



**UNIVERSIDAD
EAFIT**



Informe Mensual de Calidad del Aire. Diciembre de 2021

Contrato CCT 799 de 2021

Elaborado por:
Universidad EAFIT



Desarrollar una investigación aplicada e innovación tecnológica, en el contexto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para optimizar todos aquellos aspectos relacionados con la reducción y el manejo de eventos críticos asociados a riesgos por eventos multiamenaza y en gestión, y seguimiento de la calidad del aire en el marco del cumplimiento del PIGECA.

Elaborado por:
Alejandra Montejo Barato, Analista de datos.
Guiller Alexis Ayala Parra, Analista de datos.

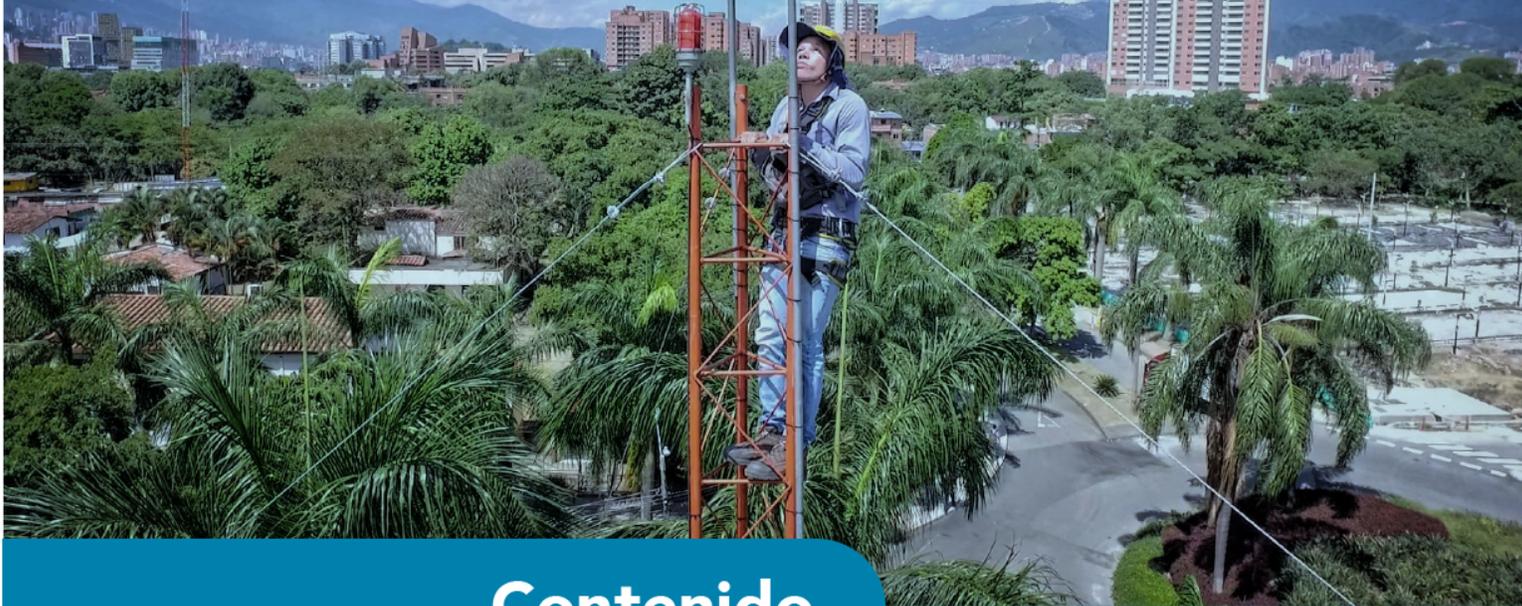
Revisado y autorizado por:
Mauricio Ramírez Arias.
Líder Calidad del Aire.



Fecha de emisión:
2022/01/18

Código:
F-GAA-RA-75
Versión:
5

Nota: Este informe no puede ser replicado sin autorización del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.



Contenido

1. Introducción	1
2. Descripción de la red	2
3. Generalidades de los Contaminantes	8
Índice de Calidad del Aire (ICA)	10
4. Material Particulado menor a 2.5 μm (PM2.5)	11
Concentración Promedio Diaria de PM2.5	12
Ciclo Diurno de la Concentración de PM2.5	14
Índice de Calidad del Aire (ICA) para el PM2.5	18
5. Material Particulado menor a 10 μm (PM10)	22
Concentración Promedio Diaria de PM10	23
Ciclo Diurno de la Concentración de PM10	25
Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM10	27
6. Ozono (O_3)	30
Concentraciones octohorarias de Ozono	30
Ciclo Diurno de la Concentración de Ozono	31
Índice de Calidad del Aire (ICA) para concentraciones horarias y octohorarias de ozono	33

7. Óxidos de Nitrógeno (NO_x)	35
Ciclo Diurno de la Concentración de NO _x	36
Concentración Promedio Diaria de NO ₂	37
Ciclo Diurno de la Concentración de NO ₂	38
Índice de Calidad del Aire (ICA) para las concentraciones horarias de NO ₂	40
Ciclo Diurno de la Concentración de NO	41
8. Monóxido de Carbono (CO)	44
Concentraciones Horarias y Octohorarias de CO.	44
Ciclo Diurno de la Concentración de CO	45
Índice de Calidad del Aire (ICA) para concentraciones octohorarias de CO	46
9. Dióxido de Azufre (SO₂)	47
Concentración Promedio Diaria de SO ₂	47
Ciclo Diurno de la Concentración de SO ₂	48
Índice de Calidad del Aire (ICA) para las concentraciones horarias de SO ₂	49
10. Meteorología	51
Ciclo Diurno de la Radiación Solar, Temperatura y Humedad Relativa	53
Precipitación	55
Vientos	57
11. Anexos	61
Anexo 1. Black Carbon	61
Anexo 2. BTEX	61

Anexo 3. PM1	61
Anexo 4. Métodos de medición	61
Anexo 5. Identificación de muestras en los equipos manuales	64
Anexo 6. Condiciones ambientales de muestreo	65
Anexo 7. Series de las concentraciones de los contaminantes criterio	70

Índice de Figuras

4.1. Estaciones automáticas de monitoreo de PM2.5.	11
4.2. Estaciones manuales de monitoreo de PM2.5.	12
4.3. Concentración diaria de PM2.5 para las estaciones automáticas.	13
4.4. Ciclo diurno de PM2.5 para las estaciones automáticas	15
4.4. Continuación	16
4.4. Continuación	17
4.4. Continuación	18
4.5. Índice de Calidad del Aire para las estaciones automáticas de PM2.5.	19
4.6. Índice de Calidad del Aire para las estaciones manuales de PM2.5.	19
4.7. Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones de PM2.5 del municipio de Medellín.	20
4.8. Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones de PM2.5 de los municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá, excepto Medellín.	20
4.9. Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones manuales de PM2.5 de los municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá.	21
5.1. Estaciones automáticas de monitoreo de PM10.	22
5.2. Estaciones manuales de monitoreo de PM10.	23
5.3. Concentración Diaria de PM10 para las estaciones automáticas. Nota: 1. En la gráfica NaN corresponde a datos faltantes. 2. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.	24
5.4. Ciclo diurno de PM10 para las estaciones automáticas	26
5.4. Continuación	27
5.5. Índice de Calidad del Aire para las estaciones automáticas de PM10.	27
5.6. Índice de Calidad del Aire para las estaciones manuales de PM10.	28
5.7. Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones automáticas de PM10.	28
5.8. Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones manuales de PM10.	29
6.1. Estaciones automáticas de monitoreo de Ozono.	30
6.2. Ciclo diurno de Ozono para las estaciones automáticas.	32

6.2. Continuación	33
6.3. Porcentaje de las distintas categorías del ICA para las concentraciones horarias de Ozono.	34
6.4. Variación porcentual de las distintas categorías del ICA para las concentraciones octohorarias de Ozono.	34
7.1. Estaciones automáticas de monitoreo de NO_x	35
7.2. Ciclo diurno de NO_x para las estaciones automáticas.	36
7.2. Continuación	37
7.3. Concentraciones de NO_2 para las estaciones automáticas.	38
7.4. Ciclo diurno de NO_2 para las estaciones automáticas.	39
7.4. Continuación	40
7.5. Porcentaje de las distintas clasificaciones del ICA para las concentraciones horarias de NO_2	41
7.6. Ciclo diurno de NO para las estaciones automáticas.	42
7.6. Continuación	43
8.1. Estaciones automáticas de monitoreo de CO	44
8.2. Ciclo Diurno de CO para las estaciones de la REDMCA.	46
8.3. Variación porcentual de las categorías de calidad de aire para las concentraciones horarias de CO en las estaciones de monitoreo.	46
9.1. Estación automática de monitoreo de SO_2	47
9.2. Concentración Diaria de SO_2 para la estación automática. Nota: En la gráfica NaN corresponde a datos faltantes.	48
9.3. Ciclo Diurno de SO_2 para las estaciones de la REDMCA.	49
9.4. Porcentaje de días en las distintas categorías del ICA para la estación de SO_2	50
10.1. Estaciones automáticas de monitoreo de Meteorología.	51
10.2. Radiación Solar, Temperatura y Humedad Relativa para las distintas estaciones.	54
10.2. Continuación	55
10.3. Precipitación horaria y acumulada para las distintas estaciones.	56
10.3. Continuación	57
10.4. Rosas de Viento diurnas para las distintas estaciones	58
10.5. Rosas de Viento nocturnas para las distintas estaciones	59
10.6. Rosas de Viento totales para las distintas estaciones.	60

11.1. Condiciones de humedad y temperatura al interior del shelter	66
11.1. Continuación	67
11.1. Continuación	68
11.1. Continuación	69
11.2. Series de las concentraciones de PM25	71
11.2. Continuación	72
11.2. Continuación	73
11.2. Continuación	74
11.3. Series de las concentraciones de PM10	75
11.3. Continuación	76
11.4. Series de las concentraciones de NO	77
11.4. Continuación	78
11.5. Series de las concentraciones de NO2	79
11.5. Continuación	80
11.6. Series de las concentraciones de NOx	81
11.6. Continuación	82
11.7. Series de las concentraciones de Ozono	83
11.7. Continuación	84
11.8. Series de las concentraciones de CO	84
11.9. Series de las concentraciones de SO2	85

Índice de Tablas

2.1. Distribución de equipos de monitoreo en las estaciones de la REDMCA	2
2.2. Clasificación de estaciones de acuerdo al tipo de zona (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2014)	3
2.3. Clasificación de estaciones de acuerdo al tipo de fuentes emisoras predominantes (Área Metropolitana del Valle de Aburra, 2014).	4
2.4. Clasificación de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire del Valle de Aburrá. . .	5
2.5. Ubicación geográfica de las estaciones de la red	7
3.1. Porcentaje de datos válidos para los contaminantes	8
3.1. Porcentaje de datos válidos para los contaminantes	9
3.2. Puntos de Corte del ICA	10
4.1. Estadísticos de las concentraciones de PM2.5 durante el mes de Diciembre de 2021 para las estaciones del municipio de Medellín	13
4.2. Estadísticos de las concentraciones de PM2.5 durante el mes de Diciembre de 2021 para los municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá diferentes a Medellín.	14
5.1. Estadísticos de PM10 para las estaciones automáticas, Diciembre 2021	24
5.2. Estadísticos de PM10 para las estaciones manuales, Diciembre 2021	25
6.1. Estadísticos Diciembre 2021 Ozono	31
7.1. Estadísticos Diciembre 2021 NO ₂	38
8.1. Resumen estadístico de las concentraciones de CO, Diciembre 2021	45
9.1. Estadísticos resumen de SO ₂ .Diciembre de 2021.	48
10.1. Estaciones meteorológicas que operaron durante el mes de Diciembre de 2021.	52
10.2. Porcentaje de datos válidos Meteorología.	53
10.3. Estadísticos Precipitación	57
11.1. Métodos y rangos de operación para los equipos pertenecientes a la REDMCA	61
11.1. Métodos y rangos de operación para los equipos pertenecientes a la REDMCA	62

11.1. Métodos y rangos de operación para los equipos pertenecientes a la REDMCA	63
11.2. Identificación de filtros de las estaciones manuales de PM10	64
11.3. Identificación de filtros de las estaciones manuales de PM2.5	65

1 Introducción

El Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA), es un proyecto de Ciencia y Tecnología y una estrategia para la gestión de riesgos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Alcaldía de Medellín. Actualmente el proyecto es ejecutado bajo el Contrato de Ciencia y Tecnología 799 de 2021 firmado entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad EAFIT, con vigencia hasta el 03 de julio de 2022 y cuyo objeto es *Desarrollar una investigación aplicada e innovación tecnológica, en el contexto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para optimizar todos aquellos aspectos relacionados con la reducción y el manejo de eventos críticos asociados a riesgos por eventos multiamenaza y en gestión y seguimiento de la calidad del aire en el marco del cumplimiento del PIGECA*. Además de garantizar la correcta operación de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire, el alcance de este contrato incluye también la caracterización de las fuentes de contaminación en el Valle de Aburrá a partir de la relación OC/EC.

El SIATA tiene como tarea fundamental alertar en tiempo real a los organismos gestores de riesgos y a la comunidad, frente a la posible ocurrencia de un evento extremo detonado por condiciones meteorológicas que pueda generar una emergencia o desastre. Con este fin se usan diferentes herramientas para monitorear en tiempo real las condiciones hidrometeorológicas de la región; se desarrollan modelos de pronóstico meteorológico e hidrológico, ajustados a las condiciones de la región; y se entrega información de manera oportuna a las entidades gestoras de riesgo de en la jurisdicción.

Desde el 1 de Agosto de 2016 se integra al proyecto SIATA la Red de Monitoreo de Calidad del aire del Valle de Aburrá (REDMCA), proyecto que es operado por la Universidad EAFIT, mediante contrato con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Se garantiza entonces mediante la generación de datos confiables, los cuales permiten un análisis detallado del estado de la calidad del aire en la región, el desarrollo de ciencia y tecnología para la toma de decisiones. De igual forma, se apoya de manera priorizada la gestión de eventos críticos relacionados con la calidad del aire de los municipios de la jurisdicción, entregando reportes de situaciones críticas de manera permanente y ante alteraciones de las condiciones ambientales de la región que puedan ser monitoreadas por el sistema.

Las condiciones meteorológicas han sido identificadas como un elemento esencial para el pronóstico, entendimiento y planificación de la calidad del aire dentro de la región metropolitana, siendo la atmósfera el medio donde se liberan, transportan y dispersan los contaminantes. La topografía compleja del Valle de Aburrá favorece, bajo condiciones de estabilidad atmosférica, la acumulación de contaminantes cerca de la superficie, especialmente durante las primeras horas de la mañana y durante las horas posteriores al atardecer.

En este informe se presenta el análisis de los registros obtenidos de la REDMCA para contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas durante el mes de Diciembre de 2021. Igualmente se presenta el cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA) para cada uno de los contaminantes criterio monitoreados en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la sección de Anexos se reportan los resultados del monitoreo de las concentraciones de black carbon y de BTEX (Anexos 1 y 2), los métodos y rangos de operación de los equipos de la red de medición (Anexo 3), la identificación de los filtros utilizados en los equipos manuales de PM10 y PM2.5 (Anexo 4), así como la variación de las condiciones ambientales al interior de las estaciones en las que se realiza seguimiento de estas variables (Anexo 5) y el comportamiento de las series horarias para los diferentes contaminantes monitoreados durante el mes (Anexo 6).

2 Descripción de la red

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Valle de Aburrá está constituida por 37 puntos de monitoreo distribuidos en los 10 municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Dirección: Carrera 53 # 40A - 31, Contacto: Tel = +574 385 6000 ext. 404, Correo = ana.orrego@metropol.gov.co). Estos puntos de monitoreo están dotados de equipos tanto automáticos como manuales, los cuales permiten hacer seguimiento de los contaminantes criterio definidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS-. La Red de Calidad de Aire se complementa con la información obtenida de la Red de Monitoreo de Ruido ambiental compuesta por 8 estaciones.

MUNICIPIO	SIGLA	Equipos de Monitoreo												
		Black Carbon	BTEX	PM1	PM10 (S)	PM10	PM2.5 (S)	PM2.5	SO ₂	NOX	CO	O ₃	Met.	Ruido Ambiental
BARBOSA	BAR-HSVP				x									
	BAR-TORR							x						
	BAR-PDLA										x	x		
GIRARDOTA	GIR-BOTJ													x
	GIR-EPM					x		x	x	x	x	x		
COPACABANA	COP-HSMA				x									
	COP-CVID							x					x	
BELLO	BEL-JEGA						x							
	BEL-USBV					x						x	x	
	BEL-FEVE							x						
MEDELLÍN	MED-ARAN							x						
	MED-ALTA							x						
	MED-BEME							x						
	MED-FISC							x		x		x	x	
	MED-SELE							x				x	x	
	MED-MIRA				x							x	x	
	CEN-TRAF	x	x	x		x		x	x	x				x
	MED-EXSA					x								
	MED-ITMR					x				x				
	MED-UDEM													
	MED-CORA				x							x	x	
	MED-ZOOL													x
	MED-PJIC				x		x			x	x		x	
	MED-PJIR													x
	MED-LAYE								x			x	x	
	MED-SCRI								x					
	MED-SIAT													x
	MED-TESO								x					
	MED-VILL								x					
	ITAGÜÍ	ITA-PTAR				x								
ITA-CJUS					x	x		x		x			x	
ITA-POGO		x			x							x	x	
ITA-CONC						x		x						
ITA-RESU								x						
ITA-SAMA														x
ENVIGADO	ENV-HOSP													x
	EST-MAGO				x									
ESTRELLA	EST-HOSP													
	SUR-TRAF				x	x		x						
SABANETA	SAB-SEMS									x				
	SAB-SAME							x						
	CAL-JOAR							x						
CALDAS	CAL-LASA				x							x	x	
TOTALES	44	2	1	1	10	9	2	23	2	7	2	9	14	8

Tabla 2.1: Distribución de equipos de monitoreo en las estaciones de la REDMCA

De acuerdo a lo reportado en la Tabla 2.1, durante el mes de Diciembre de 2021, se hizo seguimiento a las concentraciones de material particulado, mediante equipos automáticos, en 32 puntos de monitoreo: 23 de PM2.5 y 9 de PM10. Así mismo, estuvieron en funcionamiento 10 equipos manuales con resolución temporal diaria para la medición de PM10 y 2 para la medición de PM2.5, reportados en color azul en la Tabla 2.1 dado que no tienen comunicación en tiempo real. Cabe agregar que en el punto de monitoreo ubicado en la unidad residencial Reservas del Sur del municipio de Itagüí, estación ITA-RESU, operó un equipo automático tipo Aeroqual, el cual se utilizó como equipo de campaña para evaluar la influencia

de la zona industrial cercana a la unidad residencial. Este equipo no tiene aprobación por agencias ambientales, por lo cual no se incluye en la acreditación de la red de monitoreo y sus resultados no se reportan en este informe. El seguimiento a las concentraciones de material particulado PM10 y PM2.5 en los 31 puntos de monitoreo restantes se realizó con equipos considerados oficiales.

Por otra parte, la red de monitoreo contó con 20 equipos para el seguimiento a las concentraciones de contaminantes gaseosos: 9 analizadores de ozono, 7 analizadores de NO_x (NO, NO₂ y NO_x), dos analizadores de SO₂ y dos analizadores de CO; 2 equipos monitores de Black Carbon; un analizador de BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno); 1 equipo monitor de PM1 y 15 estaciones meteorológicas instaladas en 8 de los 10 municipios del área metropolitana y que monitorean, entre otras variables, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa, radiación global, presión atmosférica y precipitación. La información de la Red de Calidad de Aire se complementa con la Red de Monitoreo de Ruido Ambiental, la cual está conformada por 8 equipos automáticos con resolución minutal.

Las estaciones de la red se clasifican según el tipo de zona donde se encuentran ubicadas y el tipo de fuentes de emisión predominantes en su área de influencia. Esta clasificación se encuentra contenida dentro de la actualización de la clasificación de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2014), la cual se basa en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) y se presentan a continuación:

Tipo de zona	Descripción
Urbana	Área totalmente urbanizada. Un área edificada no estará mezclada con áreas no urbanizadas, con la excepción de los parques urbanos
Suburbana	Área en gran parte urbana edificada, pero las áreas edificadas estarán mezcladas con áreas no urbanizadas (por ejemplo con áreas agrícolas, lagos, bosques, grandes zonas verdes, etc.)
Rural	Se define como áreas rurales todas aquellas que no satisfagan los criterios para áreas urbanas y suburbanas.

Tabla 2.2: Clasificación de estaciones de acuerdo al tipo de zona (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2014)

Tipo de área	Descripción
De Tráfico	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminante medido está determinando principalmente por emisiones del tráfico cercano.
Punto Crítico	Estaciones ubicadas a nivel de suelo de apoyo a estudios epidemiológicos.
Industrial	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminación medido este influenciado significativamente por las emisiones cercanas de fuentes industriales.
Entorno de Fondo	Estaciones ubicadas de manera que el nivel de contaminante medido no está significativamente influenciadas por fuentes o calle alguna, pero si por la contribución de las fuentes que influyen en estas estaciones debido al régimen de vientos. Por ejemplo estaciones ubicadas en un centro urbano que está bajo la influencia indirecta del tráfico o procesos de combustión debido a la dirección del viento, o estaciones ubicadas en áreas rurales influenciadas por centros urbanos o áreas industriales debido al régimen de vientos. También serán consideradas de fondo, estaciones que se encuentran vientos arriba de la fuente evaluada.

Tabla 2.3: Clasificación de estaciones de acuerdo al tipo de fuentes emisoras predominantes (Área Metropolitana del Valle de Aburra, 2014).

Adicional a las clasificaciones mostradas en las Tablas 2.2 y 2.3, se considera la categoría tendencia de mesoescala para estaciones ubicadas a una altura superior a 15 metros en áreas urbanas del valle. En la Tabla 2.4 se presenta la clasificación de las estaciones pertenecientes a la Red de Monitoreo, teniendo como base la actualización de la clasificación de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2014).

