire

El gráfico 18 muestra el comportamiento del máximo mensual de los valores máximos diarios de ICA obtenidos durante el año 2017 en el cual se puede apreciar que en la estaciones Base Aérea y Univalle registraron los valores más altos del ICA del año 2017. La estación Transitoria registró los valores máximos mensuales más bajos. Se puede apreciar que los más altos valores máximos de ICA se registraron en septiembre y octubre de 2017.

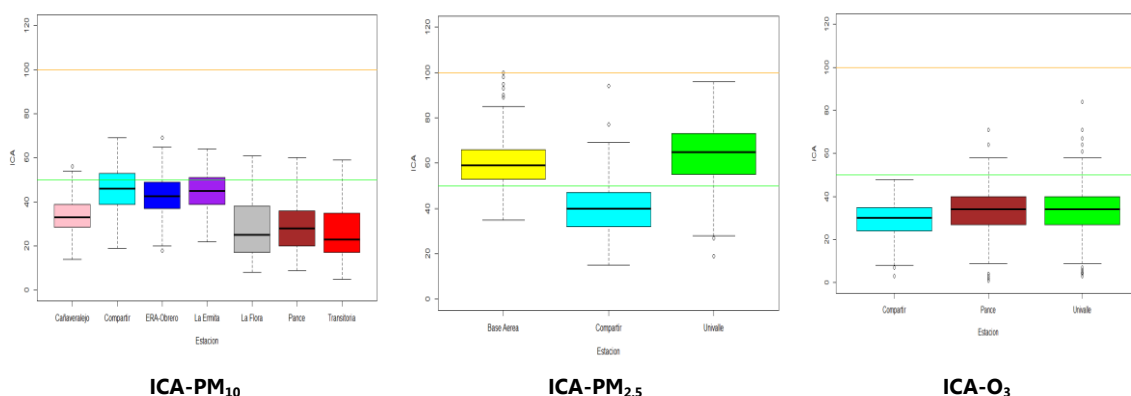


Gráfico 19. Diagrama de Cajas del Índice de Calidad del Aire

El gráfico 19 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire según el contaminante, en donde se puede evidenciar que el contaminante que más influye en el aumento de los valores de ICA, es el ICA-PM_{2.5}, en el cual los datos monitoreados por encima de 50 unidades de ICA fueron superiores al 50% (Cajas por encima de la línea verde). Salvo en algunos eventos extremos, el ICA del PM₁₀ y del O₃ están por debajo de 50 unidades de ICA.