Clasificación	Estación	Sigla	Municipio
Urbana de Tráfico	Estación Tráfico Centro	CEN-TRAF	Medellín
	Estación Tráfico Sur	SUR-TRAF	Sabaneta
	Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	MED-PJIC	Medellín
Urbana Industrial	Estación de Policía Los Gómez	ITA-POGO	Itagüí
	Casa de Justicia de Itagüí	ITA-CJUS	Itagüí
	Institución Educativa María Goretti	EST-MAGO	La Estrella
	Fiscalía General de la Nación	MED-FISC	Medellín
Urbana de Fondo	Hospital La Estrella	EST-HOSP	La Estrella
	Barbosa Torre Social	BAR-TORR	Barbosa
	Copacabana Ciudadadela de la vida	COP-CVID	Copacabana
	Institución Educativa Ciro Mencia	MED-ARAN	Medellín
	Biblioteca Fernando Botero	MED-SCRI	Medellín
	Planta de Agua Potable de EPM	MED-VILL	Medellín
	Institución Educativa Pedro Justo Berrío	MED-BEME	Medellín
	Institución Educativa Pedro Octavio Amado	MED-ALTA	Medellín
	Institución Educativa Inem Santa Catalina	MED-TESO	Medellín
	Hospital Manuel Uribe Ángel Sede – Santa Gertrudis	ENV-HOSP	Envigado
	Institución Educativa Jorge Eliecer Gaitán	BEL-JEGA	Bello
	Liceo Fernando Vélez	BEL-FEVE	Bello
	Institución Educativa Rafael J. Mejía	SAB-RAME	Sabaneta
	Escuela Joaquín Aristizabal	CAL-JOAR	Caldas
	Instituto Tecnológico Metropolitano sede Robledo	MED-ITMR	Medellín
	Tanques EPM	GIR-EPM	Girardota
Urbana de Tendencia Mesoescala	Corantioquia	MED-CORA	Medellín
	Éxito San Antonio	MED-EXSA	Medellín
	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando	ITA-PTAR	Itagüí
Suburbana de Tráfico	Universidad de Medellín	MED-UDEM	Medellín
Suburbana de Fondo	Hospital San Vicente de Paul	BAR-HSVP	Barbosa
	Hospital Santa Margarita	COP-HSMA	Copacabana
	Universidad San Buenaventura	BEL-USBV	Bello
	Tanques Miraflores	MED-MIRA	Medellín
	Tanques La Ye	MED-LAYE	Medellín
	Concejo de Itagüí	ITA-CONC	Itagüí
	Corporación Universitaria Lasallista	CAL-LASA	Caldas
Rural de Fondo	Parque de las Aguas	BAR-PDLA	Barbosa
	Santa Elena	MED-SELE	Medellín

Tabla 2.4: Clasificación de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire del Valle de Aburrá.

El Anexo 3 presenta los diferentes equipos de medición que hacen parte de la REDMCA, así como la respectiva metodología de medición utilizada en cada uno de ellos, su rango de medición, estado de la muestra y los respectivos límites permisibles establecidos en la Resolución 2254 del 01 de noviembre del 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En la Tabla 2.5 se presentan la dirección, la latitud y la longitud de las estaciones que hacen parte de la red.

ESTACIÓN	DIRECCIÓN	LATITUD	LONGITUD
Barbosa			
BAR-HSVP	Carrera 17 # 10 - 34	6.43917	-75.33633
BAR-PDLA	Carrera 48 # 70 - 10	6.40671	-75.41949
BAR-TORR	Calle 15 # 13 - 80	6.43696	-75.3304
Girardota			
GIR-EPM	Carrera 14 # 10-113	6.37325	-75.44831
Copacabana			
COP-CVID	Carrera 46b # 47a - 39	6.34536	-75.50475
COP-HSMA	Carrera 45 # 52 - 26	6.35272	-75.50822
Bello			
BEL-FEVE	Carrera 58a # 52c - 135	6.3375655	-75.5678
BEL-JEGA	Carrera 50 # 53 - 04	6.33711	-75.55866
BEL-USBV	Calle 45 # 61 - 40	6.3307	-75.56867
Medellín			
MED-ALTA	Carrera 88a # 18a-5	6.22481	-75.61381
MED-ARAN	Calle 99 # 48 - 55	6.29346	-75.55643
MED-BEME	Carrera 86 # 34 - 97	6.243	-75.61201
MED-CORA	Carrera 65 # 44a - 32	6.2525	-75.58608
MED-EXSA	Calle 48 # 46 - 115	6.24933	-75.57025
MED-ITMR	Carrera 80 # 65 - 223	6.27556	-75.58829
MED-LAYE	Calle 16a sur # 9e - 300	6.18254	-75.55064
CEN-TRAF	Carrera 53 # 52 - 51	6.25256	-75.56958
MED-PJIC	Carrera 48 # 7 - 151	6.20897	-75.57777
MED-MIRA	Calle 40 # 21 - 03	6.22997	-75.54919
MED-SCRI	Carrera 131 # 62 - 15	6.2805	-75.6366
MED-SELE	Vereda Piedra Gorda, Santa Elena	6.236361	-75.498462
MED-SIAT	Calle 50 # 71-147	6.25922	-75.58864
MED-TESO	Calle 1 # 29 - 300	6.1997788	-75.5614385
MED-UDEM	Carrera 87 # 30 - 65	6.23018	-75.60996

ESTACIÓN	DIRECCIÓN	LATITUD	LONGITUD
MED-FISC	Carrera 64c # 67 - 300	6.2687888	-75.5737076
MED-VILL	Calle 66c # 39 - 93	6.26172	-75.55164
Envigado			
ENV-HOSP	Diagonal 33 # 34c Sur 31	6.16849	-75.58197
Itagüí			
ITA-CJUS	Carrera 52 # 74 - 67	6.18567	-75.59721
ITA-CONC	Carrera 64 # 25 - 01	6.1685	-75.64436
ITA-POGO	Vereda Los Gómez	6.189723	-75.610588
ITA-PTAR	Calle 85 # 42 - 381	6.19364	-75.59158
La Estrella			
EST-HOSP	Calle 83a Sur # 6045	6.15553	-75.64417
EST-MAGO	Calle 83b sur # 52 - 10	6.16092	-75.645
Sabaneta			
SUR-TRAF	Calle 77sur # 49	6.15231	-75.62749
SAB-RAME	Carrera 45 # 77c sur 4	6.15678	-75.62137
Caldas			
CAL-JOAR	Carrera 51 # 127 Sur - 41	6.09308	-75.63777
CAL-LASA	Carrera 51 # 118 sur - 57	6.09908	-75.63863

Tabla 2.5: Ubicación geográfica de las estaciones de la red

3 Generalidades de los Contaminantes

La Tabla 3.1 muestra el porcentaje de datos válidos para los distintos contaminantes medidos en las diferentes estaciones de monitoreo. El Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del MAVDT (Actual MADS) establece que para el cálculo de los parámetros estadísticos es necesario contar con al menos el 75 % de información válida (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Según los resultados mostrados, los analizadores de CO de la estación GIR-EPM y de NO_x de la estación MED-PJIC, así como los equipos instalados en la estación SUR-TRAF, presentaron porcentajes de datos válidos inferiores al 75 %.

En el caso de la estación GIR-EPM, como parte de los procesos relacionados con el aseguramiento metrológico de los datos de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire, se suspendió la operación del analizador de CO para realizar el monitoreo intermedio del equipo patrón aire cero de acuerdo a lo establecido en los procesos del Sistema de Gestión de Calidad.

Por otra parte, para el analizador de NO_x de la estación MED-PJIC se identificaron durante los primeros días del mes, comportamientos inconsistentes con la serie histórica de esta variable. El mantenimiento correctivo realizado por parte de los profesionales operativos incluyó la revisión de los parámetros de muestreo y ajuste de los valores de medida de temperatura, presión y flujo. Adicionalmente se realizó limpieza y mantenimiento general al lente de óptico de la celda de reacción, a los filtros internos y a los orificios críticos que controlan el flujo de aire interno. Para evaluar la eficiencia de los mantenimientos desarrollados, se realiza un monitoreo intermedio multipunto, evidenciando la correcta respuesta del analizador.

Finalmente, en el caso de la estación SUR-TRAF, el 10 de Julio, los equipos instalados en esta estación sufrieron una sobrecarga eléctrica producto de una descarga atmosférica. Como resultado de esta descarga, los equipos de la estación salieron de operación para evaluar el estado de los mismos y la posibilidad de ponerlos nuevamente en funcionamiento. Durante el mes de Agosto solamente funcionó el equipo de PM2.5.

Tabla 3.1: Porcentaje de datos válidos para los contaminantes

Estaciones	PM2.5	PM10	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	CO	SO ₂	PM2.5(s)	PM10(s)
BAR-TORR	97.2									
BAR-PDLA						99.7				
GIR-EPM	99.9	94.5	89.9	89.9	89.9	90.3	99.6	99.3		
COP-HSMA										100.0
COP-CVID	97.7									
BEL-FEVE	96.2									
BEL-JEGA									100.0	
BEL-USBV		95.4				100.0				
MED-ARAN	98.5									

Tabla 3.1: Porcentaje de datos válidos para los contaminantes

Estaciones	PM2.5	PM10	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	CO	SO ₂	PM2.5(s)	PM10(s)
MED-SCRI	99.1									
MED-ITMR		98.8	99.1	99.1	99.1					
MED-FISC	98.8		99.2	99.2	99.2	99.6				
MED-VILL	96.9									
CEN-TRAF	95.6	95.7	99.9	99.9	99.9			99.7		
MED-CORA										100.0
MED-EXSA		91.3								
MED-BEME	99.3									
MED-SELE	97.0									
MED-UDEM						69.8				
MED-MIRA						99.5				81.8
MED-ALTA	98.9									
MED-PJIC		95.4	97.3	97.3	97.3		96.2		90.9	90.9
MED-TESO	99.5									
ITA-PTAR										100.0
ITA-POGO		93.4								100.0
ITA-CJUS	89.2		98.4	98.4	98.4					
MED-LAYE	98.4					99.5				
ITA-CONC	96.6	90.1				76.3				
ENV-HOSP	98.4									
EST-MAGO										100.0
EST-HOSP	98.9									
SUR-TRAF	98.8		99.2	99.2	99.2					100.0
SAB-RAME	98.4									
CAL-LASA	98.3					99.6				
CAL-JOAR	97.6									100.0

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Los resultados presentados en este informe se calculan a partir de las concentraciones sometidas a ensayo y muestreo por las estaciones manuales y automáticas, respectivamente. Las concentraciones a analizar en este informe son las pertenecientes al mes de Diciembre y son responsabilidad del proyecto SIATA. Los resultados de los contaminantes criterio son comparados con la norma colombiana en unidades de $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bajo condiciones de referencia. Los resultados del gas NO_x son reportados en *ppm*, al no tener factor de conversión a las unidades $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En el Anexo 6 se reportan las condiciones ambientales al interior de las estaciones. En este anexo se presentan los resultados para la temperatura y la humedad relativa.

Índice de Calidad del Aire (ICA)

El Índice de Calidad del Aire (ICA) es un indicador adimensional que oscila entre 0 y 500. Este indicador se desarrolla con el propósito de informar a la comunidad sobre el estado de la calidad del aire y advertir sobre posibles riesgos a la salud ante la exposición a una atmósfera contaminada, dividiéndose en las siguientes categorías y colores que representan la calidad del aire: Bueno (verde), moderado (amarillo), dañino para la salud de grupos sensibles (naranja) y dañino para la salud (rojo) (U.S. Environmental Protection Agency, 2014). La Tabla 3.2 presenta los puntos de corte del ICA para las diferentes clasificaciones.

Color	Categoría	Valor ICA	PM10 µg/m ³ 24 horas	PM2.5 µg/m ³ 24 horas	CO µg/m ³ 8 horas	SO ₂ µg/m ³ 1 horas	NO ₂ µg/m ³ 1 horas	O ₃ µg/m ³ 8 horas	O ₃ µg/m ³ 1 horas ⁽¹⁾
	Buena	0-50	0-54	0-12	0-5094	0-93	0-100	0-106
	Moderada	51-100	55-154	13-37	5095-10819	94-197	101-189	107-138
	Dañina a grupos sensibles	101-150	155-254	38-55	10820-14254	198-486	190-677	139-167	245-323
	Dañina a la salud	151-200	255-354	56-150	14255-17688	487-797	678-1221	168-207	324-401
	Muy dañina a la salud	201-300	355-424	151-250	17689-34862	798-1583	1222-2349	208-393	402-794
	Peligrosa	301-500	425-604	251-500	34863-57703	1584-2629	2350-3853	394 ⁽²⁾	795-1185

Tabla 3.2: Puntos de Corte del ICA

4 Material Particulado menor a $2.5 \mu m$ (PM2.5)

El Material Particulado menor a $2.5 \mu m$ (PM2.5) es uno de los contaminantes criterio que tienen más impacto en la calidad del aire de la región metropolitana, además de ser uno de los más perjudiciales para la salud de las personas, debido a su capacidad para penetrar en las regiones más profundas del sistema respiratorio (Jaime and Vasco, 2008). El PM2.5 es clave para establecer el estado de la calidad del aire de la región y, junto con el material particulado PM10 y el ozono, constituyen los contaminantes principales en la gestión de episodios de contaminación en el Valle de Aburrá, para lo cual se considera como información base la presentada en la Resolución 2254 de 2017 del MADS.

Durante el mes de Diciembre de 2021, operaron 22 estaciones de monitoreo automático de PM2.5, ubicadas en los 10 municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La Figura 4.1 presenta el mapa con la ubicación geográfica de las diferentes estaciones automáticas de PM2.5.

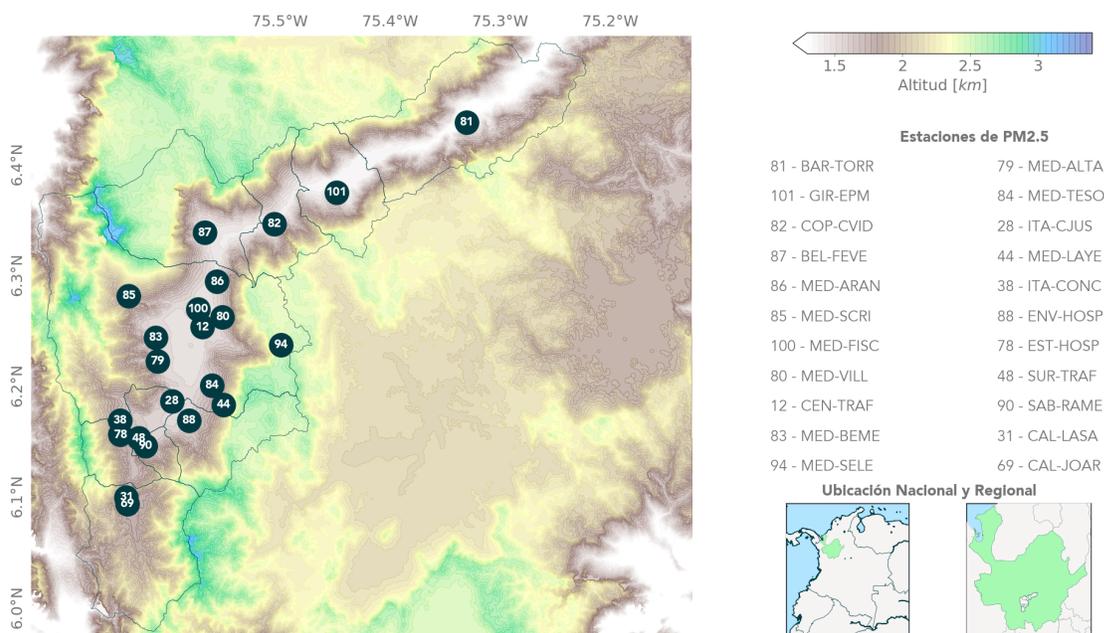


Figura 4.1: Estaciones automáticas de monitoreo de PM2.5.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Se cuenta además con 2 estaciones manuales de monitoreo de PM2.5, las cuales están ubicadas en 2 municipios del área metropolitana. La Figura 4.2 presenta el mapa con la ubicación geográfica de estas estaciones. En el Anexo 5 se reporta la información de cada muestra ensayada durante el mes para los equipos manuales, de acuerdo a los requisitos de la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005.

Finalmente, en el municipio de Itagüí se realiza una campaña de monitoreo de PM2.5 en la unidad residencial Reservas del Sur (estación ITA-RESU). Los resultados de esta campaña no se incluyen en

el presente informe dado que este equipo no tiene método de designación por parte de alguna agencia ambiental y como tal no está incluido en la acreditación de la red de monitoreo.

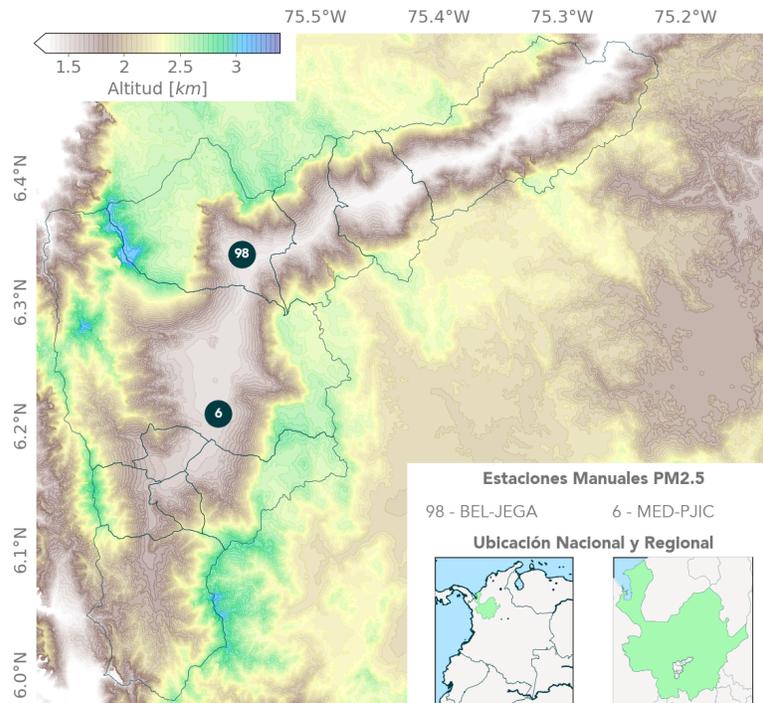


Figura 4.2: Estaciones manuales de monitoreo de PM2.5.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Concentración Promedio Diaria de PM2.5

En la Figura 4.3 se presenta la concentración diaria de PM2.5 obtenida durante el mes de Diciembre de 2021 en las distintas estaciones de monitoreo automático. Según los resultados mostrados, se presentaron un total de 9 excedencias (representadas con letra blanca en la Figura) a la norma diaria colombiana (Definida como $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Resolución 2254 del 2017). Estas excedencias se registraron en las estaciones ITA-CJUS y SUR-TRAF.

Es importante mencionar que las estaciones de tráfico se encuentran fuertemente influenciadas por las emisiones vehiculares cercanas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), por lo que sus mediciones no son relevantes para determinar la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos.

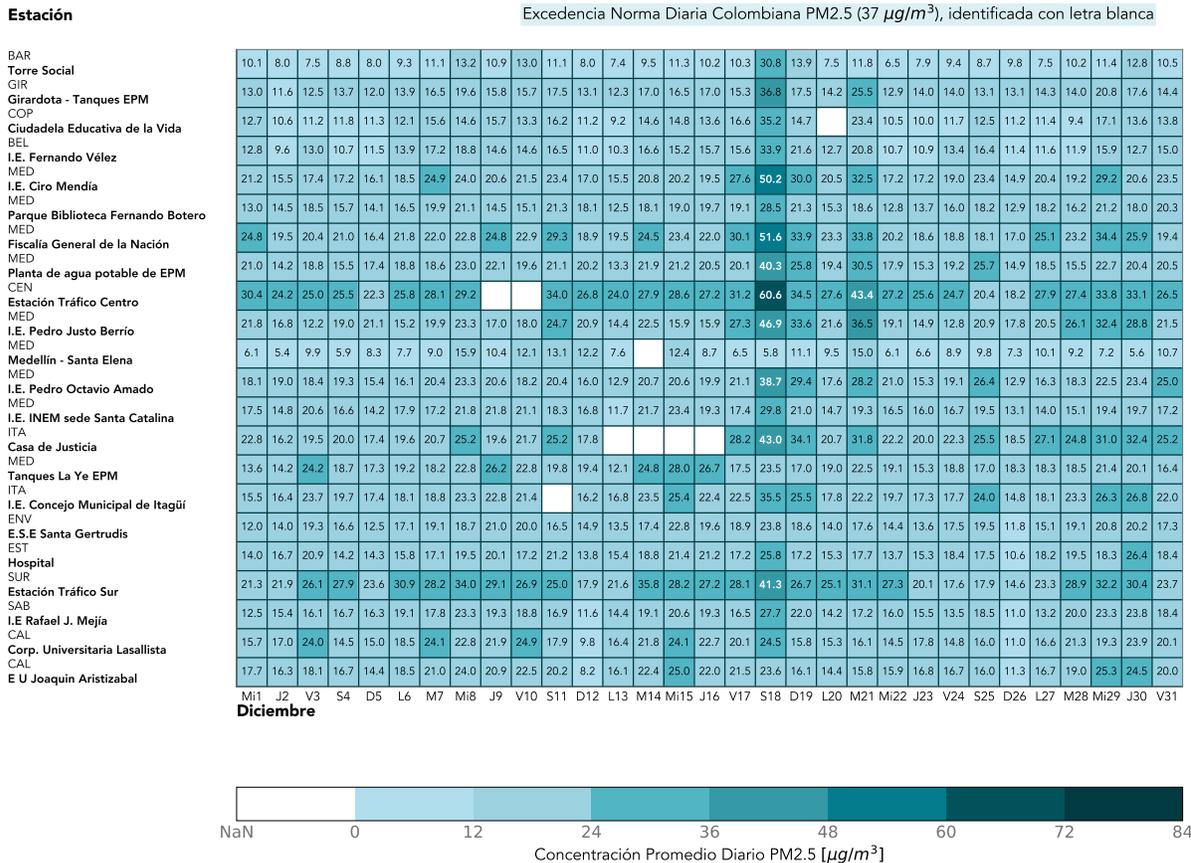


Figura 4.3: Concentración diaria de PM2.5 para las estaciones automáticas.

Nota: 1. En la gráfica NaN corresponde a datos faltantes. 2. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

En la estación CEN-TRAF se obtuvo la concentración promedio diaria más alta durante el mes de Diciembre de 2021, igual a $60.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otra parte, en la estación MED-SELE se registró la menor concentración promedio diaria, igual a $5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La Tabla 4.2 presenta los valores medios, mínimos y máximos en la concentración de PM2.5 para cada una de las estaciones, incluyendo los resultados para las estaciones manuales, durante el mes de Diciembre.