Matriz ICA Diario – Anual 2017

Mes	Estación	Día del Mes																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Enero	ERA - Obrero	60	29	36	36	51	48	44	29	37	39	37	36	43	40	31	27	36	27	51	32	39	41	54	52	54	58	57	49	43	54	53
	La Flora	21	23	27	19	17	27	23	12	21	28	25	39	16	28	23	22	19	16	23	17	28	34	38	31	45	30	28	31	25	22	27
	Pance	38	34	11	22	23	41	40	22	31	40	25	31	27	22	30	22	27	23	37	28	26	28	40	47	45	52	53	34	47	40	41
	Univalle	31	36	41	29	19	34	39	32	30	37	24	31	22	5		28	17	21	35	28	30	34	39	50	55	64	59	43	44	44	44
	Base Aerea																															
	Compartir	94	29	36	32	64	52	46	31	42	47	33	42	41	44	35	36	39	23	47	29	45	40	52	54	60	61	61	47	46	53	54
	La Ermita	43	33	40	40	54	53	49	32	36	41	45	45	44	39	25	36	39	32	50	34	36	32	49	59	52	62	58	53	37	55	54
	Cañaverealejo	46	21	28	43	40	32	31	22	27	23	23	22	28	26	20	19	22	18	31	24	19	22	31	31	37	46	39	32	32	34	38
Febrero	Transitoria	48	24	33	27	40	41	35	21	29	27	25	23	31	28	27	24	29	21	31	21	27	35	35	40	52	50	51	32	34	39	44
	ERA - Obrero	49	51	48	51	47	52	54	55	48	42	41	31	35	48	53	49	40	52	49	51	50	52	57	60	57	44	38	40			
	La Flora	31	26	22	29	33	28	22	19	17	16	22	15	16	18	24	18	21	23	16	19	20	20	23	23	19	17	15	15			
	Pance	37	37	42	58	45	47	51	44	37	32	42	28	31	38	34	36	32	44	47	39	31	25	44	60	41	28	35	25			
	Univalle	42	33	34	61	45	43	42	38	32	33	47			47	63	64	62	63	63	65	53	58	85	94	82	78	39	31			
	Base Aerea																															
	Compartir	53	55	55	54	52	54	56	58	51	46	53	30	43	46	57	54	53	53	47	41	43	53	58	56	48	51	49	35			
	La Ermita	54	53	49	53	46	52	54	55	54	48	44	33				49	46	47	45	51	49	52	56	60	52	47	45	45			
Marzo	Cañaverealejo	37	31	32	40	45	36	37	39	28	31	28	16								32	35	29	33	39	45	39	30	27	26		
	Transitoria	37	38	39	42	41	45	45	53	40	33	41	23	31	37	50	42	37	42	47												
	ERA - Obrero	53	46	34	50	41	49	45	43	52	39	39	22	46	44	49	47	36	47	40	37	53	44	47	38	52	30	54	65	62	60	45
	La Flora	19	16	20	21	13	16	12	11	17	17	14	9	25	22	25	33	16	25	28	29	30	23	35	29	40	20	45	25	18	16	22
	Pance	36	28	28	37	40	33	27	28	39	30	28	16	32	21	18	39	30	28	31	25	35	31	24	24	30	19	24	34	32	24	29
	Univalle	77	64	56	72	70	66	63	79	72	51	54	50	62	57	47	66	66	57	71	64	77	67	69	54	61	51	58	69	66	69	49
	Base Aerea																															
	Compartir	52	41	44	55	45	43	40	40	54	44	40	33	40	40	55	51	44	46	46	40	53	47	44	37	45	32	47	37	52	46	35
Abril	La Ermita	54				50	38	49	48	47	49	43	25	49	47	55	57	40	45	40	33	56	49	47	37	50	34	57	54	54	53	34
	Cañaverealejo	33	33	22	30	24	27	29	34	36	24	26	14	31	28	29	36	24	30	31	24	38	29	19	18	32	21	38	35	37	29	22
	Transitoria	42	37	40	48			34	28	42	41	28	19	31	27	35	46	36	40	32	42	44	44	36	27	40	27	40	43	40	35	31
	ERA - Obrero	61	59	55	60	58	69	62	54	29	49	45	48	37	18	38	32	28	39	34	37	55	56	46	44	43	35	53	54	42	31	
	La Flora	38	41	33	34	34	41	32	28	26	39	16	39	34	16	30	19	14	23	28	14	23	36	27	20	24	22	34	22	22	12	
	Pance	29	37	44	42	51	48	71	48	24	36	41	35	34	22	34	34	19	27	17	31	44	30	28	33	16	49	47	34	32		
	Univalle	81	67	66	64	79	83	81	69	49	3	57	65	60	43	63	62	49	51	55	54	73	73	64	71	65	62	69	78	74	61	
	Base Aerea																															
Compartir	52	52	55	59	63	69	60	52	33	51	42	45	44	21	42	37	29	37	32	32	57	61	51	52	54	38	60	62	52	33		
Mayo	La Ermita	54	47	47	54	57	60	54	54	28	54	52	49	40	23	44	32	34	44	41	43	59	56	43	53	54	45	57	64	49	30	
	Cañaverealejo	36	32	32	35																											
	Transitoria	45	43	38	51	54	59	52	40	22	34	43	38	37	27	29	37	21	31	23	22	52	49	42	38	41	29	42	53	44	25	
	ERA - Obrero	34	33	52	57	46	36	27	37	38	28	34	35	31	30	37	37	43	45	48	52	29	36	48	51	41	48	44	36	37	42	48
	La Flora	22	15	18	29	21	16	22	17	14	14	20	22	29	18	25	32	28	22	26	18	13	11	34	47	29	26	31	24	22	26	35
	Pance	22	26	28	30	3	21	16	32	20	18	31	24	16	17	31	23	28	38	38	32	26	16	42	51	47	51	43	31	29	37	44
	Univalle	54	31	58	34	50	54	52	57	42	43	53	48	38		32	39	60	57	60	61	48	57	67	72	62	40	65	45	42	49	64
	Base Aerea																															
Compartir	38	37	53	58	41	46	37	41	41	29	32	37	40	42	41	34	57	64	58	55	56	32	39	54	56	44	47	52	52	45	49	63
Junio	La Ermita	32	41	59	59	50	40	33	49	41	37	36	42	42	38	49	35	52	52	48	53	27	41	55	55	54	52	52	33	38	41	55
	Cañaverealejo																															
	Transitoria	23	29																													
	ERA - Obrero	51	52	53	45	53	52	43	35	44	54	21	34	46	46	53	44	52	40	20	40	39	45	40	47	30	33	42	51	44	42	
	La Flora	44	46	44	41	48	42	49	29	39	53	20	9	35	52	45	39	31	33	28	53	28	50	43	46	27	52	30	41	36	35	
	Pance																															
	Univalle	67	81	62		42	72	61	46	82	79		3	66	68	16						31	69	70	68	62	69	56	52	76	67	57
	Base Aerea	65	68	66	55	59	60	61	59	70	80	11	59	62	72	71	63	64	66	35	53	71	66	64	72	59	49	56	59	69	64	
Compartir	55	57	58	52	57	59	40	35	54	55	53	35	45	56	58	50	43	45	27	47	46	52	49	58	52	44	36	53	52	47		
Julio	La Ermita	54	54	54	44	53	48	48	38	56																						

ICA – Diario ERA-Obrero: En el 2017 de los 365 días del año se registraron 355 días de medición de ICA para este punto de monitoreo representando en un 97.0%. De los 355 días de medición de ICA, el 77.7% fueron menores a 50 unidades en donde se puede observar en la tabla 5 la alta predominancia de cuadros de color verde que representan un estado de Calidad del Aire - Bueno.