	MED-ARAN	MED-VILL	MED-SCRI	MED-FISC	CEN-TRAF	MED-BEME	MED-ALTA	MED-PJIC(M)	MED-TESO	MED-LAYE	MED-SELE
CMD	31	31	31	31	29	31	31	10	31	31	30
MAX	50.2	40.3	28.5	51.6	60.6	46.9	38.7	28.5	29.8	28.0	15.9
MEDIA	21.9	20.4	17.5	24.1	29.0	21.9	20.5	23.7	18.2	19.7	9.1
MIN	14.9	13.3	12.5	16.4	18.2	12.2	12.9	19.6	11.7	12.1	5.4
NEND	1	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0

Tabla 4.1: Estadísticos de las concentraciones de PM2.5 durante el mes de Diciembre de 2021 para las estaciones del municipio de Medellín

	BAR-TORR	GIR-EPM	COP-CVID	BEL-FEVE	BEL-J EGA(M)	ITA-CJUS	ENV-HOSP	ITA-CONC	SUR-TRAF	EST-HOSP	CAL-LASA	CAL-JOAR	SAB-RAME
CMD	31	31	30	31	11	27	31	30	31	31	31	31	31
MAX	30.8	36.8	35.2	33.9	20.0	43.0	23.8	35.5	41.3	26.4	24.9	25.3	27.7
MEDIA	10.5	16.0	14.0	14.7	15.5	24.2	17.3	21.2	26.3	17.8	18.6	18.6	17.7
MIN	6.5	11.6	9.2	9.6	9.0	16.2	11.8	14.8	14.6	10.6	9.8	8.2	11.0
NEND	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0

Tabla 4.2: Estadísticos de las concentraciones de PM2.5 durante el mes de Diciembre de 2021 para los municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá diferentes a Medellín.

Nota: 1. CMD: Cantidad de Muestras Diarias. NEND: Número de excedencias a la norma diaria. NP: No se presentan resultados debido a que no se obtuvo el 75% de los datos válidos requeridos. MAX: Concentración promedio diaria máxima obtenida durante el mes. MIN: Concentración promedio diaria mínima obtenida durante el mes. MEDIA : Concentración promedio mensual. 2. Las estaciones sombreadas son equipos semiautomáticos o manuales, los demás son automáticos. 3. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Al considerar las estaciones poblacionales automáticas que operan en el municipio de Medellín, la estación ubicada en la Institución Educativa Pedro Justo Berrío (estación MED-BEME), en el sector de Belén Las Mercedes, fue la estación con mayor concentración promedio durante el mes, igual a $18.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que la menor concentración promedio, igual a $6.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se obtuvo en el corregimiento de Santa Elena. Por otra parte, la concentración promedio mensual más alta en las estaciones poblacionales automáticas ubicadas en el resto de municipios del área metropolitana, igual a $18.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se obtuvo en la estación Casa de Justicia del municipio de Itagüí.

Ciclo Diurno de la Concentración de PM2.5

La Figura 4.4 presenta el ciclo diurno de la concentración de PM2.5 para las diferentes estaciones de monitoreo automático. En general puede observarse un comportamiento típico bimodal de las concentraciones a lo largo del día, con un período de mayor concentración de partículas entre las 06:00 y las 10:00 y uno, un poco menos pronunciado, entre las 19:00 y las 23:00.

Dicho comportamiento es más notorio en las estaciones ubicadas al sur del Área Metropolitana, en especial para la estación SUR-TRAF, la cual está fuertemente influenciada por los efectos del tráfico. El ciclo bimodal podría ser explicado por el comportamiento meteorológico de la zona y la dinámica de movilidad dentro del área metropolitana. Las horas del día en las cuales se presenta mayor concentración de partículas con diámetro menor a 2.5 micrómetros corresponden a las horas en donde la superficie de la atmósfera aún no ha sido calentada por los efectos de la radiación solar, impidiendo la dispersión y el ascenso de contaminantes a la atmósfera libre. Esta condición se conoce como estabilidad atmosférica, y favorece la acumulación de contaminantes en la superficie. A medida que la superficie se calienta, los contaminantes pueden ser removidos de la capa límite atmosférica, logrando las mínimas concentraciones de PM2.5 en horas de la tarde.

Sumado a este efecto se encuentra la dinámica de movilidad que se desarrolla en la ciudad. Las horas de máxima concentración de PM2.5 corresponden también a las horas pico de movilidad, las cuales se caracterizan por un alto flujo vehicular, identificado como una de las principales fuentes emisoras de partículas menores a $2.5 \mu\text{m}$.

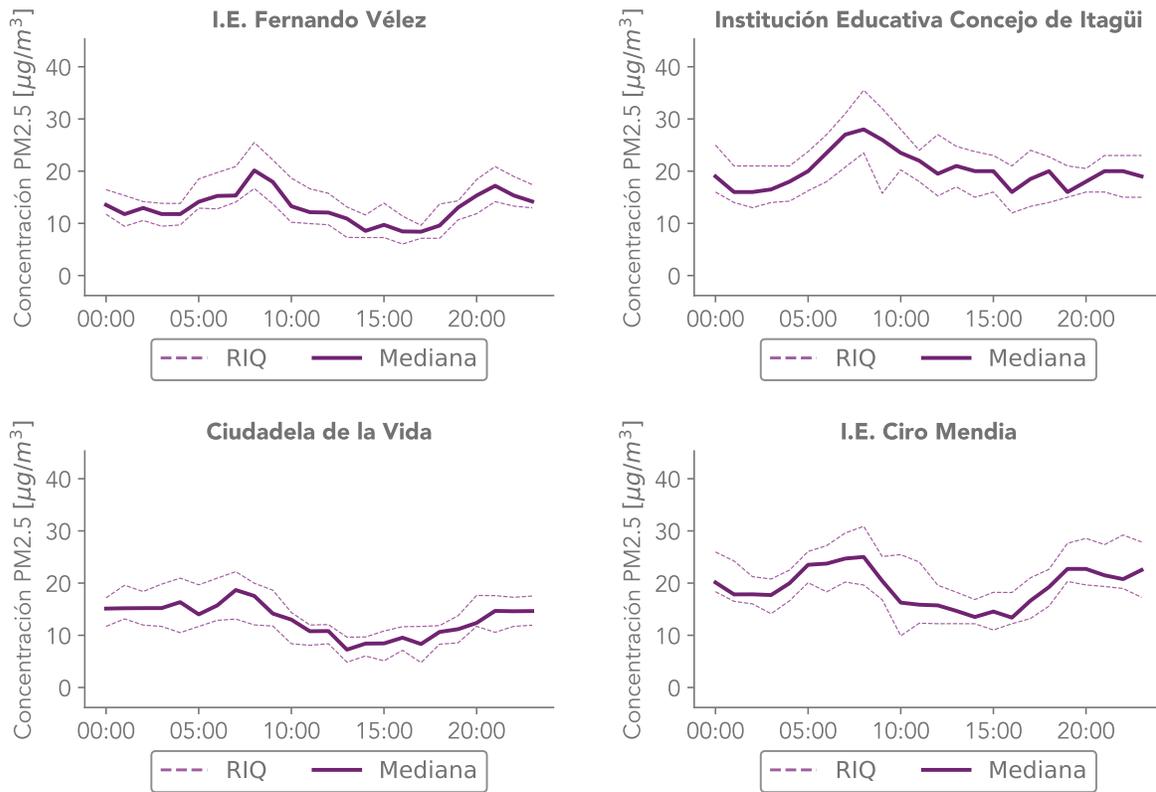


Figura 4.4: Ciclo diario de PM2.5 para las estaciones automáticas

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil

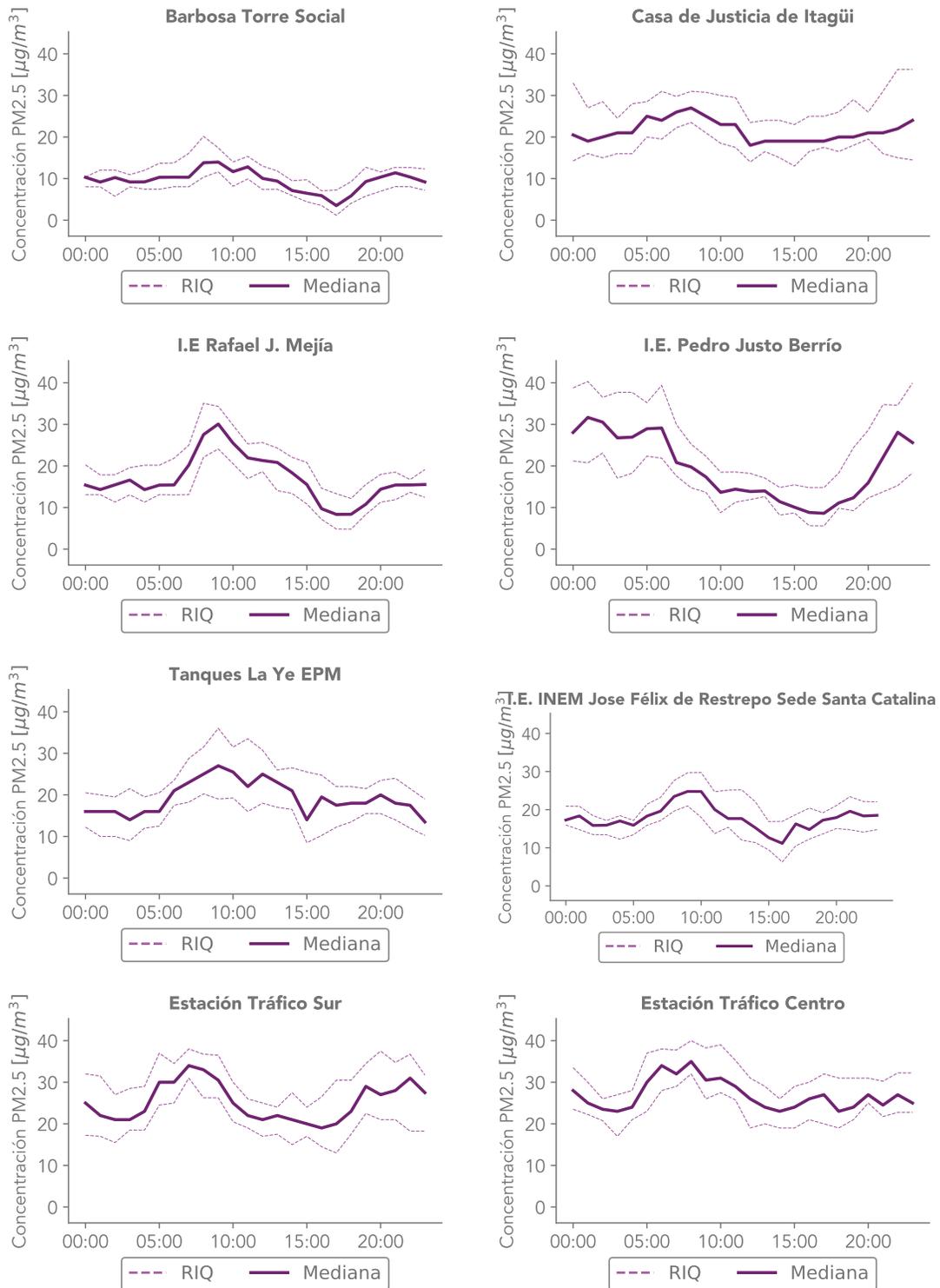


Figura 4.4: Continuación

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil

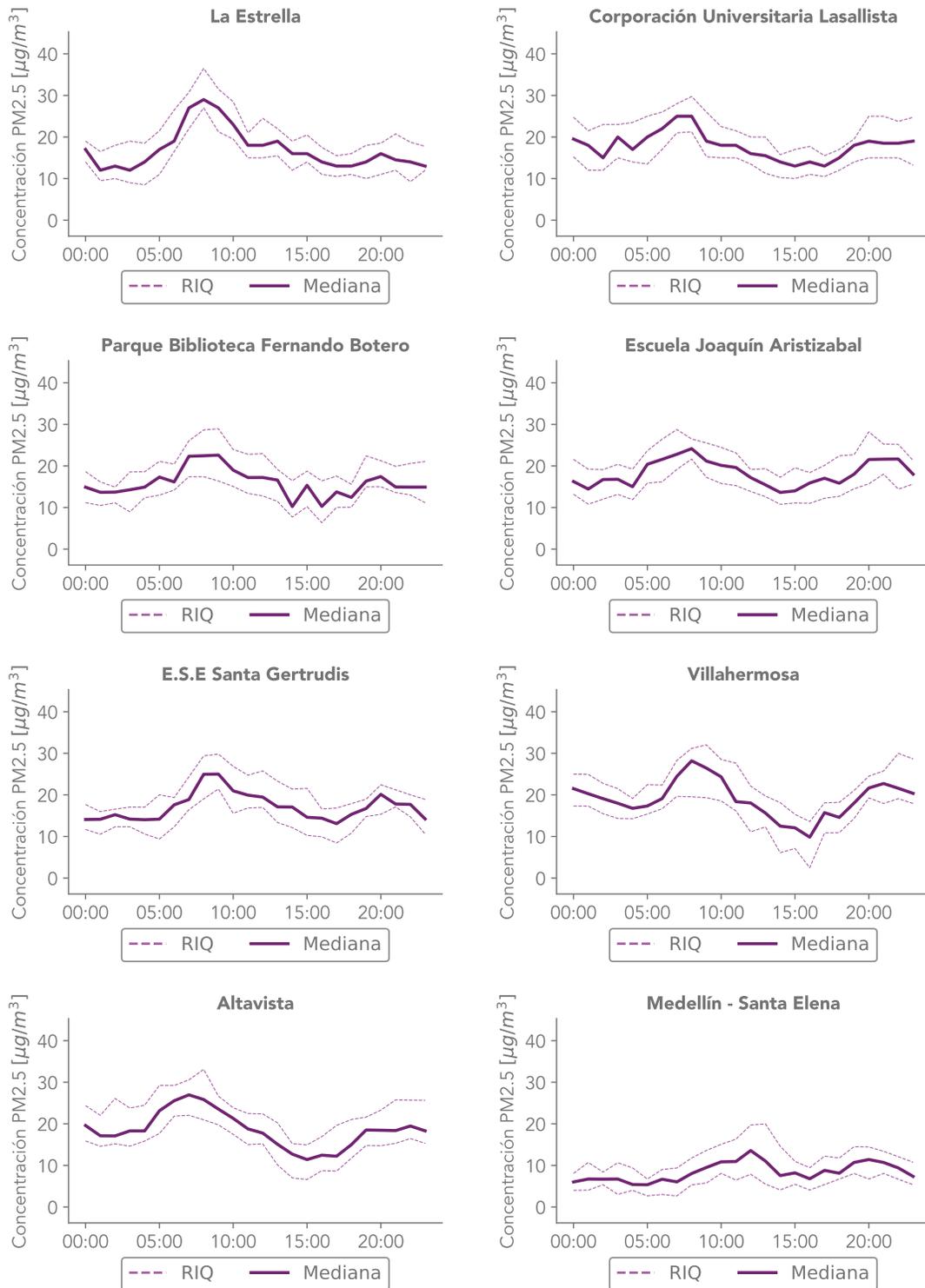


Figura 4.4: Continuación

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil

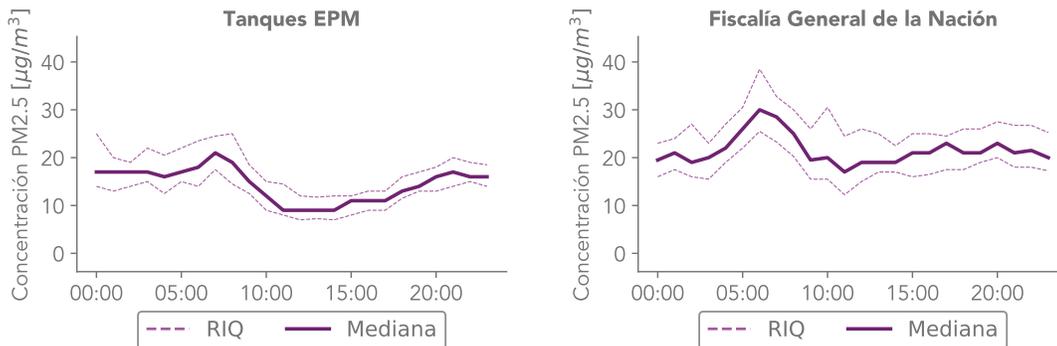


Figura 4.4: Continuación

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil

Índice de Calidad del Aire (ICA) para el PM2.5

La Figura 4.5 muestra la variación del índice de calidad del aire asociado a PM2.5 para las diferentes estaciones automáticas que operaron durante el mes de Diciembre del 2021. Puede observarse como la mayoría de estaciones presentaron valores de ICA equivalentes a la clasificación moderada. Las estaciones CEN-TRAF, ITA-CJUS, SUR-TRAF, MED-ALTA, MED-VILL, MED-BEME, MED-ARAN y MED-FISC presentaron calidad de aire dañina a la salud de grupos sensibles de acuerdo a sus valores de ICA. La estación CEN-TRAF presentó un total de 1 día clasificado según su ICA como dañino para la salud. Cabe destacar que en las estaciones automáticas ubicadas en los municipios al norte del Valle de Aburrá, así como en el corregimiento de Santa Elena, la calidad del aire fue fundamentalmente buena durante el mes.

PM2.5	Diciembre																															
	Mi1	J2	V3	S4	D5	L6	M7	Mi8	J9	V10	S11	D12	L13	M14	Mi15	J16	V17	S18	D19	L20	M21	Mi22	J23	V24	S25	D26	L27	M28	Mi29	J30	V31	
Estaciones	DE REPRESENTACIÓN POBLACIONAL																															
Barbosa	10	8	8	9	8	9	11	13	11	13	11	8	7	9	11	10	10	31	14	8	12	7	8	9	9	10	8	10	11	13	11	
Torre Social	13	12	12	14	12	14	17	20	16	16	18	13	12	17	17	17	15	37	17	14	26	13	14	14	13	13	14	14	21	18	14	
Girardota	13	11	11	12	11	12	16	15	16	13	16	11	9	15	15	14	17	35	15	23	11	10	12	12	11	11	9	17	14	14		
Girardota - Tanques EPM	13	10	13	11	11	14	17	19	15	15	17	11	10	17	15	16	16	34	22	13	21	11	11	13	16	11	12	12	16	13	15	
Copacabana	21	16	17	17	16	18	25	24	21	21	23	17	15	21	20	19	28	50	30	21	32	17	17	19	23	15	20	19	29	21	23	
Ciudadela Educativa de la Vida	13	14	18	16	14	17	20	21	15	15	21	18	12	18	19	20	19	29	21	15	19	13	14	16	18	13	18	16	21	18	20	
Bello	21	14	19	16	17	19	19	23	22	20	21	20	13	22	21	20	20	40	26	19	31	18	15	19	26	15	18	15	23	20	21	
I.E. Fernando Vélez	22	17	12	19	21	15	20	23	17	18	25	21	14	23	16	16	27	47	34	22	36	19	15	13	21	18	20	26	32	29	21	
Medellín - Aranjuez	6	5	10	6	8	8	9	16	10	12	13	12	8	12	9	7	6	11	10	15	6	7	9	10	7	10	9	7	6	11		
I.E. Ciro Mendía	18	19	18	19	15	16	20	23	21	18	20	16	13	21	21	20	21	39	29	18	28	21	15	19	26	13	16	18	23	23	25	
Medellín - San Cristobal	17	15	21	17	14	18	17	22	22	21	18	17	12	22	23	19	17	30	21	15	19	16	16	17	19	13	14	15	19	20	17	
Parque Biblioteca Fernando Botero	23	16	19	20	17	20	21	25	20	22	25	18					28	43	34	21	32	22	20	22	26	19	27	25	31	32	25	
Medellín - Villahermosa	14	14	24	19	17	19	18	23	26	23	20	19	12	25	28	27	18	24	17	19	22	19	15	19	17	18	18	18	21	20	16	
Planta de agua potable de EPM	16	16	24	20	17	18	19	23	23	21		16	17	23	25	22	22	35	26	18	22	20	17	18	24	15	18	23	26	27	22	
Medellín - Belén	12	14	19	17	13	17	19	19	21	20		17	15	13	17	23	20	19	24	19	14	18	14	14	18	19	12	15	19	21	20	17
I.E. Pedro Justo Berrio	14	17	21	14	14	16	17	20	20	17	21	14	15	19	21	21	17	26	17	15	18	14	15	18	18	11	18	19	18	26	18	
Medellín - Santa Elena	12	15	16	17	16	19	18	23	19	19	17	12	14	19	21	19	16	28	22	14	17	16	15	13	18	11	13	20	23	24	18	
Medellín - Altavista	16	17	24	14	15	18	24	23	22	25	18	10	16	22	24	23	20	24	16	15	16	14	18	15	16	11	17	21	19	24	20	
I.E. Pedro Octavio Amado	18	16	18	17	14	19	21	24	21	23	20	8	16	22	25	22	22	24	16	14	16	16	17	17	16	11	17	19	25	20	20	
Medellín - El Poblado	25	19	20	21	16	22	22	23	25	23	29	19	20	24	23	22	30	52	34	23	34	20	19	19	18	17	25	23	34	26	19	
I.E. INEM sede Santa Catalina	30	24	25	26	22	26	28	29			34	27	24	28	29	27	31	61	35	28	43	27	26	25	20	18	28	27	34	33	26	
Itagüí	21	22	26	28	24	31	28	34	29	27	25	18	22	36	28	27	28	41	27	25	31	27	20	18	18	15	23	29	32	30	24	
Casa de Justicia																																
Medellín - El Poblado																																
Tanques La Ye EPM																																
Itagüí																																
I.E. Concejo Municipal de Itagüí																																
Erwigado																																
E.S.E Santa Gertrudis																																
La Estrella																																
Hospital																																
Sabaneta																																
I.E. Rafael J. Mejía																																
Caldas																																
Corp. Universitaria Lasallista																																
Caldas																																
E U Joaquín Aristizabal																																
	NO POECA																															
Medellín	25	19	20	21	16	22	22	23	25	23	29	19	20	24	23	22	30	52	34	23	34	20	19	19	18	17	25	23	34	26	19	
Fiscalía General de la Nación	30	24	25	26	22	26	28	29			34	27	24	28	29	27	31	61	35	28	43	27	26	25	20	18	28	27	34	33	26	
Medellín - Centro	21	22	26	28	24	31	28	34	29	27	25	18	22	36	28	27	28	41	27	25	31	27	20	18	18	15	23	29	32	30	24	
Estación Tráfico Centro																																
Sabaneta																																
Estación Tráfico Sur																																

Figura 4.5: Índice de Calidad del Aire para las estaciones automáticas de PM2.5.
Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

En la Figura 4.6, se muestra el ICA de las estaciones manuales de PM2.5 que hacen parte de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire. Según el método de medición, estos equipos tienen una resolución de muestreo diaria y no horaria como en el caso de las estaciones automáticas. Cabe agregar que la frecuencia de monitoreo es, en términos generales, cada 3 días. En la Figura 4.6, los cuadros grises corresponden a días en los que se invalidaron los datos o que por razones técnicas no se realizaron muestreos.

PM2.5M	Diciembre										
	Mi1	D5	Mi8	S11	M14	J16	L20	M22	V24	M28	V31
Estaciones											
Bello	11	14	20	18	17	17	9	15	13	18	
I.E. Jorge Eliecer Gaitán	27	24		28	25	23	23	23	20	22	21
Medellín											
Politécnico JIC											

Figura 4.6: Índice de Calidad del Aire para las estaciones manuales de PM2.5.
Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

En las Figuras 4.7, 4.8 y 4.9 puede observarse un resumen de la información presentada en los gráficos

anteriores. Se muestra el porcentaje y el número de días en los que los registros de cada estación en el municipio de Medellín (Figura 4.7) o en los demás municipios del área metropolitana (figura 4.8) se clasificaron en las diferentes categorías del ICA. La estación CEN-TRAF presentó, para el total de sus muestras, el mayor porcentaje de excedencias a la norma igual a 6.90%. Se puede observar igualmente como la estación ITA-CJUS corresponde a la estación automática con menor número de muestras diarias durante el mes. Cabe recordar que los equipos de esta estación salieron de operación como resultado de una sobrecarga eléctrica generada por una descarga atmosférica.

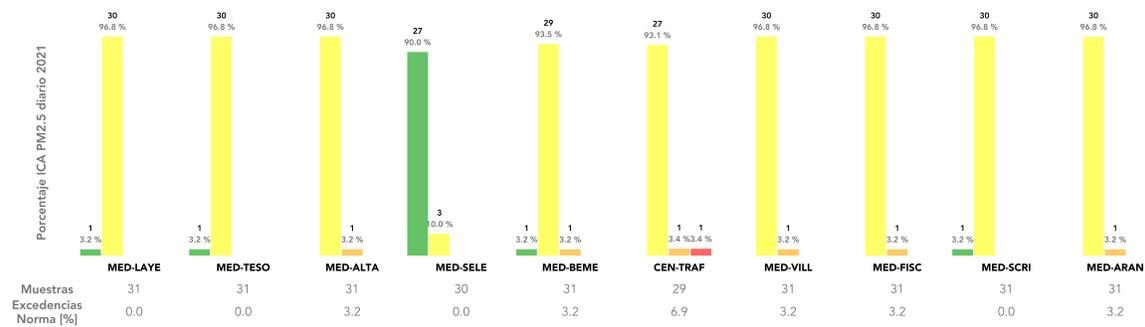


Figura 4.7: Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones de PM2.5 del municipio de Medellín.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

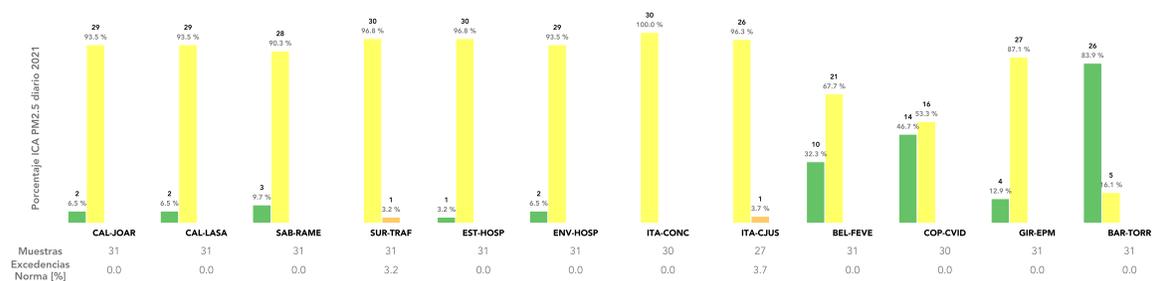


Figura 4.8: Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones de PM2.5 de los municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá, excepto Medellín.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

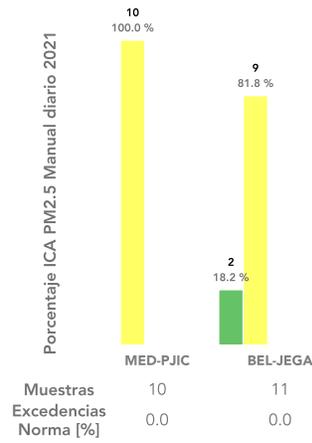


Figura 4.9: Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones manuales de PM2.5 de los municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

5 Material Particulado menor a 10 μm (PM10)

El Material Particulado menor a 10 μm (PM10) es uno de los contaminantes criterio monitoreado por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire. De acuerdo a la última actualización del inventario de emisiones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (año base 2018), las emisiones de PM10 están asociadas mayoritariamente a las fuentes fijas, siendo el sector textil, el sector con mayor aporte (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2018).

Durante el mes de Diciembre de 2021 operaron 9 estaciones automáticas de PM10, las cuales realizan monitoreo continuo cada hora mediante un equipo BAM1020 de la marca Met-One, ubicadas en 5 de los 10 municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La Figura 5.1 presenta el mapa con la ubicación geográfica de las diferentes estaciones automáticas de PM10.

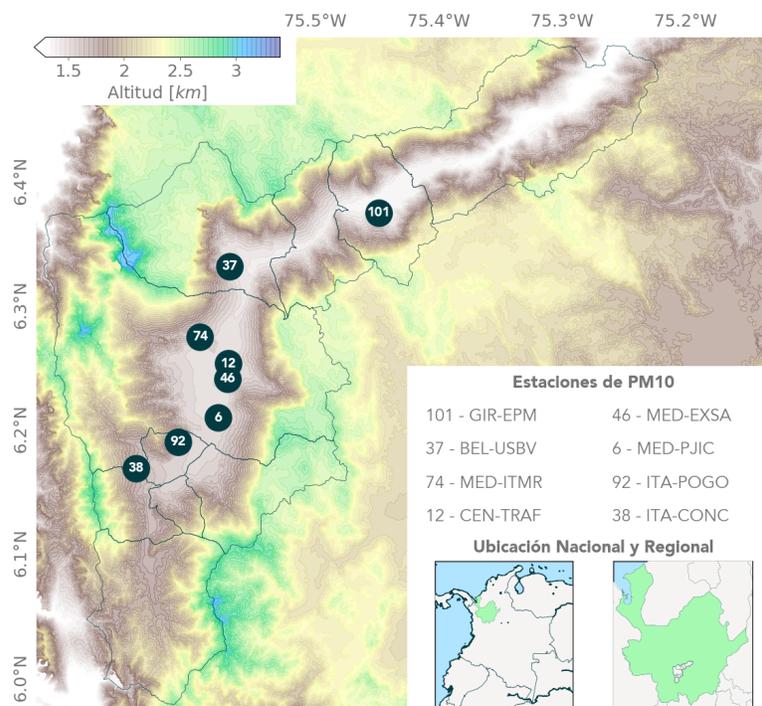


Figura 5.1: Estaciones automáticas de monitoreo de PM10.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Se cuenta además con un total de 10 equipos manuales para el monitoreo de PM10, los cuales están distribuidos en 7 municipios del área metropolitana. La Figura 5.2 presenta el mapa con la ubicación geográfica de estos. En el Anexo 5 se reporta la información de cada muestra ensayada durante el mes, de acuerdo a los requisitos de la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005.

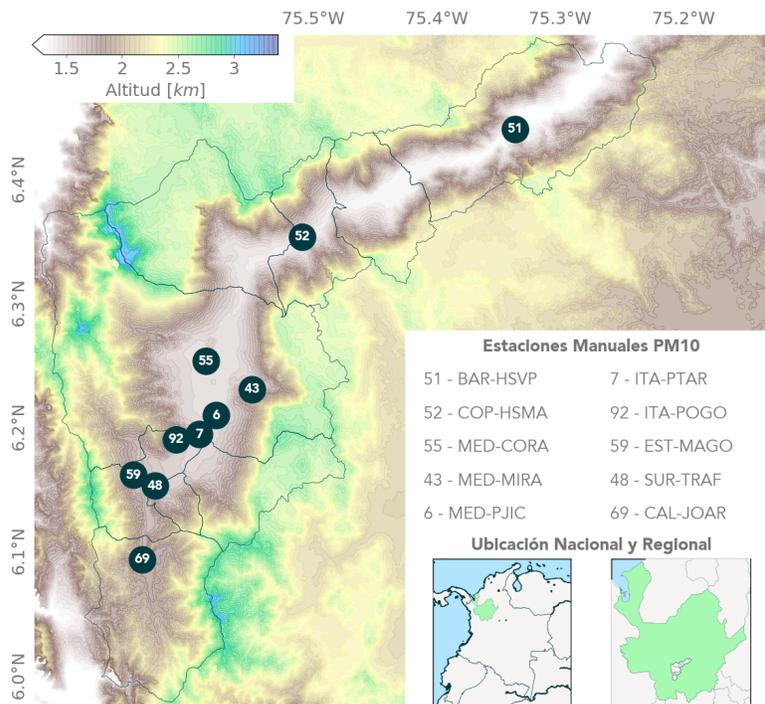


Figura 5.2: Estaciones manuales de monitoreo de PM10.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Concentración Promedio Diaria de PM10

En la Figura 5.3 se presentan las concentraciones promedio diarias de PM10 obtenidas durante el mes de Diciembre de 2021 para las distintas estaciones de monitoreo automático. Puede observarse como durante el mes, se presentaron en total 7 excedencias (representadas con letra blanca dentro de la gráfica) a la norma diaria colombiana, definida como $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Resolución 2254 del 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Del total de excedencias diarias a la norma, 2 se presentaron en la estación ITA-POGO mientras que en la estación CEN-TRAF se presentó una sola excedencia.

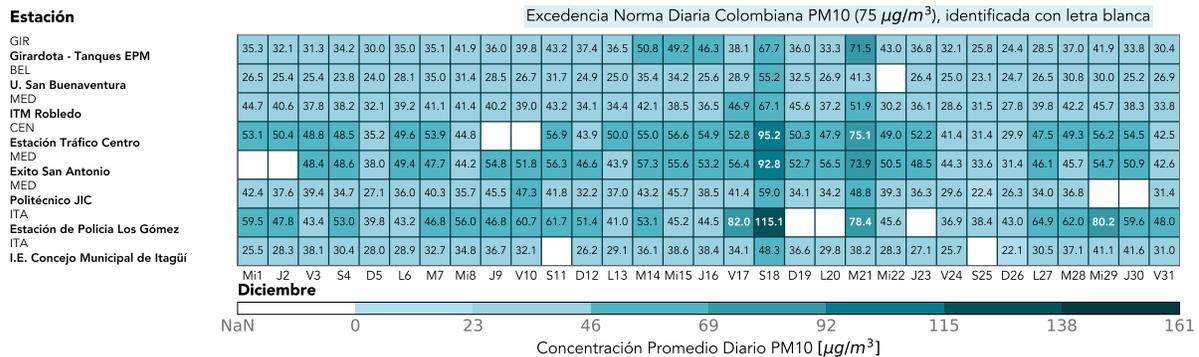


Figura 5.3: Concentración Diaria de PM10 para las estaciones automáticas. **Nota:** 1. En la gráfica NaN corresponde a datos faltantes. 2. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

El resumen de las concentraciones de PM10 obtenidas durante el mes de Diciembre en las estaciones automáticas y manuales se reporta en las Tablas 5.1 y 5.2. Se incluyen los valores máximos y mínimos diarios, y la concentración promedio mensual.

	GIR-EPM	BEL-USBV	MED-ITMR	CEN-TRAF	MED-EXSA	MED-PJIC	ITA-POGO	ITA-CONC
CMD	31	30	31	29	29	29	28	29
MAX	71.5	55.2	67.1	95.2	92.8	59.0	115.1	48.3
MEDIA	38.5	29.2	39.5	50.9	50.9	37.9	55.3	32.9
MIN	24.4	23.1	27.8	29.9	31.4	22.4	36.9	22.1
NEND	0	0	0	2	1	0	4	0

Tabla 5.1: Estadísticos de PM10 para las estaciones automáticas, Diciembre 2021

Nota: 1. CMD: Cantidad de Muestras Diarias; NEND: Número de excedencias a la norma diaria. NP: No se presentan resultados debido a que no se obtuvo el 75 % de los datos válidos requeridos. MAX: Concentración promedio diaria máxima obtenida durante el mes. MIN: Concentración promedio diaria mínima obtenida durante el mes. MEDIA : Concentración promedio mensual. 2. Las estaciones sombreadas son equipos semiautomáticos o manuales, los demás son automáticos. 3. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

	BAR- H SVP(M)	COP- H SMA(M)	MED- C ORA(M)	MED- M IRA(M)	MED- P JIC(M)	ITA- PT AR(M)	ITA- PO GO(M)	EST- M AGO(M)	SUR- T RAF(M)	CAL- J OAR(M)
CMD	10	11	11	9	10	11	11	11	11	11
MAX	27.5	38.7	35.8	35.5	44.5	37.5	48.1	49.2	61.4	41.5
MEDIA	20.1	27.7	26.1	19.7	35.6	28.7	36.0	37.7	43.4	31.8
MIN	14.3	15.2	18.1	12.6	27.0	23.2	21.3	23.1	25.4	26.3
NEND	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5.2: Estadísticos de PM10 para las estaciones manuales, Diciembre 2021

Nota: 1. CMD: Cantidad de Muestras Diarias. NEND: Número de excedencias a la norma diaria. NP: No se presentan resultados debido a que no se obtuvo el 75% de los datos válidos requeridos. MAX: Concentración promedio diaria máxima obtenida durante el mes. MIN: Concentración promedio diaria mínima obtenida durante el mes. MEDIA : Concentración promedio mensual. 2. Las estaciones sombreadas son equipos semiautomáticos o manuales, los demás son automáticos. 3. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Al considerar las estaciones automáticas ubicadas en el municipio de Medellín, la estación CEN-TRAF fue la estación con mayor concentración promedio durante el mes, igual a $43.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otra parte, la estación ITA-POGO en el municipio de Itagüí, fue la estación ubicada por fuera de Medellín con la concentración promedio mensual más alta, igual a $54.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ciclo Diurno de la Concentración de PM10

La Figura 5.4 presenta el ciclo diurno de la concentración de PM10 para las diferentes estaciones de monitoreo automáticas. Para el caso del PM10 el patrón en el ciclo diurno de la concentración no es tan marcado como para el PM2.5, sin embargo se conserva para todas las estaciones el pico máximo de concentración en las primeras horas de la mañana. Esto podría relacionarse, al igual que para el PM2.5, a las características meteorológicas de la región y a las dinámicas de emisión de contaminantes propias del área metropolitana. Igualmente las concentraciones de PM10 pueden verse afectadas por procesos meteorológicos de alcance global, por ejemplo el transporte de arenas desde el Sahara por las ondas del este.

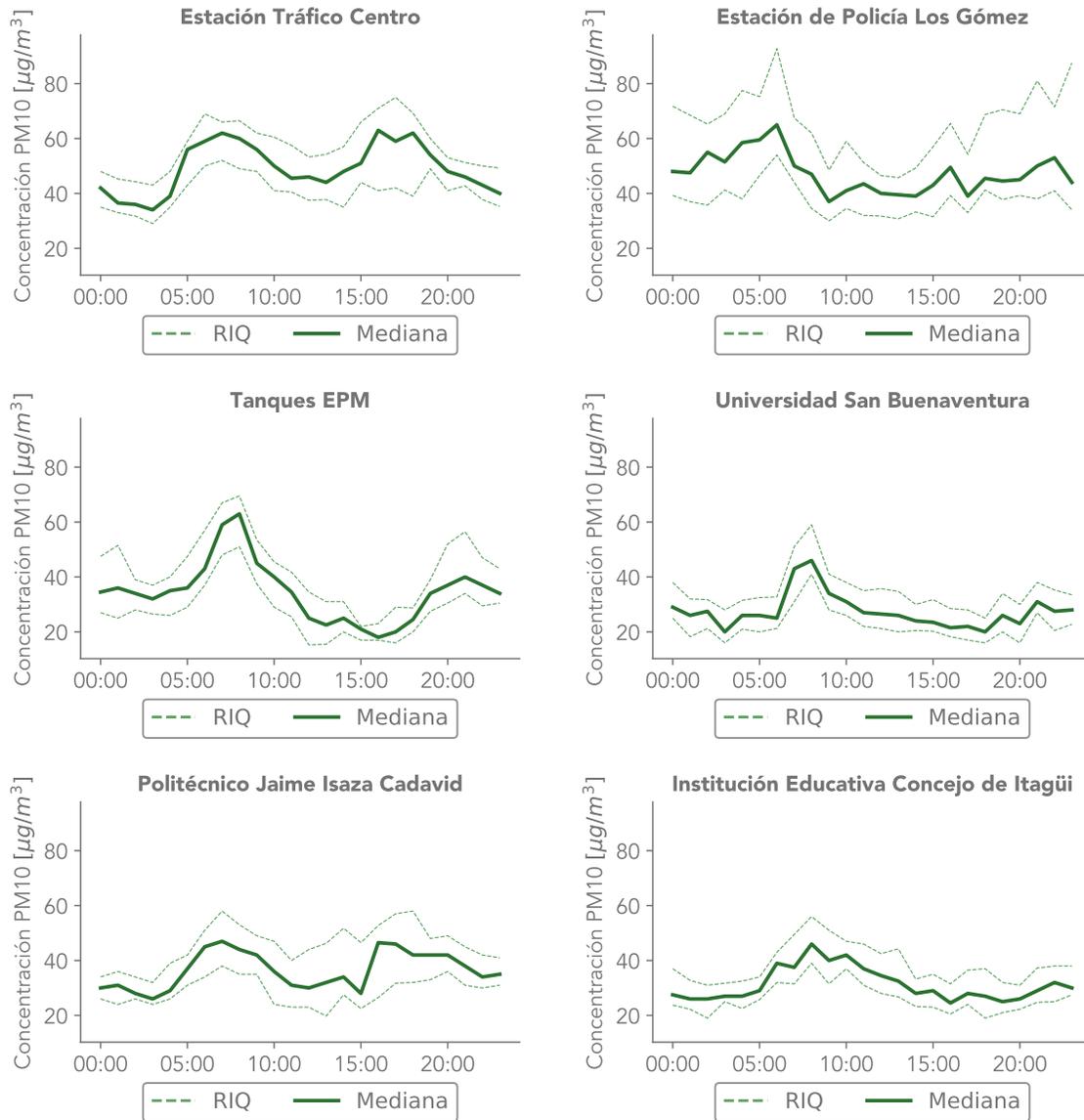


Figura 5.4: Ciclo diario de PM10 para las estaciones automáticas

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil.

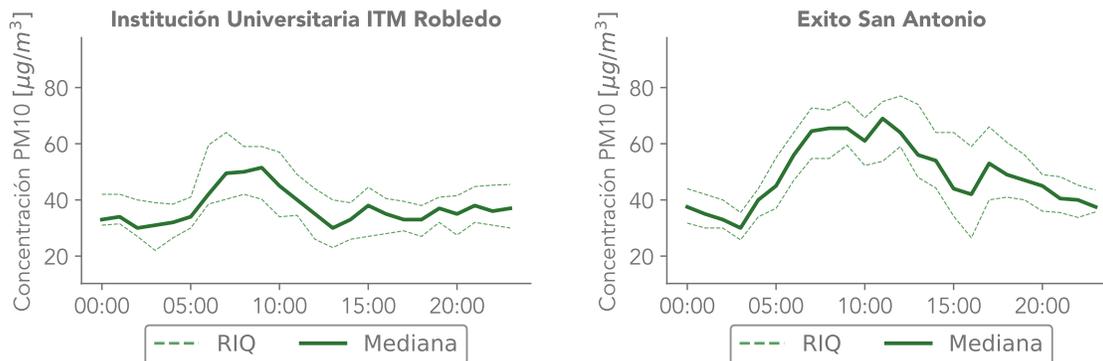


Figura 5.4: Continuación

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil.

Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM10

La Figura 5.5 muestra la variación del índice de calidad de aire asociado a PM10 para las diferentes estaciones automáticas durante el mes de Diciembre del 2021. Según los resultados, la mayoría de estaciones presentaron valores de ICA equivalentes a la clasificación buena. En ninguna de las estaciones se alcanzaron valores de ICA correspondientes a las categorías de calidad de aire dañina para la salud de grupos sensibles o dañina para la salud.

La variación del índice de calidad del aire para las estaciones manuales de PM10 se muestra en la Figura 5.6. Cabe recordar que dado el método de medición de estos equipos, la frecuencia de monitoreo es, en términos generales, cada 3 días. En la Figura, los cuadros grises corresponden a días en los que se invalidaron los datos o que por razones técnicas no se realizaron muestreos.

PM10	Diciembre																														
	Mi1	J2	V3	S4	D5	L6	M7	Mi8	J9	V10	S11	D12	L13	M14	Mi15	J16	V17	S18	D19	L20	M21	Mi22	J23	V24	S25	D26	L27	M28	Mi29	J30	V31
Estaciones																															
Girardota	35	32	31	34	30	35	35	42	36	40	43	37	36	51	49	46	38	68	36	33	72	43	37	32	26	24	29	37	42	34	30
Girardota - Tanques EPM	27	25	25	24	24	28	35	31	29	27	32	25	25	35	34	26	29	55	32	27	41		26	25	23	25	26	31	30	25	27
Bello																															
U. San Buenaventura	45	41	38	38	32	39	41	41	40	39	43	34	34	42	38	37	47	67	46	37	52	30	36	29	31	28	40	42	44	38	34
Medellín																															
ITM Robledo	53	50	49	48	35	50	54	45		57	44	50	55	57	55	53	95	50	48	75	49	52	41	31	30	47	49	56	54	43	
Medellín - Centro																															
Estación Tráfico Centro				48	49	38	49	48	44	55	52	47	44	57	56	53	56	93	53	56	74	50	49	44	34	31	46	46	55	51	43
Medellín - Centro																															
Exito San Antonio	42	38	39	35	27	36	40	36	46	47	42	32	37	43	46	38	41	59	34	34	49	39	36	30	22	26	34	37		31	
Medellín																															
Politécnico JIC	60	48	43	53	40	43	47	56	47	61	62	51	41	53	45	44	82	115		78	46		37	38	43	65	62	80	60	48	
Itagüí																															
Estación de Policía Los Gómez	26	28	38	30	28	29	33	35	37	32		26	29	36	39	38	34	48	37	30	38	28	27	26		22	30	37	41	42	31
Itagüí																															
I.E. Concejo Municipal de Itagüí																															

Figura 5.5: Índice de Calidad del Aire para las estaciones automáticas de PM10.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

PM10M	Diciembre										
	M:1	D5	M:8	S11	M14	J16	L20	Mi22	V24	M28	V31
Estaciones											
Barbosa	20	14	28	20	19	26	17	15	19	23	
H. San Vicente de Paul Copacabana	29	23	39	34	37	21	27	28	28	24	15
H. Santa Margarita Medellin	28	18	21	33	36	20	35	22	30	32	22
Corantioquia Medellin	18	13			28	36	25	15	16	13	14
Tanques Miraflores Medellin	44	27		43	44	29	36	40	31	34	28
Politécnico JIC Itagüí	29	26	30	31	38	27	27	29	23	29	28
PTAR San Fernando Itagüí	40	29	43	48	35	27	45	30	21	44	33
Estación de Policía Los Gómez La Estrella	34	23	35	38	49	47	33	40	32	37	46
I.E. Santa María Goretti Sabaneta	42	46	41	41	61	25	49	49	33	52	35
Estación Tráfico Sur Caldas	30	27	31	35	42	38	27	30	26	33	32
E U Joaquín Aristizabal											

Figura 5.6: Índice de Calidad del Aire para las estaciones manuales de PM10.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

En la Figura 5.7 y 5.8, puede observarse un resumen de la información presentada en el gráfico anterior. Se muestra el porcentaje de días que cada estación obtuvo para cada clasificación. La estación ITA-POGO presentó, para el total de sus muestras, el mayor porcentaje de excedencias igual a 14.29%.