ICA – Diario La Flora: En el 2017 de los 365 días del año se registraron 340 días de medición de ICA para este punto de monitoreo representando en un 92.9%. De los 340 días de medición de ICA, el 92.9% fueron menores a 50 unidades en donde se puede observar en la tabla 5 la predominancia de cuadros de color verde que representan un estado de Calidad del Aire - Bueno.

ICA – Diario Pance: En el 2017 de los 365 días del año se registraron 342 días de medición de ICA para este punto de monitoreo representando en un 93.4%. De los 342 días de medición de ICA, el 95.3% fueron menores a 50 unidades en donde se puede observar en la tabla 5 la alta predominancia de cuadros de color verde que representan un estado de Calidad del Aire - Bueno.

ICA – Diario Univalle: En el 2017 de los 365 días del año se registraron 349 días de medición de ICA para este punto de monitoreo representando en un 95.4%. De los 349 días de medición de ICA, el 28.9% fueron menores a 50 unidades en donde se puede observar en la tabla 5 que específicamente en este punto un 71.1% de los valores de ICA registraron una Calidad del Aire - Moderado.

ICA – Diario Base Aérea: En el 2017 de los 365 días del año se registraron 268 días de medición de ICA para este punto de monitoreo representando en un 73.2%. De los 268 días de medición de ICA, el 31.0% fueron menores a 50 unidades en donde se puede observar en la tabla 5 la baja predominancia de cuadros de color amarillo que representan un estado de Calidad del Aire - Moderado.

ICA – Diario La Ermita: En el 2017 de los 365 días del año se registraron 346 días de medición de ICA para este punto de monitoreo representando en un 94.5%. De los 346 días de medición de ICA, el 72.5% fueron menores a 50 unidades en donde se puede observar en la tabla 5 la predominancia de cuadros de color verde que representan un estado de Calidad del Aire - Bueno.

ICA – Diario Compartir: En el 2017 de los 365 días del año se registraron 347 días de medición de ICA para este punto de monitoreo representando en un 94.8%. De los 347 días de medición de ICA, el 58.2% fueron menores a 50 unidades en donde se puede observar en la tabla 5 la baja predominancia de cuadros de color verde que representan un estado de Calidad del Aire - Bueno.

ICA – Diario Cañaveralejo: En el 2017 de los 365 días del año se registraron 238 días de medición de ICA para este punto de monitoreo representando en un 65%. De los 238 días de medición de ICA, el 97.1% fueron menores a 50 unidades en donde se puede observar en la tabla 5 la alta predominancia de cuadros de color verde que representan un estado de Calidad del Aire - Bueno.

ICA – Diario Transitoria: En el 2017 de los 365 días del año se registraron 274 días de medición de ICA para este punto de monitoreo representando en un 74.9%. De los 274 días de medición de ICA, el 96% fueron menores a 50 unidades, en donde se puede observar la alta predominancia de cuadros de color verde que representan un estado de Calidad del Aire - Bueno.

5. ANÁLISIS METEOROLÓGICO

En este capítulo se hará un análisis muy en detalle del comportamiento meteorológico durante el año 2017, ya que se sabe que esta influye fuertemente sobre la dispersión de los contaminantes en la ciudad. Para este análisis se cuenta con información de tres estaciones (La Flora – Norte, ERA-Obrero – Centro, Compartir - Nororiente y Pance – Background Rural) las cuales monitorean meteorología.

5.1. COMPORTAMIENTO DE LOS VIENTOS EN SUPERFICIE

5.1.1. ROSAS DE VIENTOS

Las Rosas de Vientos son muy útiles para explicar la distribución de frecuencias de las corrientes de vientos tanto en dirección como en velocidad. A continuación se presentan las gráficas de rosas de vientos horarias construidas a partir de la información validada.

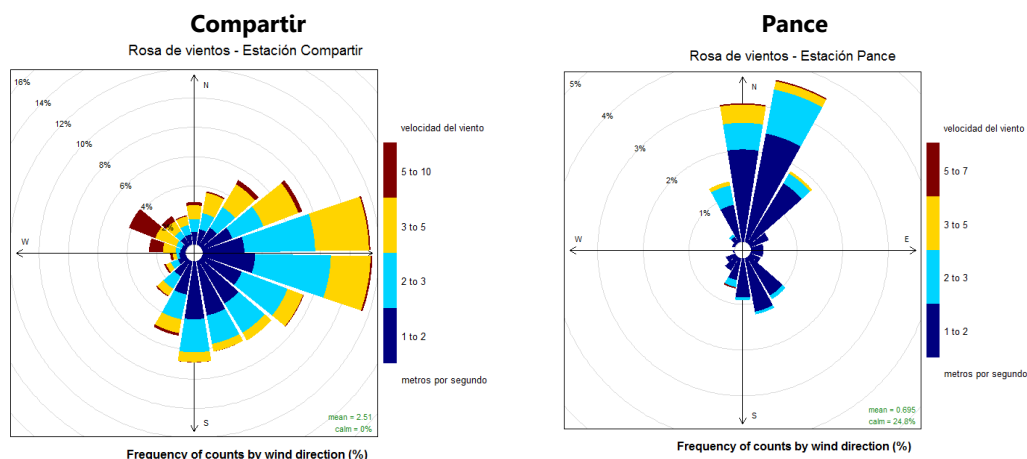


Gráfico 20. Rosas de los Vientos Anual.