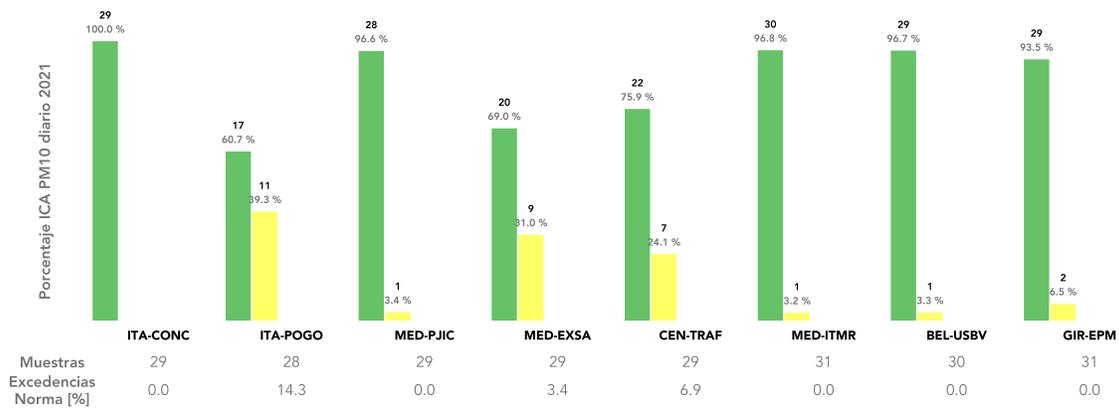


Figura 5.7: Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones automáticas de PM10.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

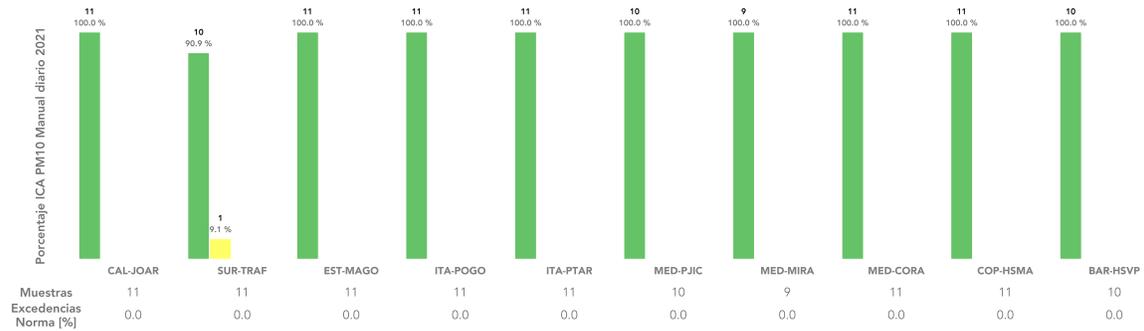


Figura 5.8: Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones manuales de PM10.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

6 Ozono (O_3)

El ozono troposférico es un contaminante secundario de la atmósfera (originados en el aire por la interacción de uno o más contaminantes, o condiciones naturales de la atmósfera) que presenta una importancia significativa en la Calidad del Aire del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, esto debido a las condiciones topográficas, meteorológicas y al alto flujo vehicular característico de la zona, que favorecen su producción y concentración en la superficie.

La red de calidad del aire cuenta con 9 estaciones de monitoreo automático de Ozono, ubicadas en 6 de los 10 municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá. La Figura 6.1 presenta el mapa con la ubicación geográfica de las diferentes estaciones automáticas de Ozono.

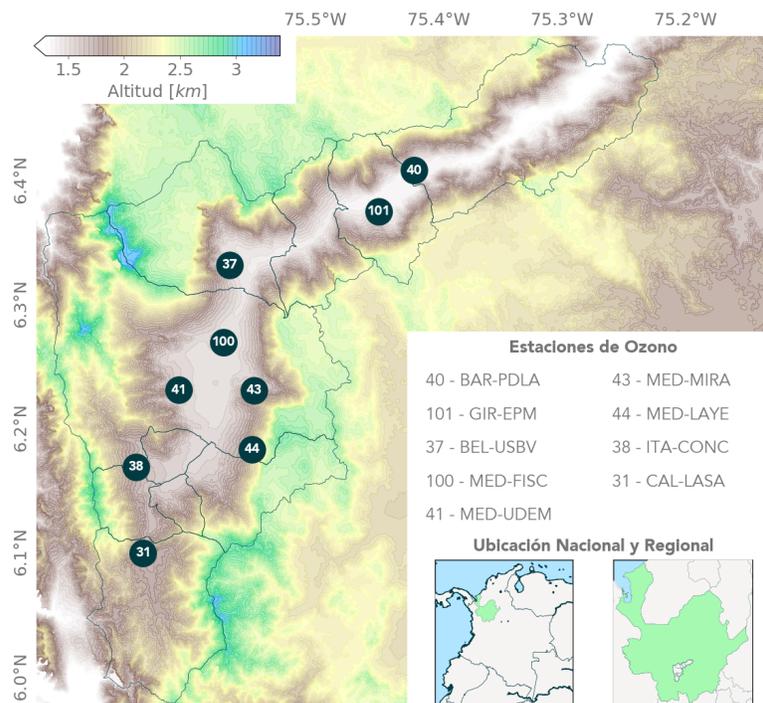


Figura 6.1: Estaciones automáticas de monitoreo de Ozono.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Concentraciones octohorarias de Ozono

En la Tabla 6.1 se presentan los valores máximos octohorarios (VM8H) de las concentraciones de ozono obtenidas durante el mes de Diciembre de 2021 para las distintas estaciones que monitorean esta variable. Adicionalmente, se presentan el número de excedencias a la norma octohoraria (NEN8H). Puede observarse como durante el mes, y para las diferentes estaciones, se presentaron un total de 11 excedencias a la norma octohoraria colombiana, definida como $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Resolución 2254 del 2017 (Ministerio

de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). La estación ITA-CONC presentó la mayor cantidad con 8 excedencias. En la estación ITA-CONC se obtuvo la concentración octohoraria más alta durante el mes de Diciembre de 2021, igual a 115.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	BAR-PDLA	GIR-EPM	BEL-USBV	MED-FISC	MED-UDEM	MED-MIRA	MED-LAYE	ITA-CONC	CAL-LASA
MEDIA	23.1	26.4	16.3	19.2	NP	12.5	24.0	25.9	23.8
VM8H	57.5	64.8	60.4	100.1	102.3	60.2	91.6	115.8	101.1
NEN8H	0	0	0	1	1	0	0	8	1

Tabla 6.1: Estadísticos Diciembre 2021 Ozono

Nota: 1. MEDIA: Valor promedio para el mes, VM8H: Valor máximo octohorario, NEN8H: número de excedencias del nivel máximo permisible octohorario. 2. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Ciclo Diurno de la Concentración de Ozono

La Figura 6.2 presenta el ciclo diurno de la concentración de Ozono para las diferentes estaciones de monitoreo automático. Puede observarse como existe un comportamiento similar en cada una de las gráficas, las cuales presentan un ciclo unimodal para la concentración de ozono a lo largo del día, presentando su pico máximo cerca del medio día.

Este comportamiento unimodal tan marcado en las concentraciones de ozono se explica principalmente por el ciclo diurno de la radiación solar. Para la formación de ozono a nivel troposférico se necesitan básicamente dos condiciones: la presencia de óxidos de nitrógeno o compuestos orgánicos volátiles dentro de la atmósfera y la presencia de luz solar. A medida que la luz solar incide sobre la atmósfera las moléculas de NO_2 son disociadas mediante fotólisis en NO y una molécula de oxígeno atómico, esta última reacciona con las moléculas de oxígeno (O_2) presentes en la atmósfera para formar Ozono a nivel troposférico. Es por tal motivo que a medida que se incrementa la radiación en la superficie, aumenta la concentración de ozono y a medida que la radiación disminuye también lo hace la concentración de ozono. Todo esto puede comprobarse en la Figura 6.2.

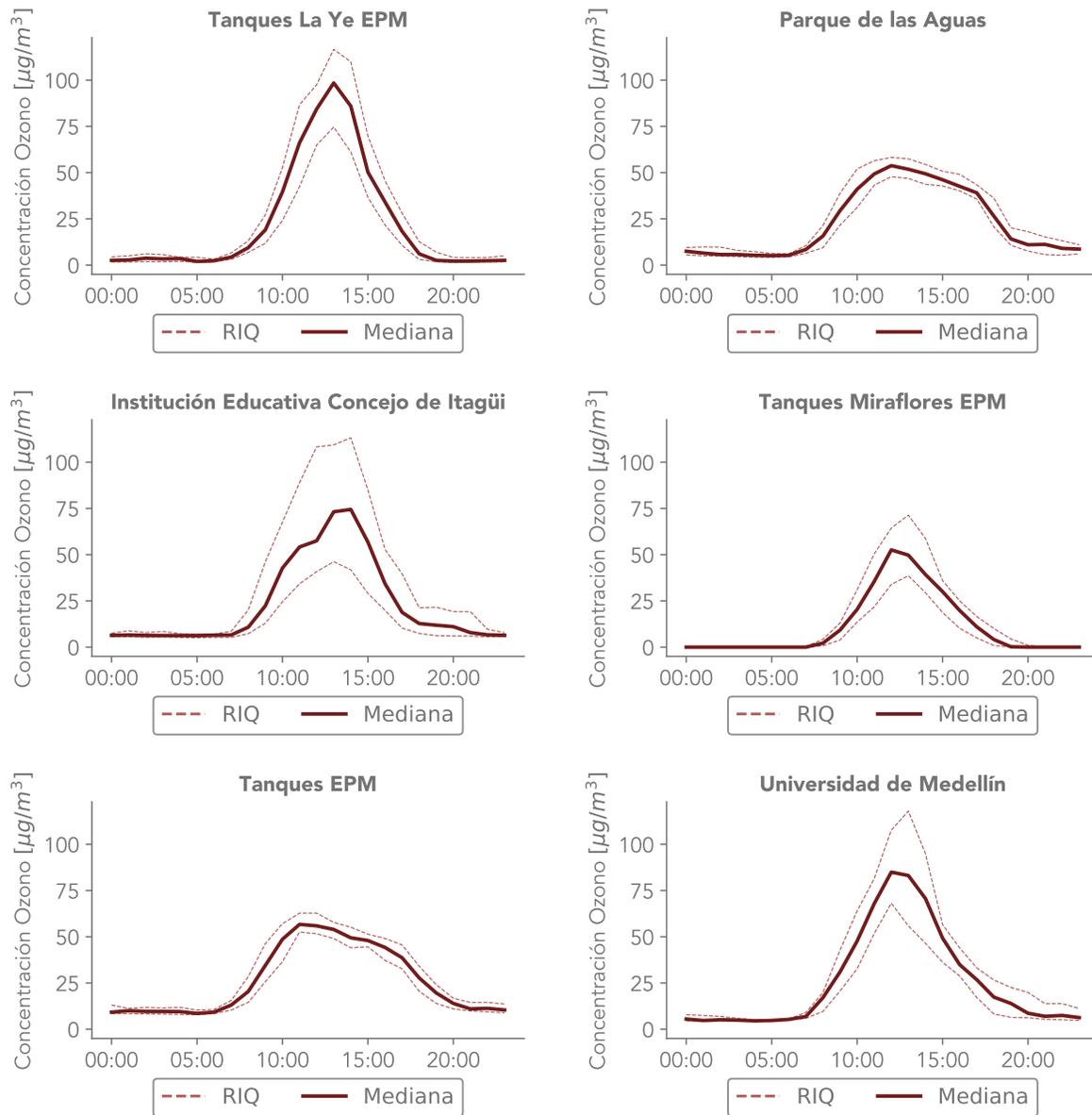


Figura 6.2: Ciclo diario de Ozono para las estaciones automáticas.

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil

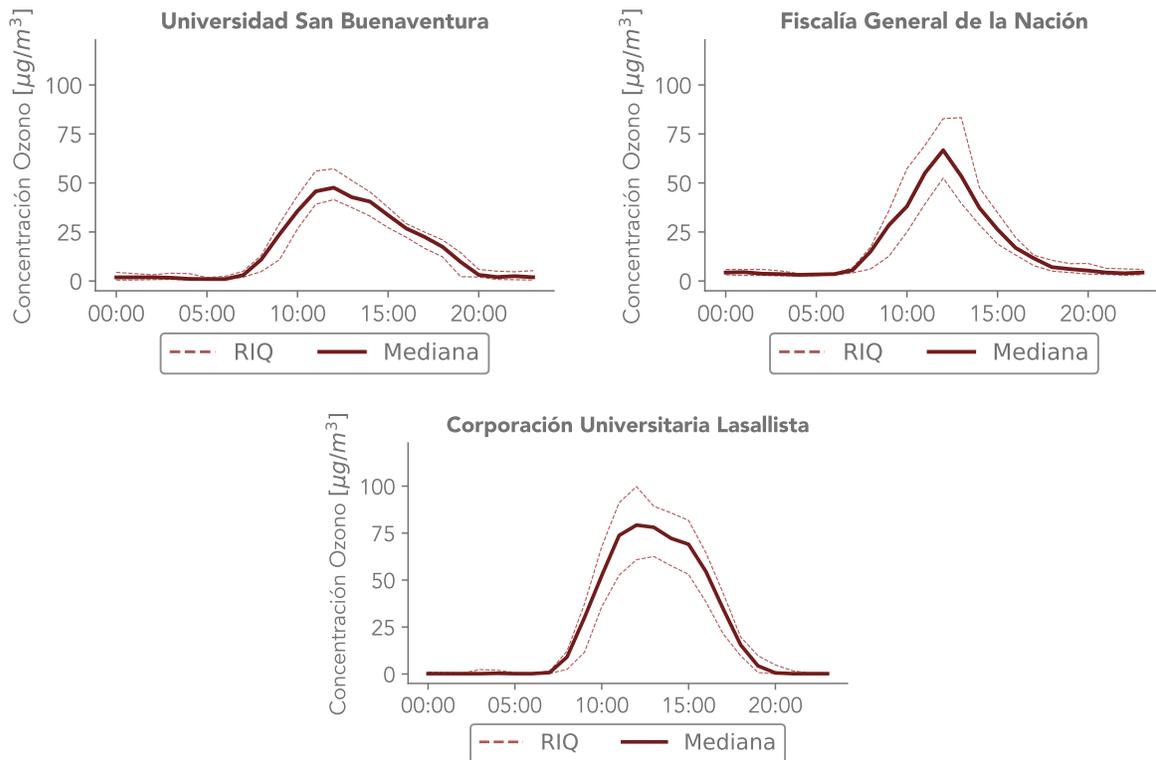


Figura 6.2: Continuación

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Índice de Calidad del Aire (ICA) para concentraciones horarias y octohorarias de ozono

En la Figura 6.3 se muestra el porcentaje del ICA para las concentraciones horarias en las diferentes estaciones durante el mes de Diciembre del 2021. Según los resultados mostrados, las concentraciones horarias de ozono obtenidas durante el mes fueron inferiores al punto de corte definido para el cálculo de ICA asociado a Ozono, igual a $245 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En la Tabla 3.2 se reportan los puntos de corte para el índice de calidad de aire asociado a las concentraciones horarias de Ozono.

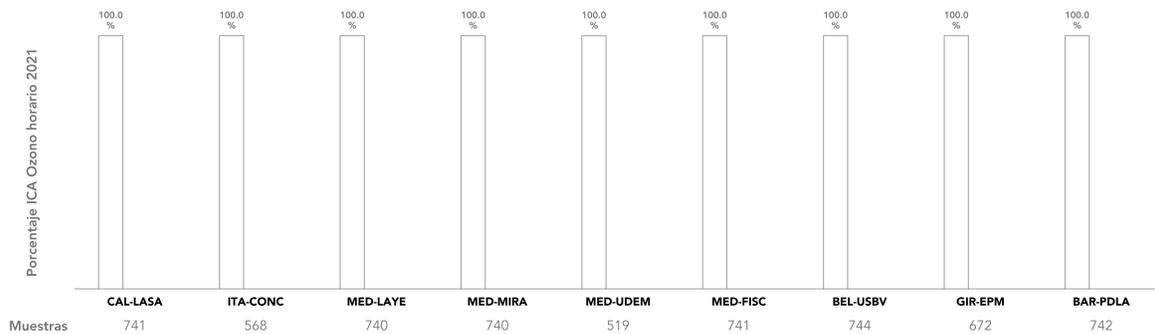


Figura 6.3: Porcentaje de las distintas categorías del ICA para las concentraciones horarias de Ozono.
Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

La Figura 6.4 muestra el porcentaje del ICA para el ozono octohorario en las diferentes estaciones durante el mes de Diciembre del 2021. Puede observarse como la mayoría de estaciones presentaron valores de ICA correspondientes a la clasificación buena. En cuanto al porcentaje de excedencia de la norma octohoraria, la estación ITA-CONC presentó el mayor porcentaje de excedencias igual a 1.43 %.

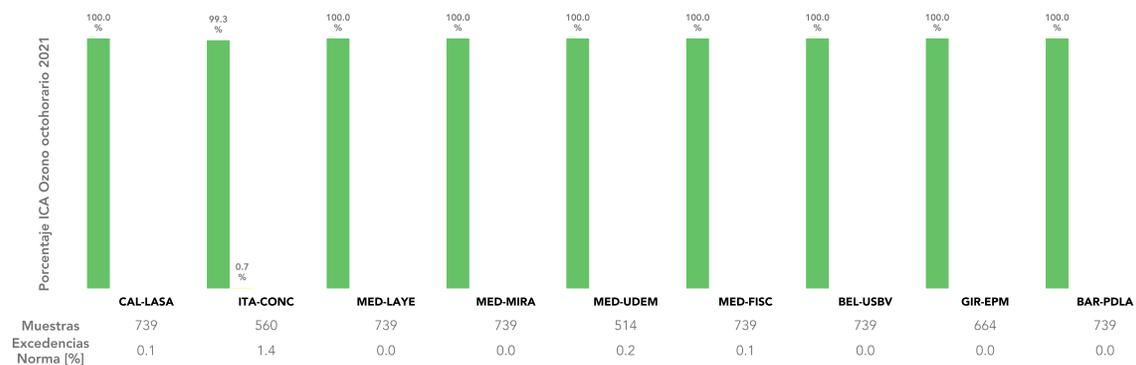


Figura 6.4: Variación porcentual de las distintas categorías del ICA para las concentraciones octohorarias de Ozono.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

7 Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

La suma entre el Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y el Monóxido de Nitrógeno (NO) se conoce como los Óxidos de Nitrógeno (NO_x). Ambas moléculas forman juntas una familia química. El NO es el óxido de nitrógeno que más se forma durante los procesos de combustión mientras que el NO_2 es emitido en pequeñas cantidades. El NO_2 también se forma dentro de la atmósfera por los procesos de oxidación del NO , pudiendo alcanzar concentraciones considerables en áreas altamente contaminadas.

La red de calidad del aire cuenta con 7 estaciones de monitoreo automático de NO_x , NO_2 y NO ubicadas en 4 de los 10 municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La Figura 7.1 presenta el mapa con la ubicación geográfica de las diferentes estaciones.

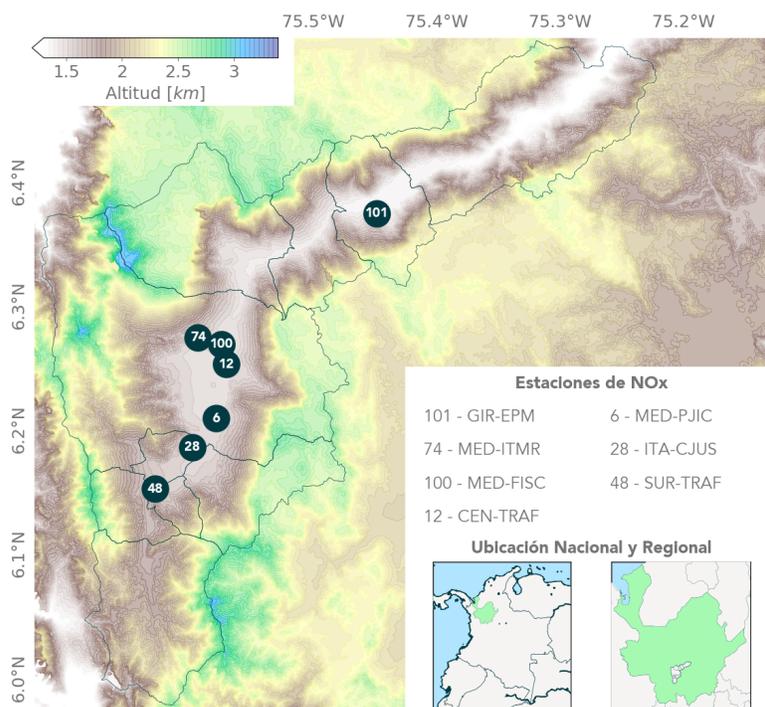


Figura 7.1: Estaciones automáticas de monitoreo de NO_x .

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

El dióxido de nitrógeno es de especial interés dado su papel esencial en la formación de ozono troposférico, además de representar un riesgo para la población pudiendo afectar las funciones respiratorias mediante la irritación del tracto respiratorio.

Ciclo Diurno de la Concentración de NO_x

La Figura 7.2 presenta el ciclo diurno de la concentración de NO_x para las diferentes estaciones de monitoreo automático. Puede observarse como existe un comportamiento similar en cada una de las gráficas, las cuales presentan un ciclo bimodal para la concentración de NO_x a lo largo del día, con un período de mayores concentraciones entre las 06:00 y las 10:00 y uno un poco menos pronunciado entre las 19:00 y las 23:00.