La grafica 20 muestra las rosas de los vientos de las estaciones meteorológicas ubicadas en las zonas Oriente (Compartir) y Pance (Background rural – Sur). La rosa de vientos corresponde al periodo definido entre las 00:00 horas del día 01 de Enero de 2017 hasta las 24:00 horas del día 31 de diciembre de 2017. Según las rosas de vientos se puede ver que durante el año 2017 en la estación Compartir, los vientos predominantes provienen del Este, mientras que en la estación Pance los vientos predominantes provienen del norte. La distribución de los vientos se ve más claramente en el grafico 19 en el cual se observa como es el comportamiento de los vientos. Se encontró que los vientos tienen un comportamiento muy similar durante todo el año con algunas ligeras variaciones.

A partir de la distribución de frecuencias de velocidad de vientos, se construye la siguiente gráfica.

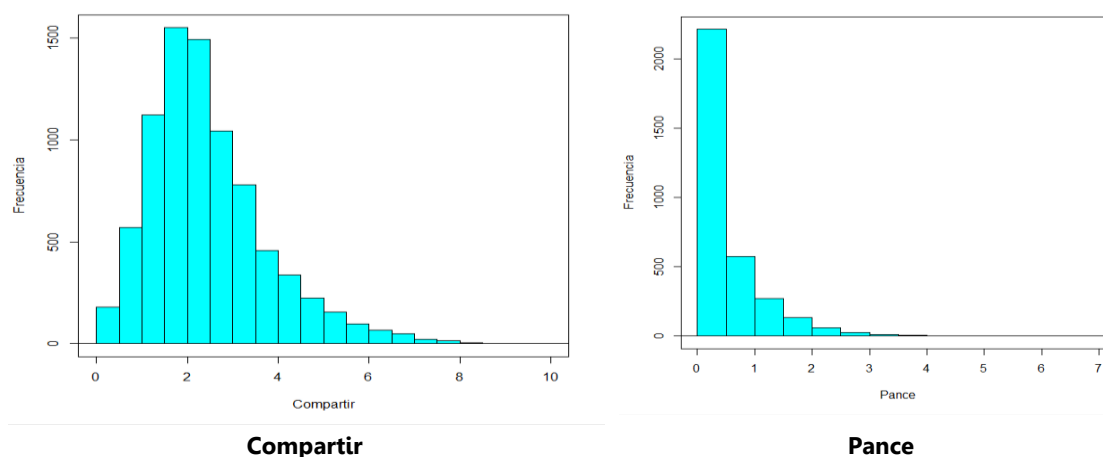


Gráfico 21. Distribución de Frecuencias de Velocidad de Vientos. Año 2017

De la gráfica 21 se observa que durante el año 2017, en las zonas donde se midió la velocidad de los vientos (Zona Oriente y background rural), se pudo observar que predominaron vientos con velocidades entre los 0 a 5 m/s, registrándose con una frecuencia en más del 95% de las mediciones de velocidad del viento. En la estación Pance se registraron vientos en su mayoría por debajo de 2 m/s.

5.2. PRECIPITACION

En este punto se hará un análisis sobre el comportamiento de la precipitación, en el que se tendrá en cuenta comportamientos y tendencias diarias y mensuales, así como en análisis de los periodos del año en donde se registraron las mayores lluvias.

5.2.1. Distribución de la precipitación horaria durante el año

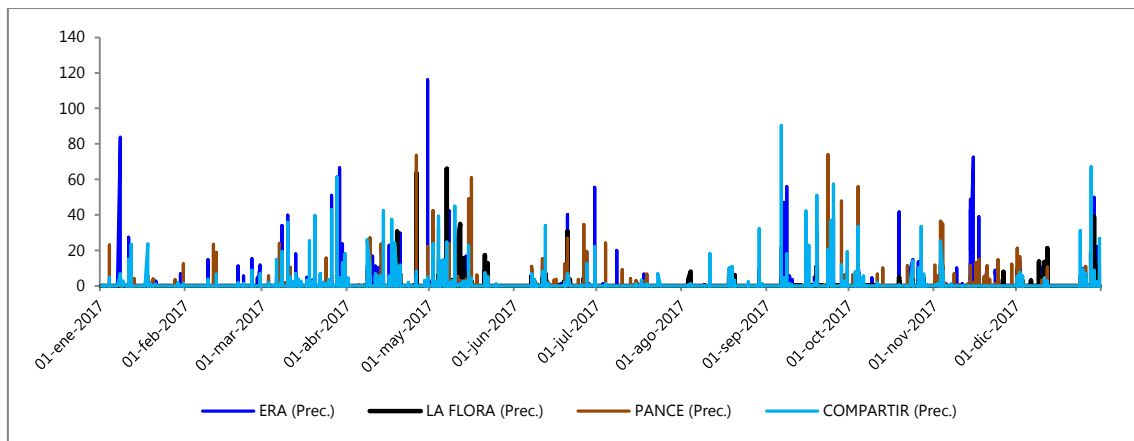


Gráfico 22. Comportamiento de la Precipitación Horaria. Estaciones ERA-Obrero, La Flora y Pance

La grafica 22 muestra el comportamiento horario de la precipitación durante el año 2017 de las estaciones ERA-Obrero, La Flora; Compartir y Pance, en el cual no se observa muy claramente los periodos del año en donde se presentaron los mayores niveles de lluvia, sin embargo la tabla 6 y gráfica 23 explica mucho mejor este comportamiento.