Para comprender el comportamiento diurno de los NO_x , es necesario mencionar algunas características importantes en la química de estos contaminantes. En primer lugar durante el día el NO_2 y el NO se interconvierten mediante el ciclo fotoquímico de los NO_x , sin embargo durante la noche el NO_2 no puede dividirse por fotólisis, y por tanto la química de la familia NO_x resulta ser muy diferente, el NO reacciona con el O_3 para formar NO_2 , y este último a su vez reacciona con O_3 para formar NO_3 , es por tal motivo que se espera que las concentraciones de ambos contaminantes sean mucho menores en la noche que en el día, y que a su vez la concentración del NO sea menor que la del NO_2 . Otro aspecto importante para el entendimiento del ciclo diurno es el papel de la meteorología. Como ya se ha mencionado anteriormente la estabilidad juega un papel muy importante en la mezcla y dispersión de contaminantes, por tal motivo es de esperarse que en las horas de la tarde se presenten las mínimas concentraciones de NO_x , NO_2 y NO .

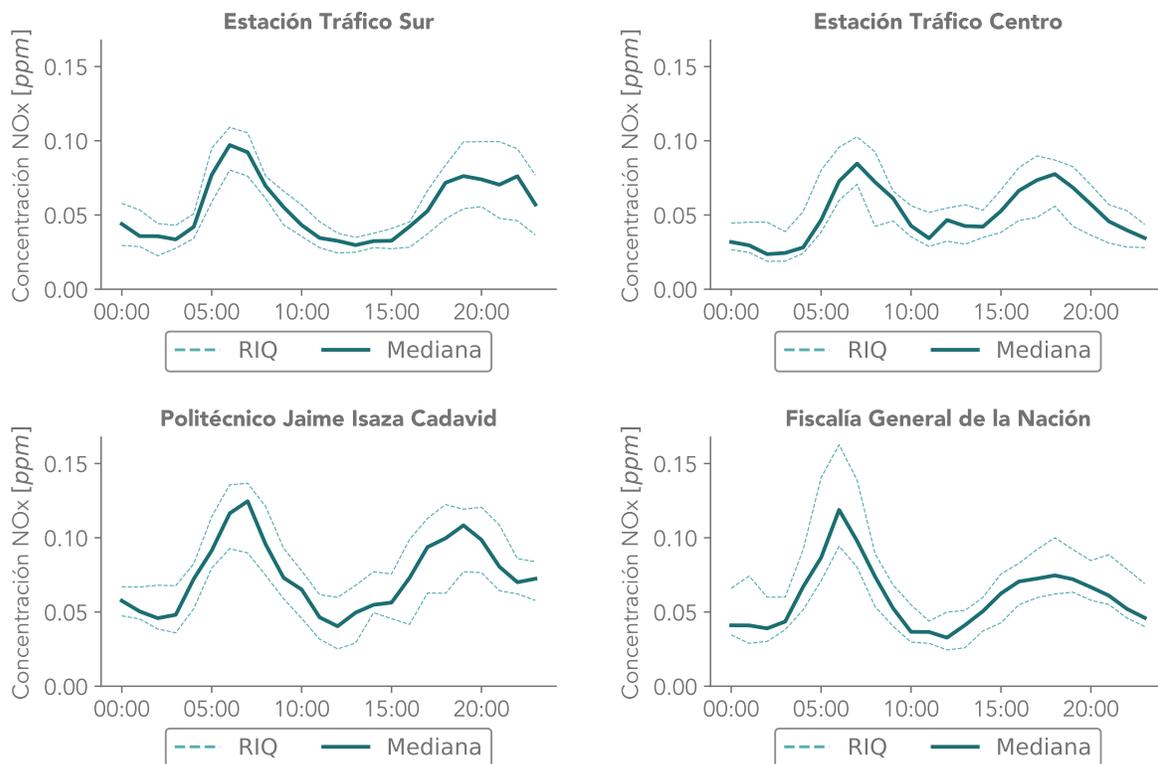


Figura 7.2: Ciclo diurno de NO_x para las estaciones automáticas.

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rancho intercuartil.

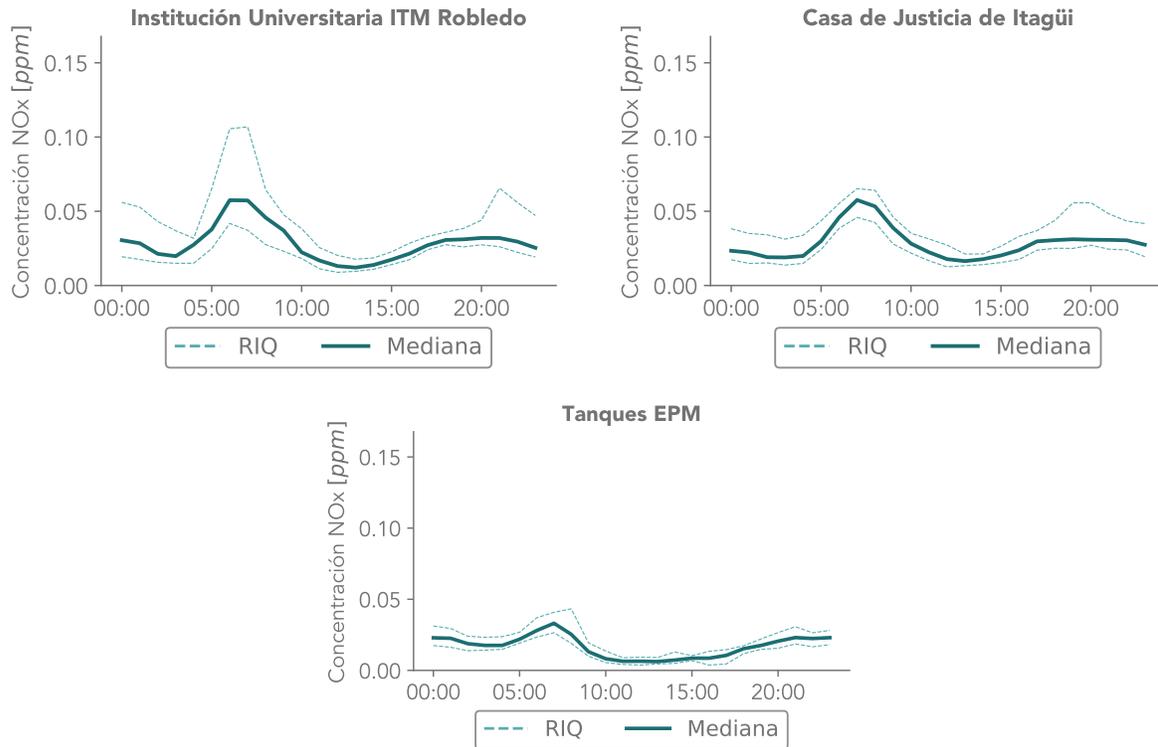


Figura 7.2: Continuación

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil.

Concentración Promedio Diaria de NO₂

En la Figura 7.3 se presenta la concentración promedio diaria de NO₂ obtenida durante el mes de Diciembre de 2021 para las distintas estaciones de monitoreo automático.

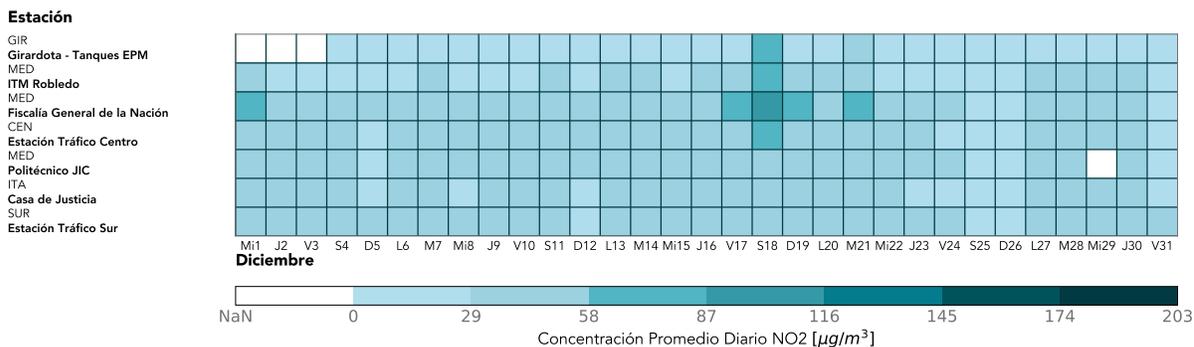


Figura 7.3: Concentraciones de NO₂ para las estaciones automáticas.

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. **2.** En la gráfica NaN corresponde a datos faltantes.

La estación MED-FISC presentó la concentración horaria más alta durante el mes de Diciembre de 2021, igual a 182.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En esta misma estación se obtuvo la mayor concentración promedio de NO₂ durante el mes, igual a 64.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La estación ITA-CJUS fue la estación ubicada por fuera del municipio de Medellín con mayor concentración promedio de NO₂, igual a 22.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la Tabla 7.1 se presentan la concentración promedio, los valores máximos horarios (VM1H) y el número de excedencias a la Norma Horaria (NEN1H) para las concentraciones de NO₂ en cada una de las estaciones. Puede observarse como durante el mes, y para las diferentes estaciones, no se presentaron excedencias a la norma horaria.

	GIR- EPM	MED- ITMR	MED- FISC	CEN- TRAF	MED- PJIC	ITA- CJUS	SUR- TRAF
MEDIA	19.1	29.8	47.2	39.5	37.8	31.9	40.3
VM1H	131.1	127.8	182.8	176.3	125.6	118.9	181.4
NEN1H	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 7.1: Estadísticos Diciembre 2021 NO₂

Nota: 1. MEDIA: Valor promedio para el mes, VM1H: Valor máximo horario, NEN1H: número de excedencias del nivel máximo permisible horario definido para NO₂. 2. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Ciclo Diurno de la Concentración de NO₂

La Figura 7.4 presenta el ciclo diurno de la concentración de NO₂ para las diferentes estaciones de monitoreo automático. Puede observarse que algunas de las estaciones presentan un comportamiento bimodal para la concentración de NO₂ a lo largo del día, con un período de mayores concentraciones entre las 06:00 y las 10:00 y uno un poco menos pronunciado entre las 19:00 y las 23:00.

Para entender el comportamiento del ciclo diurno de este contaminante se remite a la explicación del ciclo diurno de los NO_x descrito en la sección anterior.

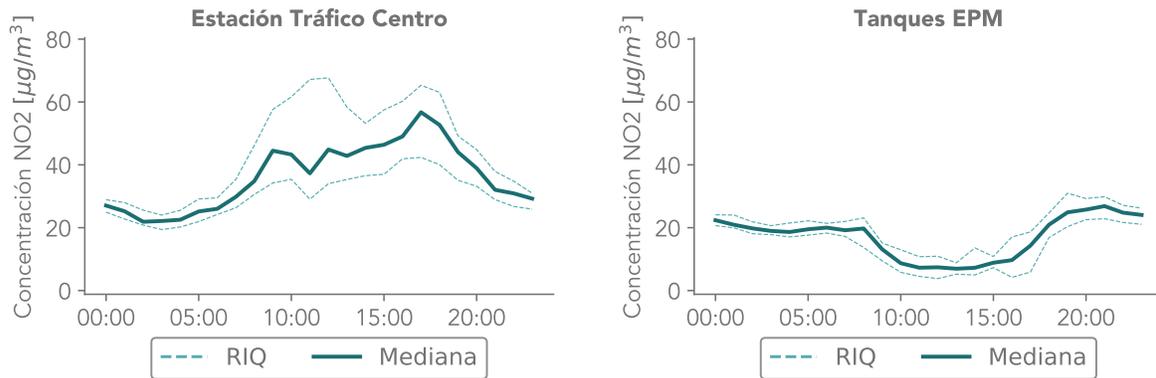


Figura 7.4: Ciclo diurno de NO₂ para las estaciones automáticas.

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil.

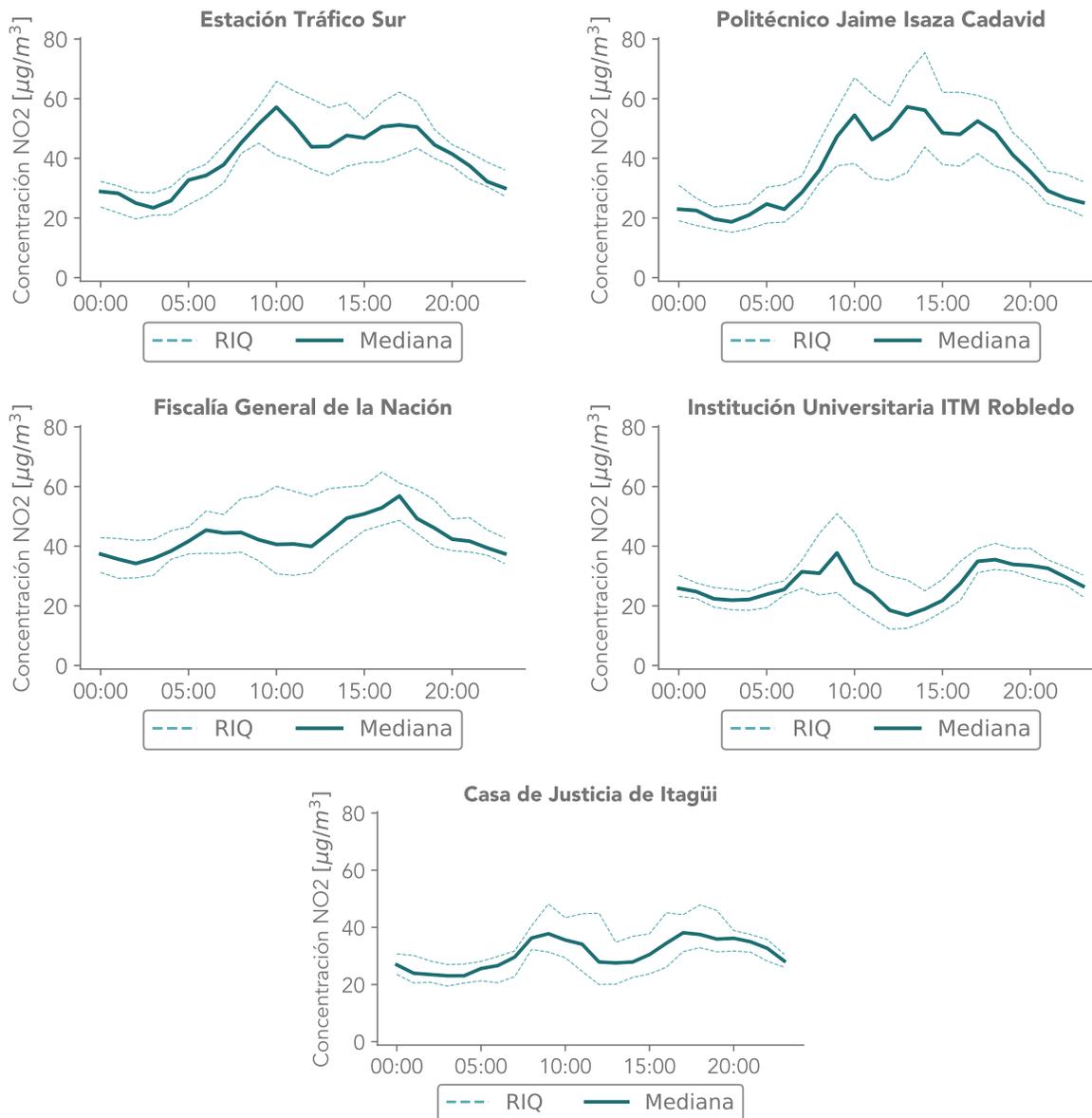


Figura 7.4: Continuación

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil.

Índice de Calidad del Aire (ICA) para las concentraciones horarias de NO₂.

La Figura 7.5 muestra la variación porcentual de las categorías de ICA para las concentraciones horarias de NO₂ en las diferentes estaciones durante el mes Diciembre de 2021. Puede observarse como la mayoría de estaciones presentaron valores de ICA equivalentes a la clasificación buena. La estación GIR-EPM obtuvo la menor cantidad de muestras horarias en el mes con un total de 669. Cabe recordar

que el analizador de NO_x de esta estación salió de operación debido a una sobrecarga eléctrica producto de una descarga atmosférica.

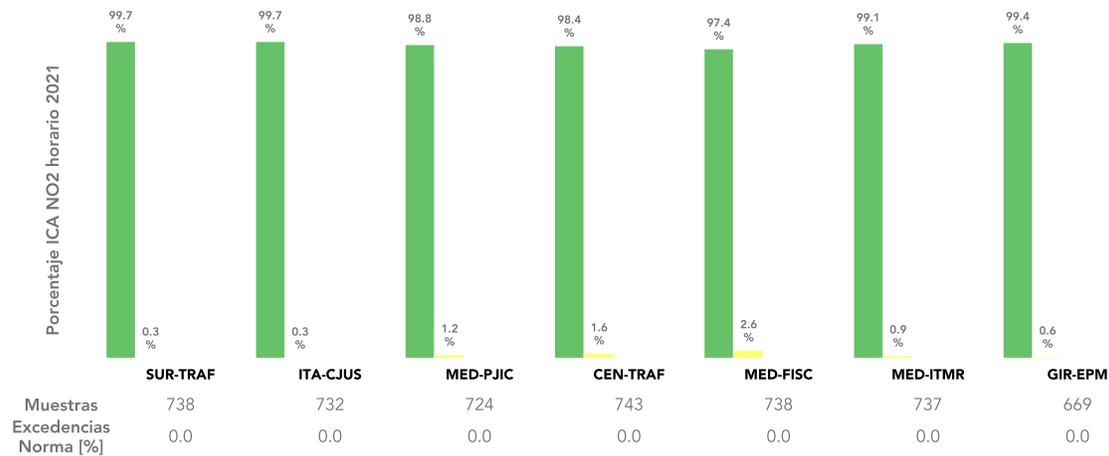


Figura 7.5: Porcentaje de las distintas clasificaciones del ICA para las concentraciones horarias de NO_2
Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Ciclo Diurno de la Concentración de NO

La Figura 7.6 presenta el ciclo diurno de la concentración de NO para las diferentes estaciones de monitoreo automático. Puede observarse como no existe un comportamiento similar en cada una de las gráficas, presentándose tanto comportamientos unimodales como bimodales en las distintas estaciones.

Para entender el comportamiento del ciclo diurno de este contaminante se remite a la explicación del ciclo diurno de los NO_x . A partir de la Figura 7.6 es posible observar para algunas estaciones la disminución significativa de las concentraciones de NO durante las horas de la noche, tal y como se expuso anteriormente. Este tipo de comportamiento podría relacionarse con la interacción con otras dinámicas atmosféricas.

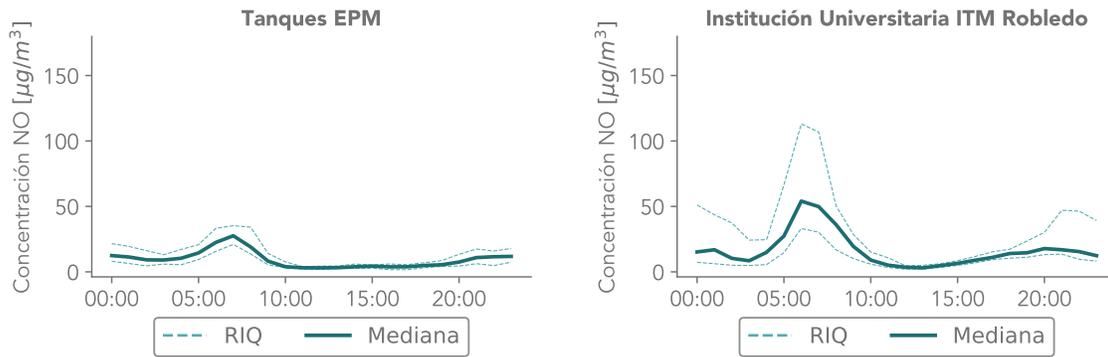


Figura 7.6: Ciclo diario de NO para las estaciones automáticas.

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil.

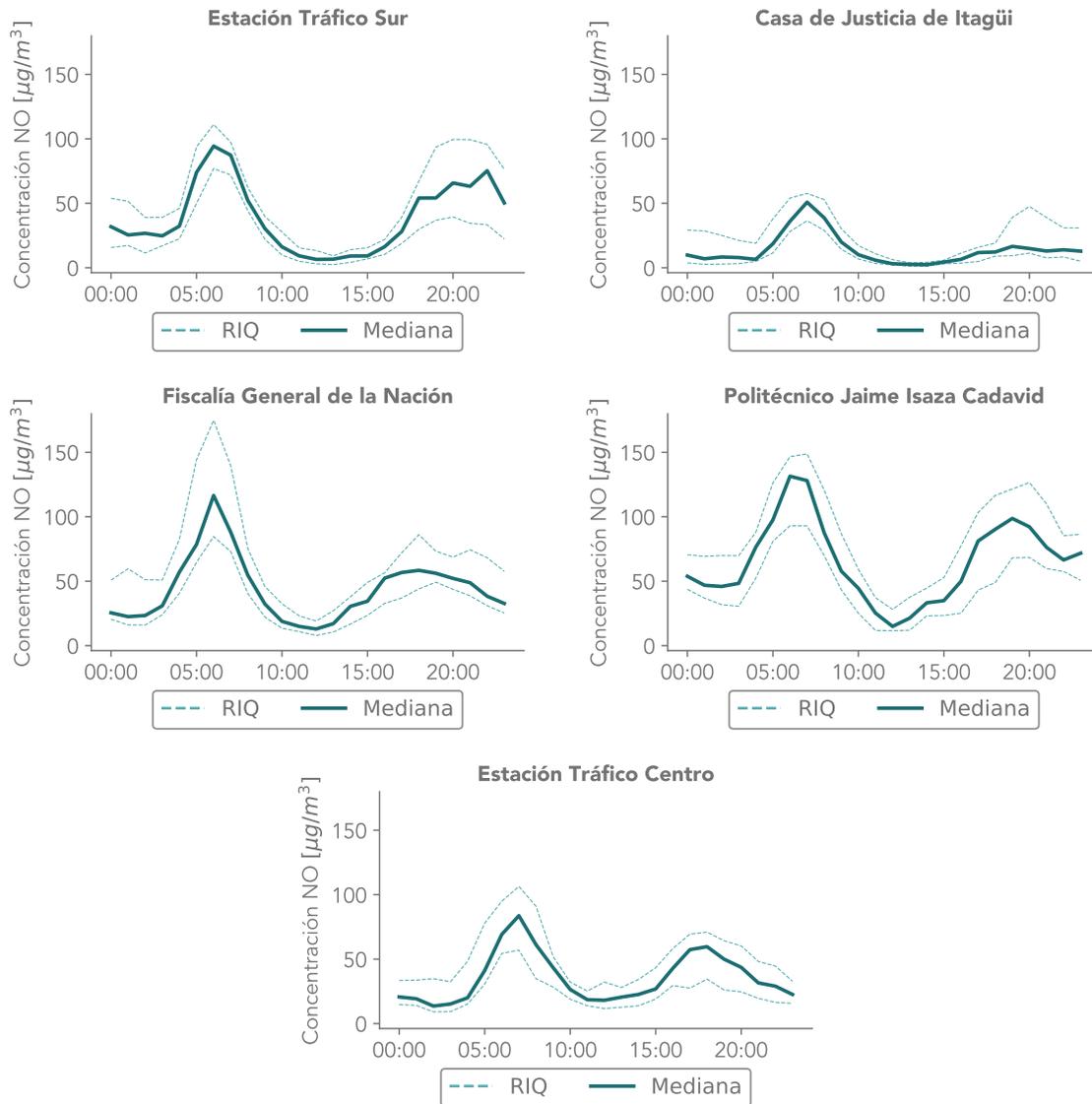


Figura 7.6: Continuación

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil.