Mes	Compartir			ERA			La Flora			Pance		
	Días Lluvia	Días del Mes	%	Días Lluvia	Días del Mes	%	Días Lluvia	Días del Mes	%	Días Lluvia	Días del Mes	%
Ene	15	31	48.4%	9	31	29.0%	0	31	0.0%	14	31	45.2%
Feb	6	28	21.4%	7	28	25.0%	1	28	3.6%	10	28	35.7%
Mar	26	31	83.9%	23	31	74.2%	0	31	0.0%	22	31	71.0%
Abr	18	30	60.0%	17	30	56.7%	5	30	16.7%	16	30	53.3%
May	18	31	58.1%	17	31	54.8%	16	31	51.6%	18	31	58.1%
Jun	13	30	43.3%	15	30	50.0%	11	30	36.7%	16	30	53.3%
Jul	7	31	22.6%	4	31	12.9%	2	31	6.5%	10	31	32.3%
Ago	11	31	35.5%	6	31	19.4%	6	31	19.4%	0	31	0.0%
Sep	16	30	53.3%	13	30	43.3%	21	30	70.0%	6	30	20.0%
Oct	14	31	45.2%	12	31	38.7%	13	31	41.9%	13	31	41.9%
Nov	7	30	23.3%	15	30	50.0%	2	30	6.7%	20	30	66.7%
Dic	13	31	41.9%	12	31	38.7%	12	31	38.7%	12	31	38.7%
Total	164	365	44.9%	150	365	41.1%	89	365	24.4%	157	365	43.0%

Tabla 6. Porcentaje de lluvias durante el año 2017 clasificados según el mes durante el año 2017

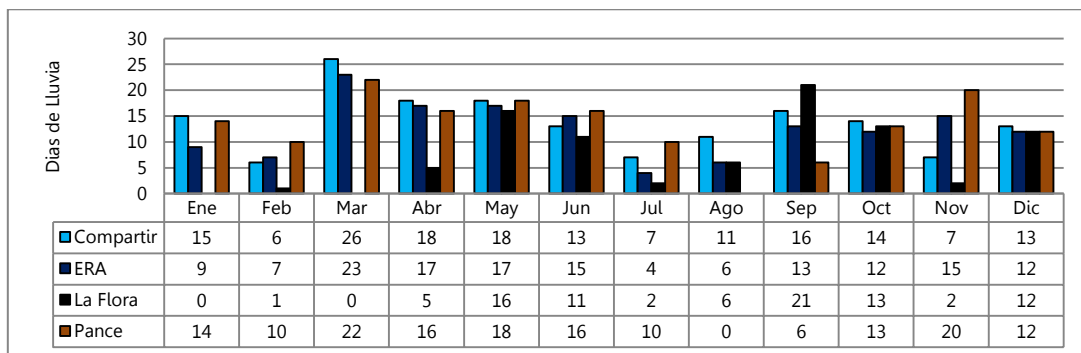


Gráfico 23. Días con lluvias durante el año 2017

Se puede evidenciar que la mayor cantidad de días de lluvias se registró durante los meses de Marzo a Mayo y de septiembre a diciembre, mientras que los meses de enero a febrero y junio a agosto fueron los de menores días de lluvia (Secos)

5.3. TEMPERATURA SUPERFICIAL

Otro aspecto a analizar es el comportamiento de la temperatura en las estaciones de monitoreo, en el cual se muestra a continuación.

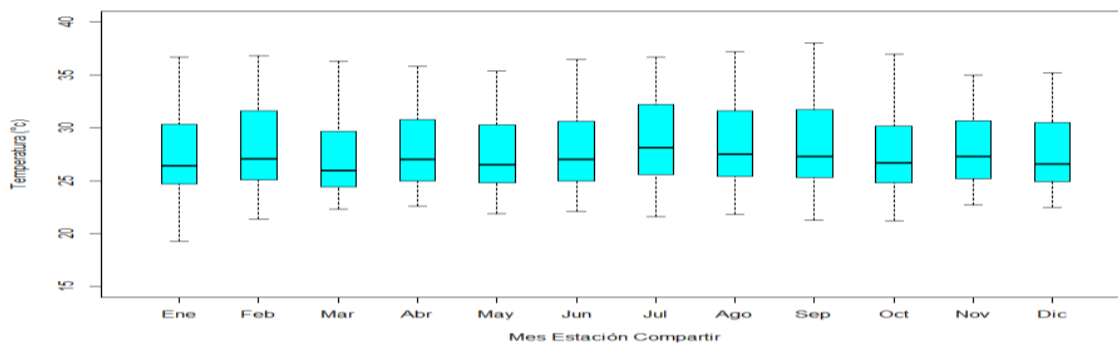


Gráfico 24. Comportamiento mensual de la Temperatura. (Estación Compartir).

La grafica 24 muestra que la temperatura en la zona nororiente (Compartir) oscila aproximadamente entre 20 y 35 grados centígrados. Los meses con mayores niveles de temperatura fueron Julio, Agosto y septiembre respectivamente.

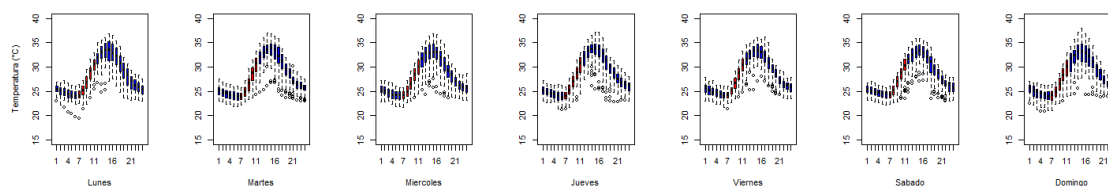


Gráfico 25. Comportamiento horario de la Temperatura en el Nororiente de la ciudad durante el año 2017 (estación Compartir).

La grafica 25 muestra el comportamiento de la temperatura según la hora de un día típico promedio en zona nororiente (Compartir), en el cual se evidencia claramente un aumento entre las 9 am y las 2 pm y no se encontraron diferencias según el día de la semana.

5.4. RADIACION SOLAR

El ciclo anual de Radiación solar en términos generales, es consistente con los ciclos de precipitación y temperatura, con valores bajos durante las temporadas de lluvias y altos en períodos secos.

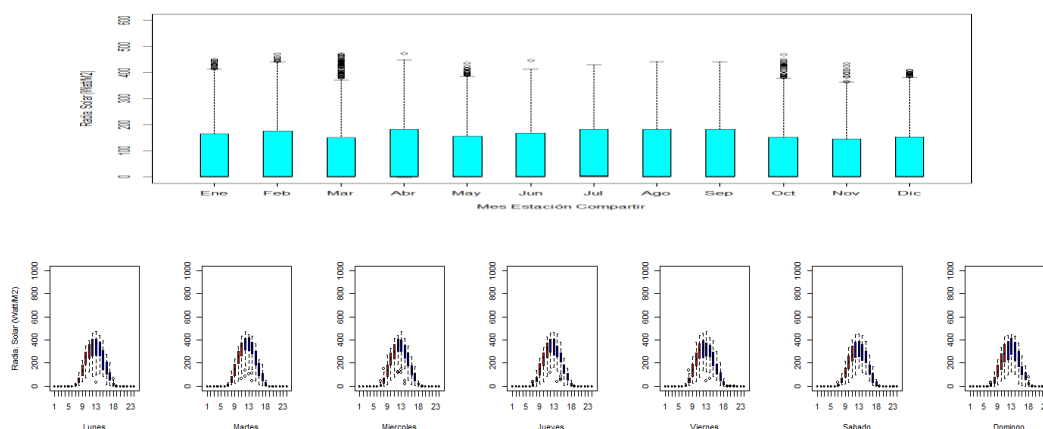


Gráfico 26. Comportamiento mensual y horario de la Radiación Solar durante el año 2017 (estación Compartir).

Se observa claramente que los niveles de radiación solar en el norte de la ciudad según la hora del día, tienen un comportamiento similar a una campana gaussiana. Los valores más altos se registraron entre las 11 am y las 2 pm, las cuales son cercanas al mediodía y muy cercanos a los 600 Watts/m². El comportamiento natural de la radiación solar hace que los niveles de ozono en la troposfera aumenten considerablemente.

5.5. HUMEDAD RELATIVA

La variación mensual de la humedad relativa se muestra a continuación

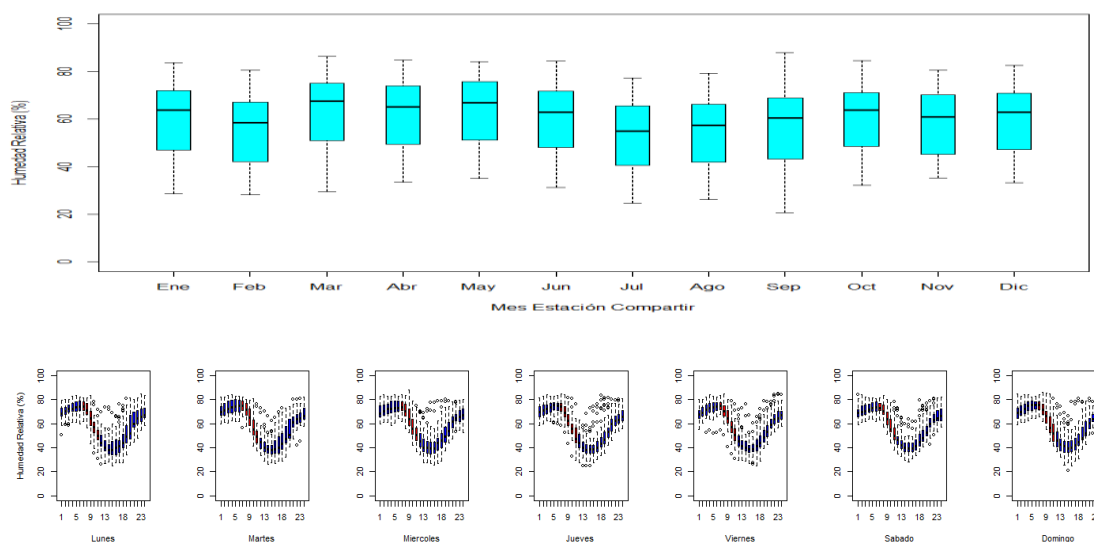


Gráfico 27. Comportamiento mensual y horario de la Humedad Relativa durante el año 2017 (estación Compartir).