8 Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de Carbono (CO) es un contaminante criterio monitoreado por la Red de Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Sus principales fuentes emisoras provienen de la quema de combustible fósil como la gasolina o el petróleo, así como la combustión de madera (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2018). La exposición a este contaminante puede reducir el transporte de oxígeno en el cuerpo, representando así un alto riesgo para la población.

La Red de Calidad del Aire cuenta con 2 estaciones de monitoreo automático de CO, ubicadas en 2 de los 10 municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La Figura 8.1 presenta el mapa con la ubicación geográfica de las diferentes estaciones automáticas de CO.

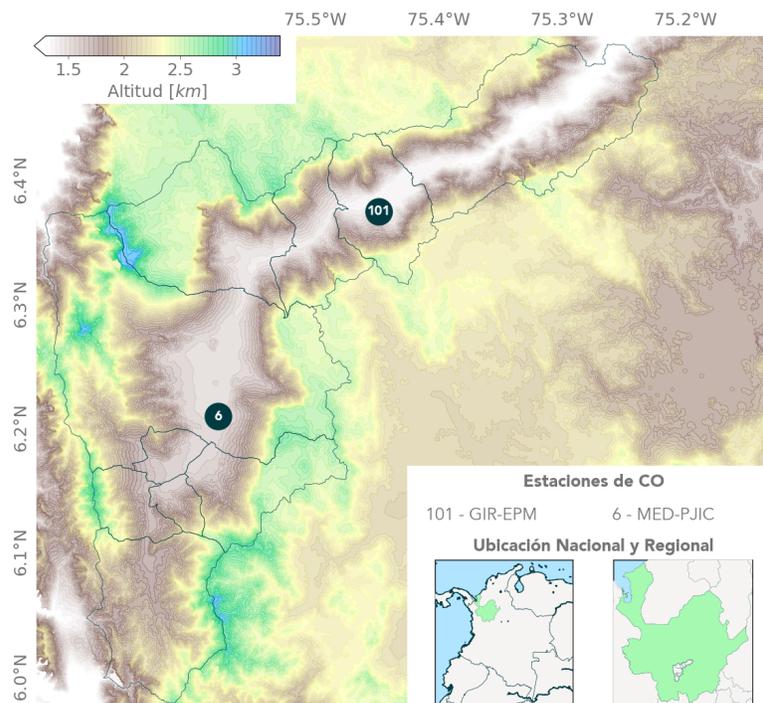


Figura 8.1: Estaciones automáticas de monitoreo de CO.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Concentraciones Horarias y Octohorarias de CO.

En la Tabla 8.1 se presentan los valores máximos horarios (VM1H) y octohorarios (VM8H) de las concentraciones de monóxido de carbono obtenidas durante el mes de Diciembre de 2021 para las distintas estaciones de monitoreo. Adicionalmente se presentan el número de excedencias a las normas horaria (NEN1H) y octohoraria (NEN8H). Puede observarse como durante el mes y para las diferentes estaciones no se presentaron excedencias a la norma octohoraria colombiana (Definida como $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la

Resolución 2254 del 2017). La estación MED-PJIC obtuvo la concentración octohoraria más alta durante el mes de Diciembre de 2021 igual a 3489.8 $\mu g/m^3$. En esta misma estación se obtuvo la concentración horaria más alta igual a 4678.7 $\mu g/m^3$. En cuanto a la norma horaria colombiana (Definida como 35000 $\mu g/m^3$ en la Resolución 2254 del 2017), no se presentaron excedencias al nivel máximo permisible.

	GIR-EPM	MED-PJIC
MEDIA	366.1	1680.9
VM1H	2393.0	4678.7
NEN1H	0	0
VM8H	1930.5	3489.8
NEN8H	0	0

Tabla 8.1: Resumen estadístico de las concentraciones de CO, Diciembre 2021

Nota: 1. MEDIA: Valor promedio para el mes, VM1H: Valor máximo horario, NEN1H: número de excedencias del nivel máximo permisible horario. VM8H: Valor máximo octohorario, NEN8H: número de excedencias del nivel máximo permisible octohorario. 2. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Ciclo Diurno de la Concentración de CO

La Figura 8.2 presenta el ciclo diurno de la concentración de CO para las diferentes estaciones de monitoreo automático. Puede observarse un comportamiento bimodal condicionado principalmente por el ciclo diurno del tráfico y la inestabilización de la atmósfera.

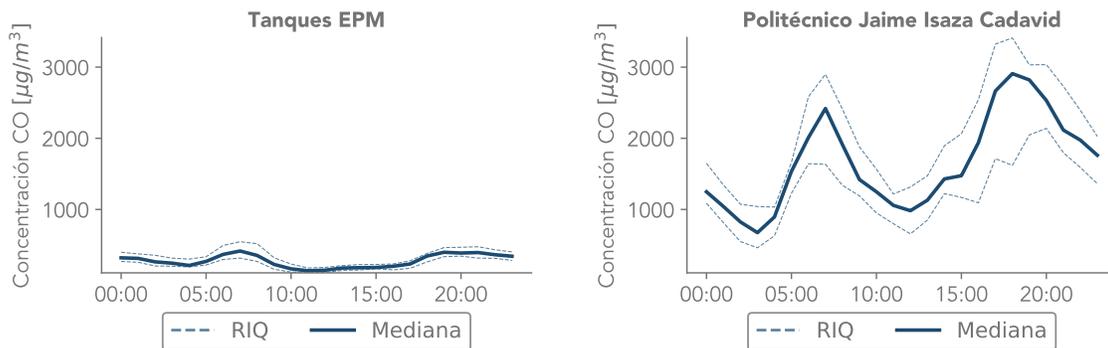


Figura 8.2: Ciclo Diurno de CO para las estaciones de la REDMCA.

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil.

Índice de Calidad del Aire (ICA) para concentraciones octohorarias de CO

La Figura 8.3 muestra la variación porcentual de las categorías de calidad del aire asociadas a las concentraciones octohorarias en la estación durante el mes de Diciembre. Puede observarse como las estaciones presentaron valores de ICA equivalentes a la clasificación buena.

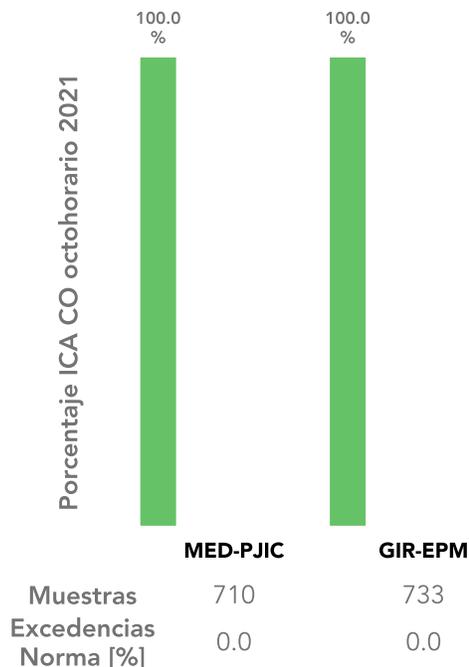


Figura 8.3: Variación porcentual de las categorías de calidad de aire para las concentraciones horarias de CO en las estaciones de monitoreo.

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

9 Dióxido de Azufre (SO₂)

El dióxido de azufre (SO₂) es uno de los contaminantes criterio medidos por la Red de Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Sus fuentes de emisión se atribuyen principalmente a los procesos de combustión del petróleo, el diesel, el carbón y el gas natural, los cuales tienen azufre entre sus componentes. El dióxido de azufre puede afectar las funciones respiratorias aún en bajas concentraciones y es uno de los principales precursores de la lluvia ácida.

La red de calidad del aire cuenta con 2 estaciones de monitoreo automático de SO₂. La Figura 9.1 presenta el mapa con la ubicación geográfica de estas estaciones.

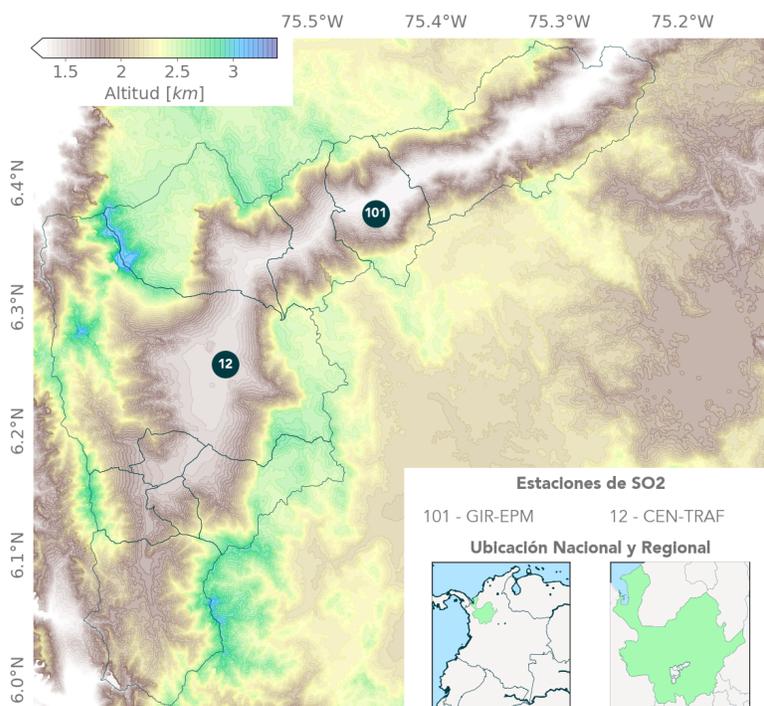


Figura 9.1: Estación automática de monitoreo de SO₂

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Concentración Promedio Diaria de SO₂

En la Figura 9.2 se presenta la variación de las concentraciones promedio diarias de SO₂ obtenidas durante el mes de Diciembre de 2021. Puede observarse como durante el mes no se presentaron excedencias a la norma diaria colombiana (Definida como 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Resolución 2254 del 2017). La concentración diaria máxima durante el mes de Diciembre de 2021 fue igual a 48.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, obtenida en la estación GIR-EPM. En esta misma estación, se presentaron un total de 15 excedencias. Del total de excedencias horarias,

la estación GIR-EPM presentó la mayor cantidad con 14 excedencias. de la norma horaria colombiana, definida como $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Resolución 2254 del 2017,

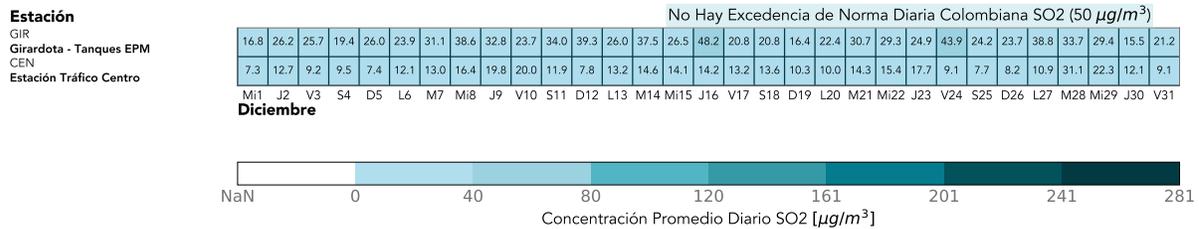


Figura 9.2: Concentración Diaria de SO₂ para la estación automática. Nota: En la gráfica NaN corresponde a datos faltantes.

Nota: 1. CMD: Cantidad de muestras diarias. MAX : Concentración promedio máxima diaria obtenida en el mes. MEDIA: Valor promedio para el mes, MIN: Concentración promedio mínima diaria obtenida en el mes. NEDN: Número de excedencias del nivel permisible máximo diario. VM1H: Valor máximo horario, NEN1H: número de excedencias del nivel máximo permisible horario. 2. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

La Tabla 9.1 presenta los valores medios, mínimos y máximos de la concentración de SO₂ obtenidos durante el mes en las diferentes estaciones de monitoreo.

	GIR-EPM	CEN-TRAF
CMD	31	31
MAX	48.2	31.1
MEDIA	28.1	13.2
MIN	15.5	7.3
NEND	0	0
VM1H	210.8	106.5
NEN1H	14	1

Tabla 9.1: Estadísticos resumen de SO₂.Diciembre de 2021.

Nota: 1. CMD: Cantidad de Muestras Diarias; MAX, MIN: Concentraciones máximas y mínimas diarias obtenida durante el mes; NEND: Número de excedencias a la norma diaria; VM1H: Valor máximo horario; NEN1H: Número de excedencias a la norma horaria; NP: No se presenta resultado dado que no se obtuvo el 75 % de los datos válidos requeridos. 2. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Ciclo Diurno de la Concentración de SO₂

La Figura 9.3 presenta el ciclo diurno de la concentración de SO₂ para las estaciones GIR-EPM y CEN-TRAF. Puede observarse como existe un comportamiento bimodal de las concentraciones de SO₂

a lo largo del día, con un máximo entre las 07:00 y las 09:00. La estación GIR-EPM es la estación con mayores concentraciones promedio horarias.

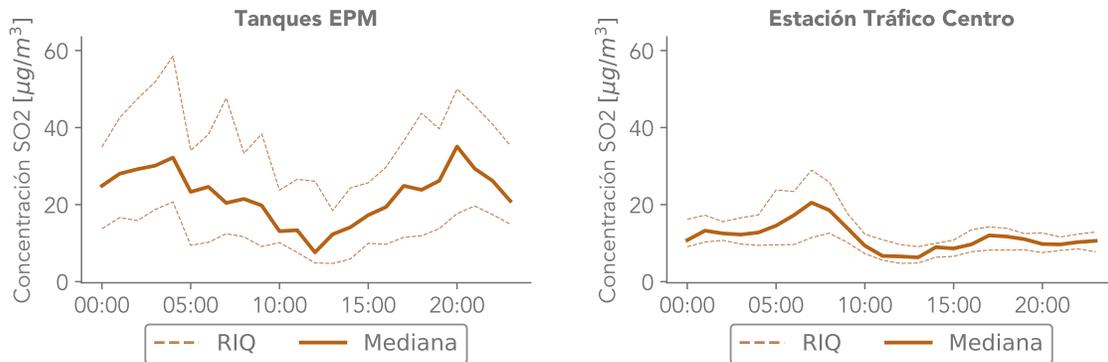


Figura 9.3: Ciclo Diurno de SO_2 para las estaciones de la REDMCA.

Nota: 1. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones. 2. RIQ : Rango intercuartil.

Índice de Calidad del Aire (ICA) para las concentraciones horarias de SO_2

La Figura 9.4 muestra la variación porcentual de las categorías de calidad de aire asociadas a las concentraciones horarias de SO_2 durante el mes de Diciembre del 2021. Es posible observar que para los registros obtenidos durante el mes se alcanzaron concentraciones categorizadas como buenas y moderadas. Esta última categoría solamente se alcanzó en la estación GIR-EPM

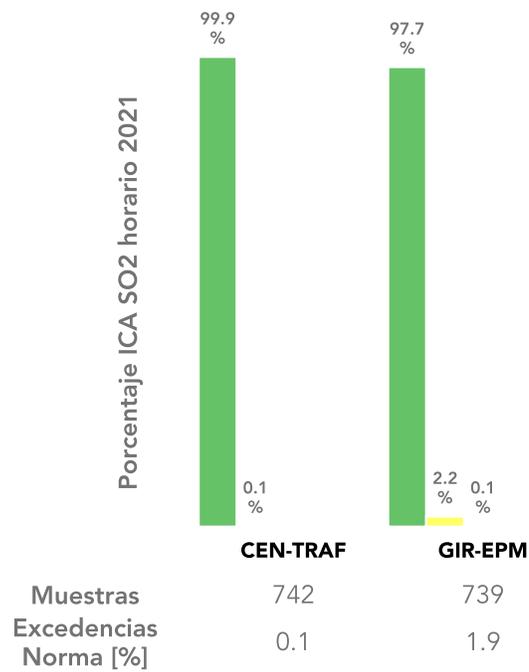


Figura 9.4: Porcentaje de días en las distintas categorías del ICA para la estación de SO₂

Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

10 Meteorología

El monitoreo de variables meteorológicas es de especial importancia para el entendimiento de la calidad del aire en una región determinada, debido al papel fundamental que representa para el transporte y dispersión de contaminantes. La red de calidad del aire cuenta con 15 estaciones de monitoreo automático de variables meteorológicas, ubicadas en 8 de los 10 municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La Figura 10.1 presenta el mapa con la ubicación geográfica de las diferentes estaciones automáticas. Por otra parte, en la Tabla 10.1 se muestran los nombres completos de las estaciones con su respectiva sigla.

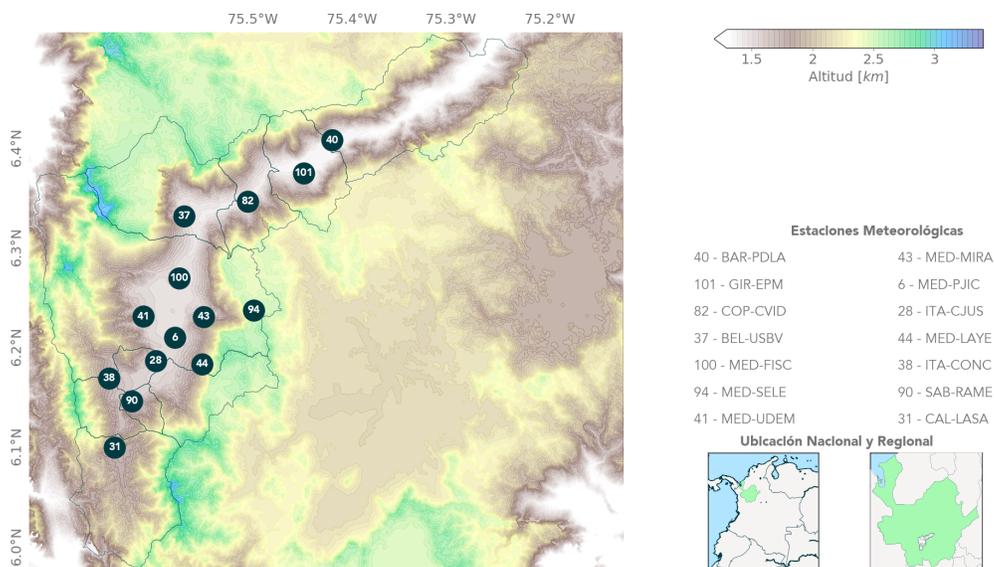


Figura 10.1: Estaciones automáticas de monitoreo de Meteorología.

Nota: En la Tabla 10.1 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Estación	Sigla	Código numérico	Municipio
Estación Tráfico Sur	SUR-TRAF	48	Sabaneta
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	MED-PJIC	6	Medellín
Casa de Justicia de Itagüí	ITA-CJUS	28	Itagüí
Fiscalía General de la Nación	MED-FISC	100	Medellín
Copacabana Ciudadadela de la vida	COP-CVID	82	Copacabana
Institución Educativa Rafael J. Mejía	SAB-RAME	90	Sabaneta
Tanques EPM	GIR-EPM	101	Girardota
Universidad de Medellín	MED-UDEM	41	Medellín
Universidad San Buenaventura	BEL-USBV	37	Bello
Tanques Miraflores	MED-MIRA	43	Medellín
Tanques La Ye	MED-LAYE	44	Medellín
Concejo de Itagüí	ITA-CONC	38	Itagüí
Corporación Universitaria Lasallista	CAL-LASA	31	Caldas
Parque de las Aguas	BAR-PDLA	40	Barbosa
Santa Elena	MED-SELE	94	Medellín

Tabla 10.1: Estaciones meteorológicas que operaron durante el mes de Diciembre de 2021.

La Tabla 10.2 muestra el porcentaje de datos válidos para las variables meteorológicas en cada una de las estaciones de monitoreo. En esta tabla, P es presión atmosférica, PPT es precipitación, T es temperatura del aire, RG es radiación solar global, HR representa humedad relativa, VV es la velocidad del viento, y DV es la dirección del viento. Según los resultados mostrados, las estaciones MED-SELE, ITA-CONC y SUR-TRAF reportaron un porcentaje de datos válidos inferior al 75 % para la totalidad de sus sensores. En el caso de la estación MED-SELE, durante el mes de Julio se presentaron problemas en el protocolo de almacenamiento y transmisión de los datos. Por otra parte, en la estación ITA-CONC se realizaron adecuaciones por parte de la institución, las cuales implicaron la suspensión de la operación de los sensores. Finalmente, debido a una sobrecarga eléctrica generada por una descarga atmosférica, los equipos de la estación SUR-TRAF estuvieron fuera de funcionamiento gran parte del mes de Julio.

Es necesario aclarar que del total las estaciones meteorológicas reportadas en este informe, los sensores ubicados en las estaciones BEL-USBV e ITA-CJUS son marca Met-One y miden radiación incidente, mientras que los demás equipos son marca Thies y Vaisala. Los datos pertenecientes a los sensores Met-One son procesados y validados por el equipo de calidad del aire del SIATA, que a su vez se encarga de la operación de los equipos de monitoreo de calidad de aire y ruido ambiental. En el caso de las estaciones meteorológicas Thies y Vaisala, el mantenimiento, la recepción y la validación de los datos obtenidos está a cargo del área de hidrometeorología del SIATA. Dicho proceso se hace de manera integral con los demás equipos técnicos pertenecientes al proyecto, y se completan transcurridos dos meses a partir del mes de la medición, por esta razón los porcentajes de datos válidos pueden variar si son consultados antes del tiempo de cierre. La calidad de los datos de estas estaciones depende, además de los procesos de validación propios del área de hidrometeorología, de los protocolos de actualización manual de datos adquiridos con el fin de completar las series de tiempo medidas en cada variable con el fin de obtener el mayor número posible de datos catalogados de buena calidad.