Tal y como se observa en la gráfica 27 se puede ver que en la Estación Compartir en horas de la mañana se presentaron los porcentajes más altos de humedad relativa, y entre la 1pm y las 5pm se encontraron los valores más bajos de humedad.

6. COMPARACIÓN DE LOS PROMEDIOS ANUALES DE LOS CONTAMINANTES CRITERIO SEGÚN EL PUNTO DE MONITOREO. AÑOS 2013 a 2017

6.1. PROMEDIOS ANUALES

Este capítulo muestra los resultados del comportamiento de los promedios anuales de contaminantes criterio de calidad de aire en Santiago de Cali. Para determinar cómo fue el comportamiento histórico de los diferentes contaminantes criterio, se hizo una comparación de los promedios anuales de los años 2013 a 2017. Los resultados más relevantes se muestran a continuación:

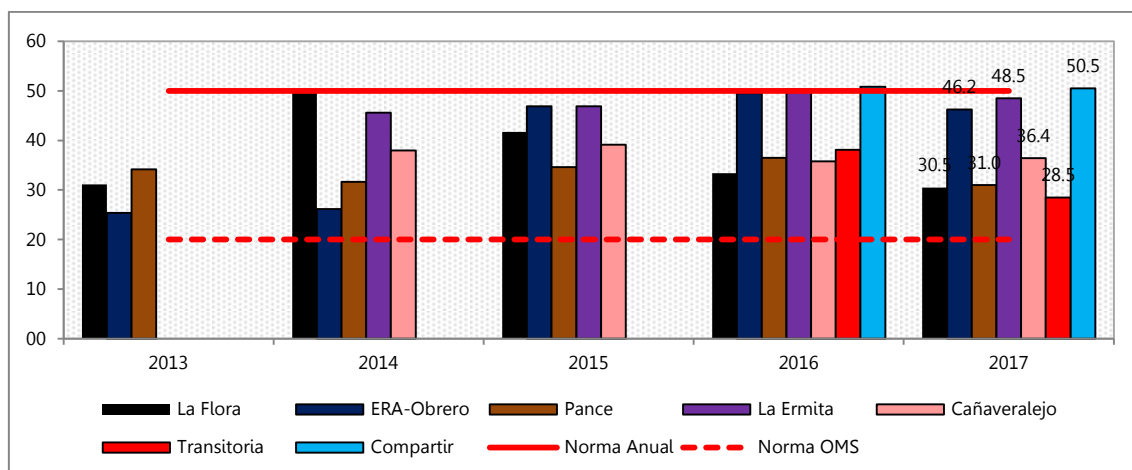


Gráfico 28. Comportamiento Promedio Anual del Material Particulado PM₁₀ según la estación de monitoreo.

Se observa que en la estación la Flora (Zona Norte de la ciudad) el promedio anual paso de 33.4 µg/m³ en el 2016 a 30.5 µg/m³ en el 2017 logrando una disminución de este contaminante.

Se observa que en la estación ERA-Obrero (Zona Centro de la ciudad) el promedio anual paso de 49.5 µg/m³ en el 2015 a 46.2 µg/m³ en el 2017, Disminuyendo en 3.3 µg/m³.

Si se hace la comparación de los promedios anuales solo para el último año de monitoreo (2017), se puede evidenciar que en la estación Transitoria (Zona oriente) se registró el menor valor promedio anual (28.5 µg/m³) y en las estaciones La Ermita y Compartir se registraron los valores más altos (48.5 y 50.5 µg/m³ respectivamente en ambas estaciones).

Durante el 2017 se registraron excedencias a la normativa anual en la estación Compartir (50.5 µg/m³) sobrepasando el límite máximo permisible de 50 µg/m³.

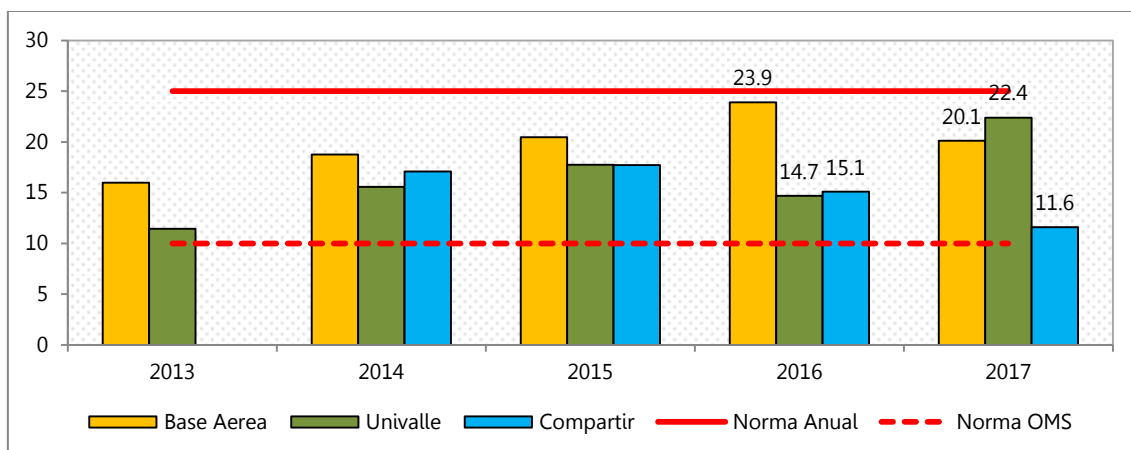


Gráfico 29. Comportamiento Promedio Anual del Material Particulado $PM_{2.5}$ según la estación de monitoreo.

** El promedio anual (2017) en la estación Base Aérea – Acuparque fue calculado con el 51% de datos válidos.

Según el gráfico 29 se puede observar que el caso de la estación Base Aérea se disminuyó el promedio anual en $3.8 \mu g/m^3$, y en la estación Compartir disminuyó en $3.5 \mu g/m^3$.

Cabe hacer hincapié en que en ninguno de los puntos de monitoreo se registraron excedencias a la normativa anual y en ningún momento se sobrepasa el límite máximo permisible de $25 \mu g/m^3$.

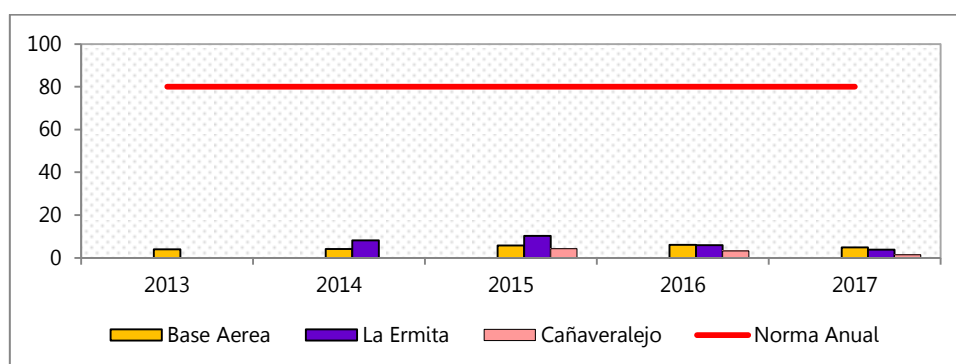


Gráfico 30. Comportamiento Promedio Anual del Dióxido de Azufre SO_2 según la estación de monitoreo.

El SO_2 se monitorea en las estaciones Base Aérea, Ermita y Cañaveralejo. Los promedios anuales registrados en los años 2013 al 2017 muestran un comportamiento muy por debajo del límite máximo permisible de $80 \mu g/m^3$.

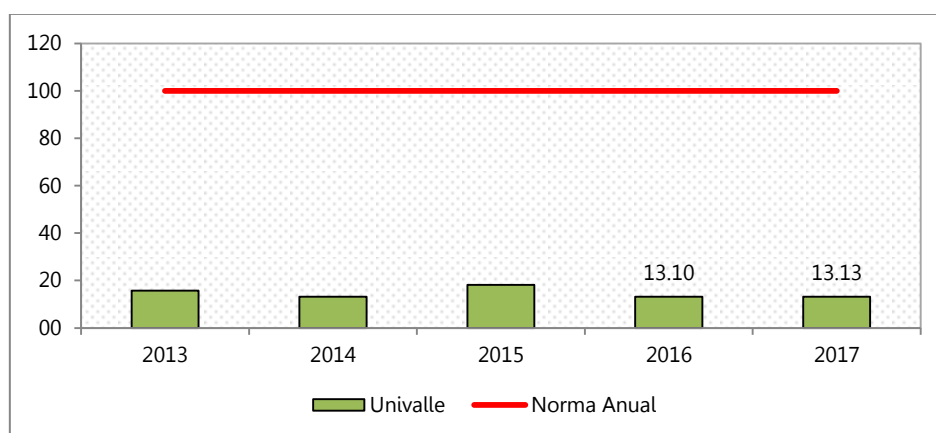


Gráfico 31. Comportamiento Promedio Anual del Dióxido de Nitrógeno NO_2 según la estación de monitoreo.

El comportamiento del promedio anual NO₂ durante los últimos años, muestra valores por debajo del límite máximo permisible de 100 µg/m³. Hay que mencionar que el promedio del año 2016 es muy similar al encontrado durante el año 2017.

Nota: El ozono no se muestra en el análisis anual porque en la normativa nacional existente (Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente) no aparece un límite máximo permisible anual para este contaminante y su norma es horario u octoraria.

Fin del Informe