Tabla 10.2: Porcentaje de datos válidos Meteorología.

Estaciones	P	PPT	T	RG	HR	VV	DV
BAR-PDLA	99.9	99.9	99.9		99.9	99.9	99.9
GIR-EPM	55.5	55.5	55.5		55.5	55.5	55.5
COP-CVID	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
BEL-USBV	95.2		99.7	100.0	100.0	87.2	100.0
MED-FISC	96.6	96.6	96.6		96.6	96.6	96.6
MED-SELE	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MED-UDEM	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MED-MIRA	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
MED-PJIC	97.7	97.7	97.7		97.7	97.2	97.7
ITA-CJUS	98.7		97.6	100.0	100.0	94.6	100.0
MED-LAYE	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
ITA-CONC	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
SAB-RAME	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0
CAL-LASA	100.0	100.0	100.0		100.0	99.9	100.0

Nota: En la Tabla 10.1 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Ciclo Diurno de la Radiación Solar, Temperatura y Humedad Relativa

La Figura 10.2 presenta el ciclo diurno de las variables meteorológicas radiación solar, temperatura y humedad relativa. Es posible observar en esta figura la fuerte relación que existe entre las diferentes variables; la temperatura depende esencialmente de la radiación solar, es por esto que se observa claramente como el máximo de ambas variables se encuentra cerca del medio día.

La variación de la humedad relativa se puede asociar a su vez a la temperatura del aire, dado que a mayor temperatura, mayor evaporación. Se observa por tanto para las diferentes estaciones que a medida que la temperatura incrementa, disminuye la humedad relativa, presentando los valores mínimos cerca del medio día. Las diferencias en el máximo de la radiación solar entre los distintos puntos de monitoreo se deben principalmente a factores como la nubosidad.

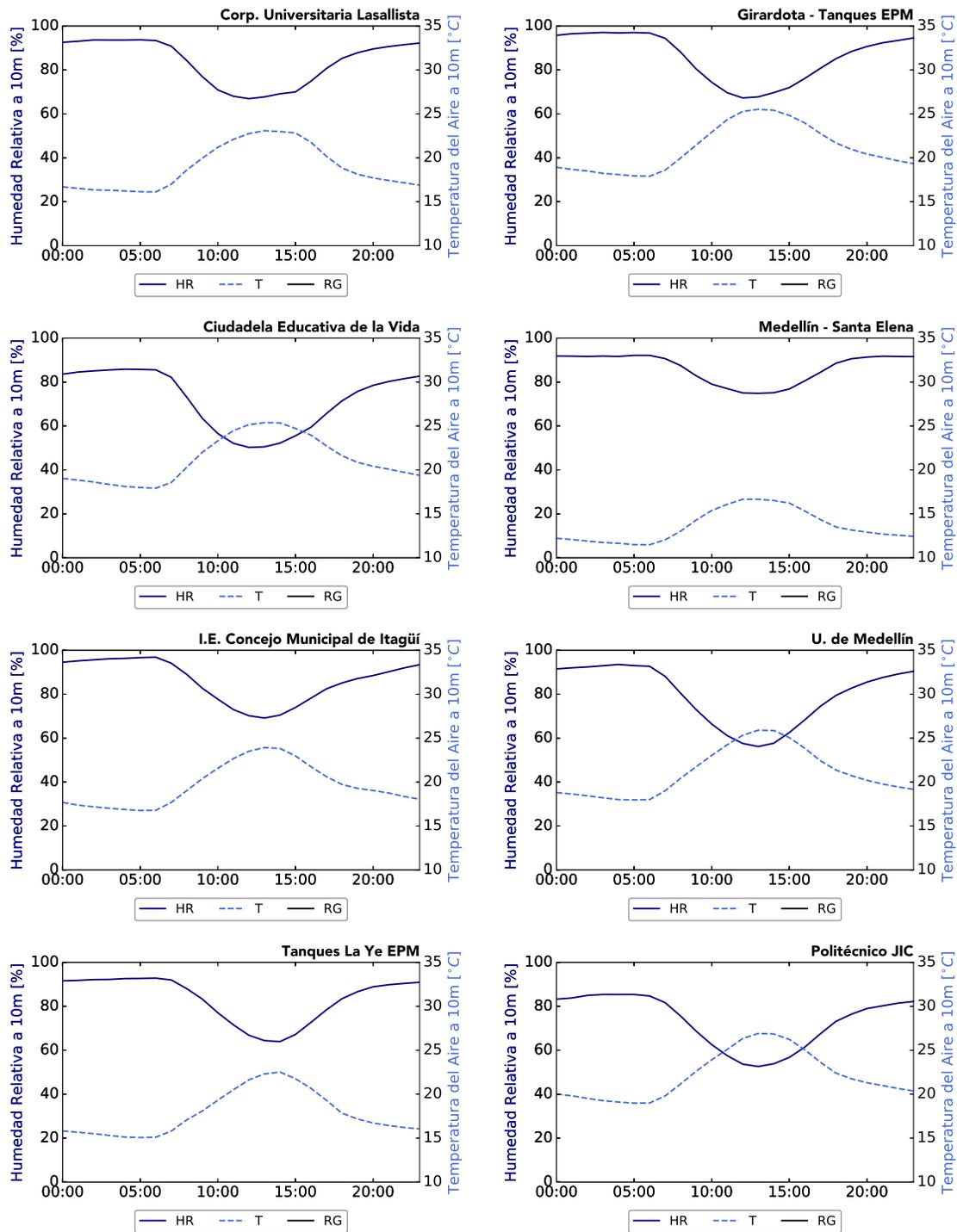


Figura 10.2: Radiación Solar, Temperatura y Humedad Relativa para las distintas estaciones.

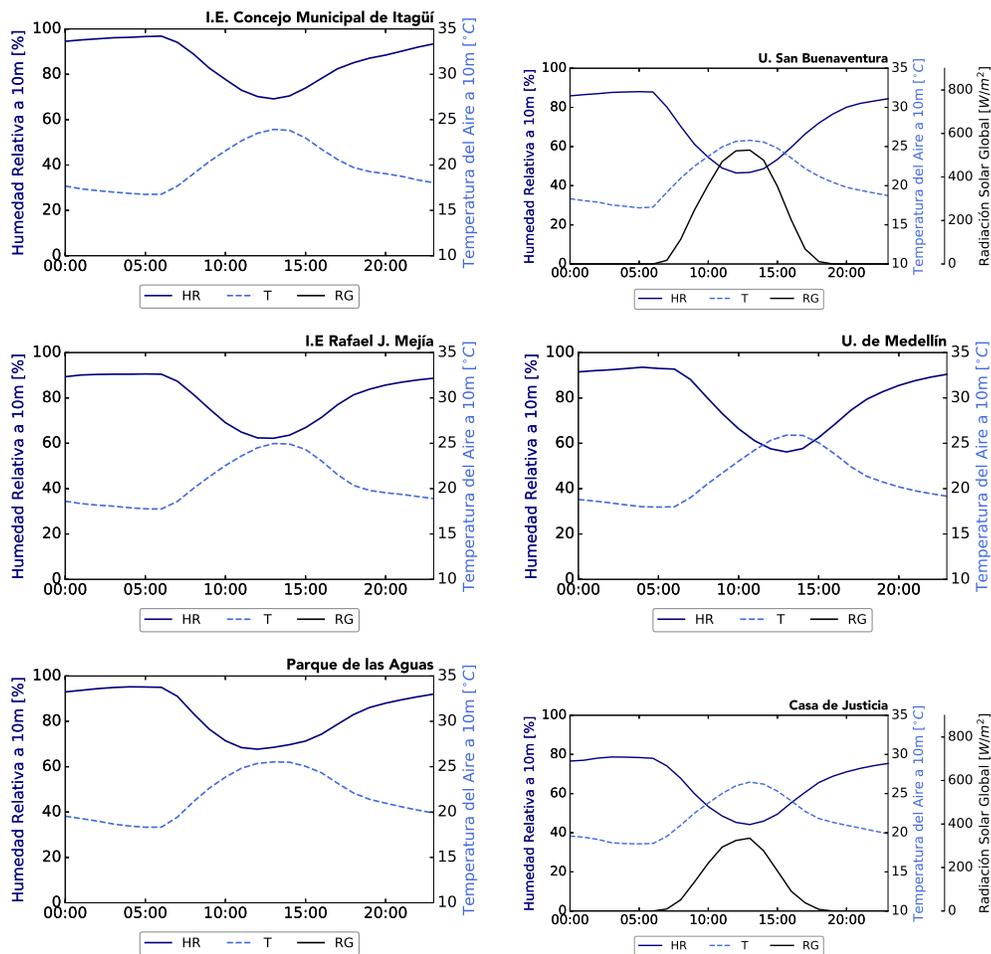


Figura 10.2: Continuación

Precipitación

La Figura 10.3 presenta la precipitación horaria y acumulada para el mes de Diciembre de 2021. Por otra parte, la Tabla 10.3 muestra el máximo acumulado horario, máximo acumulado diario, el acumulado mensual y los días sin precipitación para las distintas estaciones en las que se monitorea esta variable.

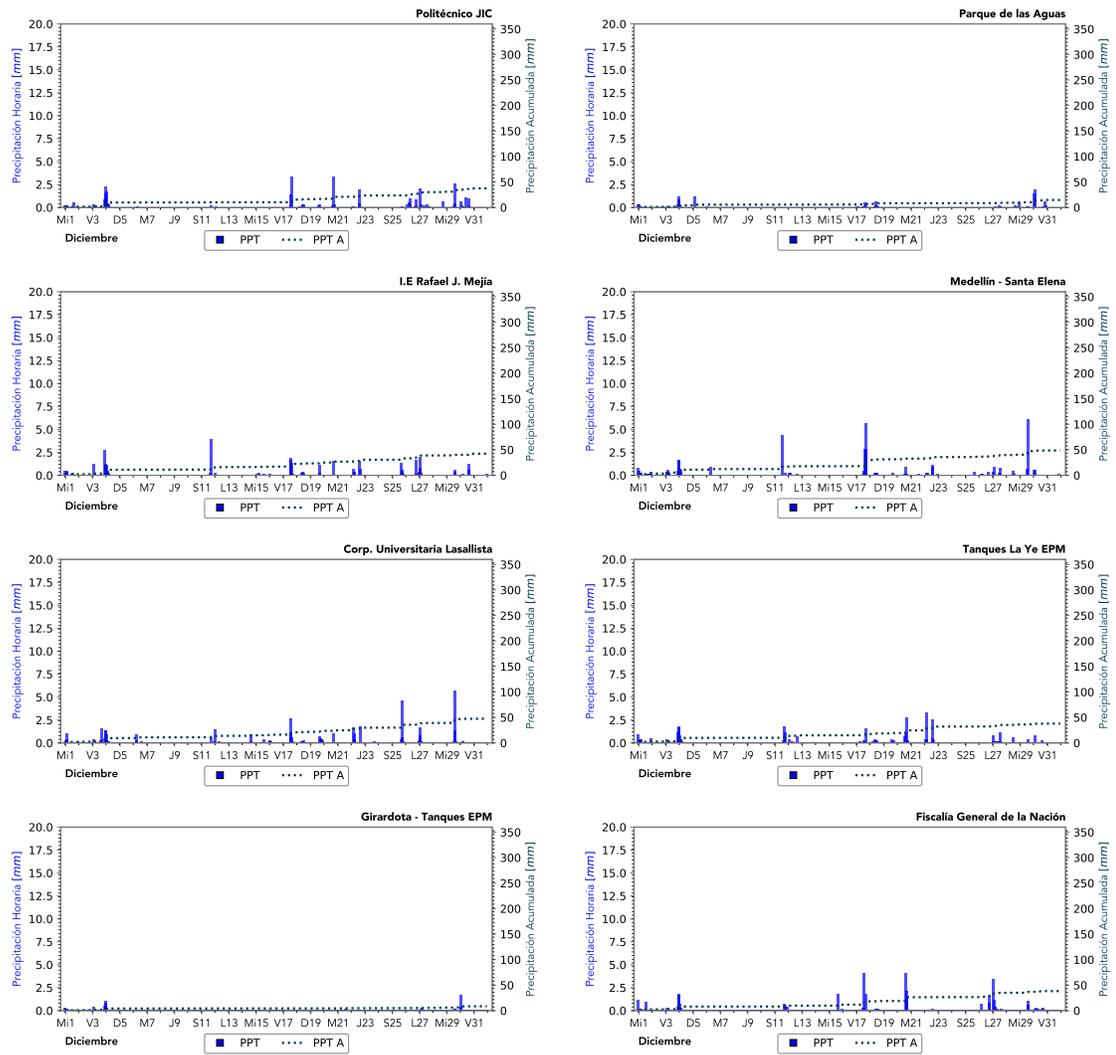


Figura 10.3: Precipitación horaria y acumulada para las distintas estaciones.

Nota: En la Tabla 10.1 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

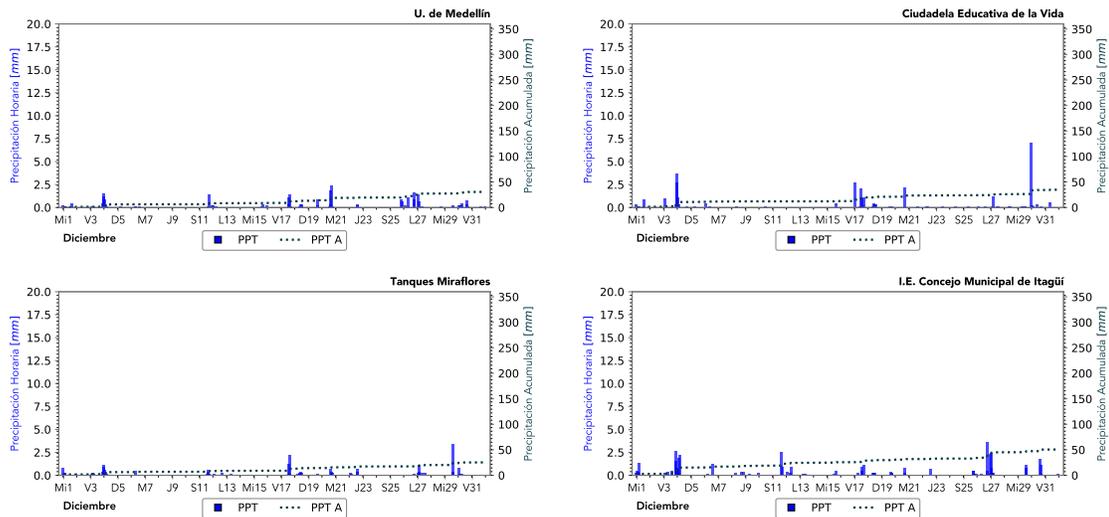


Figura 10.3: Continuación

Tabla 10.3: Estadísticos Precipitación

Estación	Acumulado Mensual (mm)	Días Sin Precipitación	Máximo Acumulado Diario (mm)	Máximo Acumulado Horario (mm)
BAR-PDLA	14.8	8.0	4.5	2.0
GIR-EPM	8.6	15.0	2.3	1.7
COP-CVID	34.9	2.0	7.4	7.0
MED-FISC	38.4	10.0	7.4	4.1
MED-SELE	48.9	11.0	12.1	6.1
MED-UDEM	30.6	6.0	4.6	2.4
MED-MIRA	25.3	8.0	3.8	3.4
MED-PJIC	37.5	9.0	5.0	3.3
MED-LAYE	38.0	7.0	7.4	3.3
ITA-CONC	50.6	5.0	6.4	3.6
SAB-RAME	42.5	8.0	5.4	3.9
CAL-LASA	47.6	4.0	7.6	5.7

Nota: En la Tabla 10.1 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

Vientos

Las Figuras 10.4, 10.5 y 10.6 presentan las rosas de vientos diurnas, nocturnas y totales, respectivamente, para las diferentes estaciones meteorológicas. Estas rosas de viento brindan información acerca

de la distribución de las velocidades de los vientos y de la frecuencia con la que estos se presentan con determinada orientación a lo largo del día.

Como puede observarse a partir de las Figuras, la orientación de donde provienen los vientos varia de estación a estación dentro del área metropolitana tanto en horario diurno como nocturno, así mismo sucede con la velocidad de los vientos.

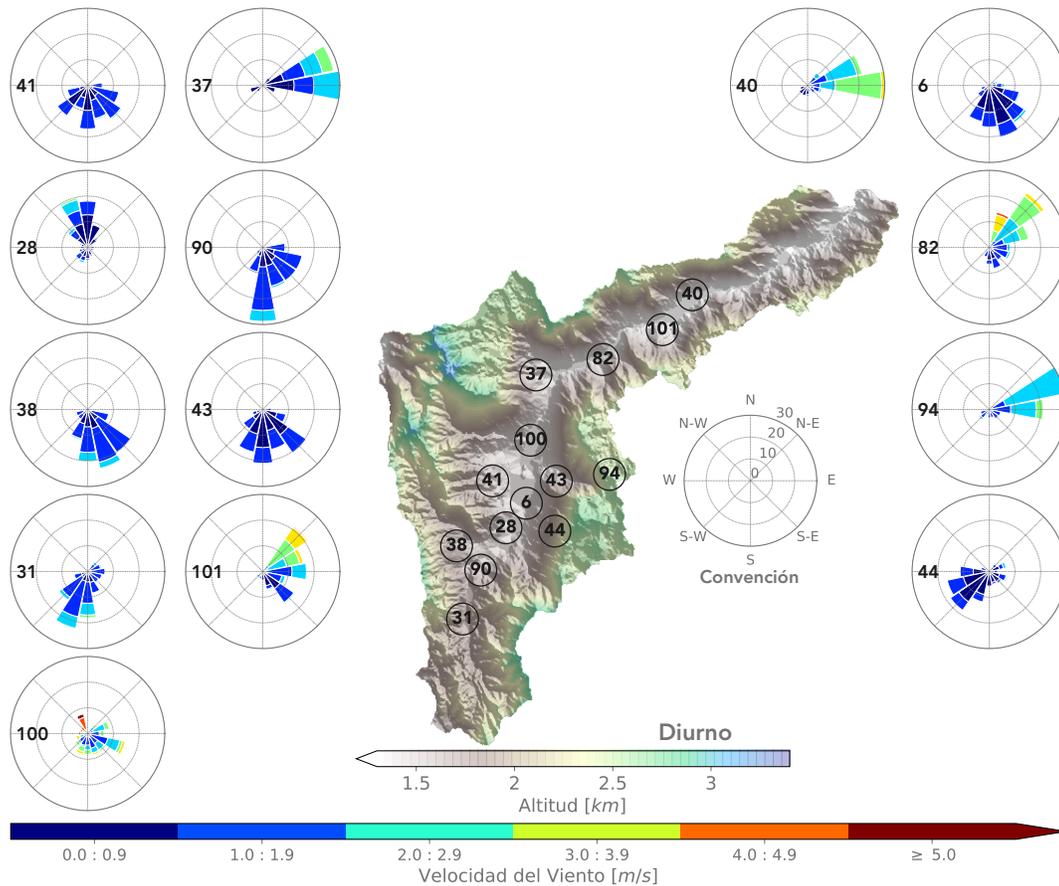


Figura 10.4: Rosas de Viento diurnas para las distintas estaciones

Nota: En la Tabla 10.1 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

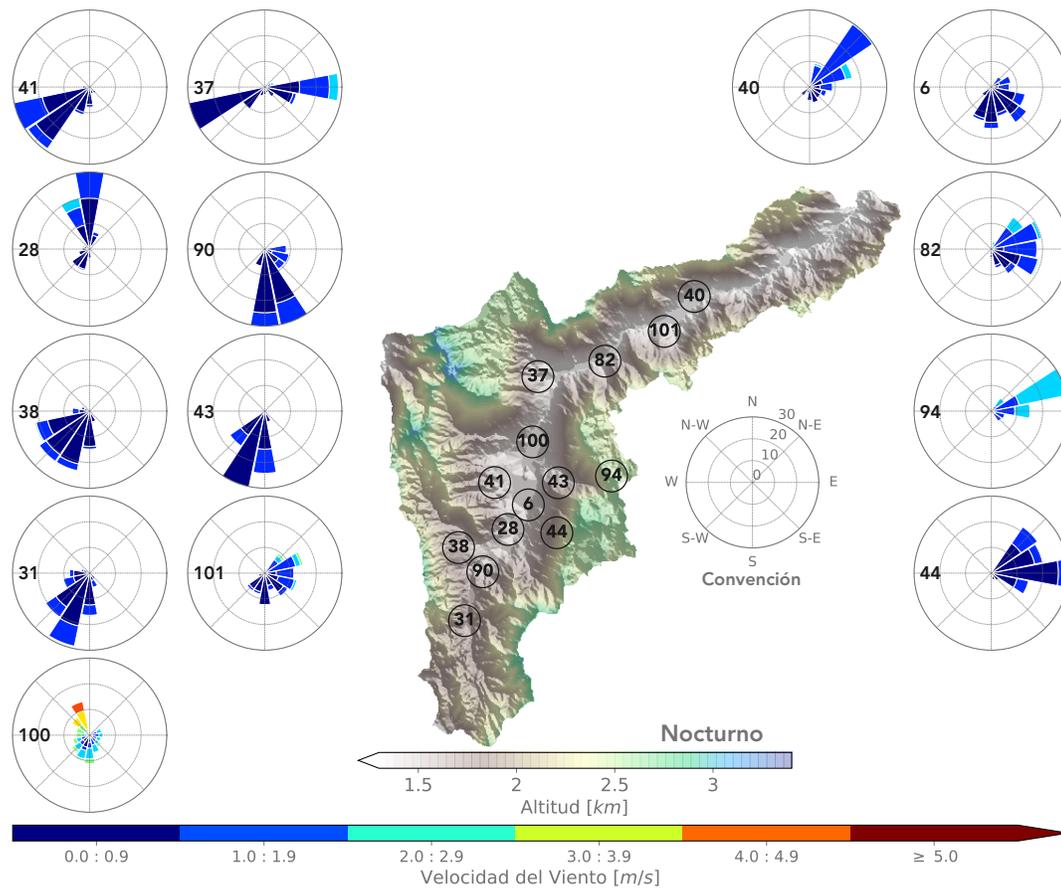


Figura 10.5: Rosas de Viento nocturnas para las distintas estaciones

Nota: En la Tabla 10.1 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

La estación con las velocidades diurnas más altas durante el mes corresponde a la estación MED-FISC, con una velocidad promedio de 2.69 m/s y la estación con velocidades diurnas más bajas corresponde a la estación ITA-CJUS con una velocidad promedio de 0.84 m/s . En el caso nocturno, la mayor velocidad se registró en la estación MED-FISC con un promedio de 2.56 m/s , mientras que la velocidad más baja se presentó en la estación BEL-USBV con un promedio de 0.58 m/s .

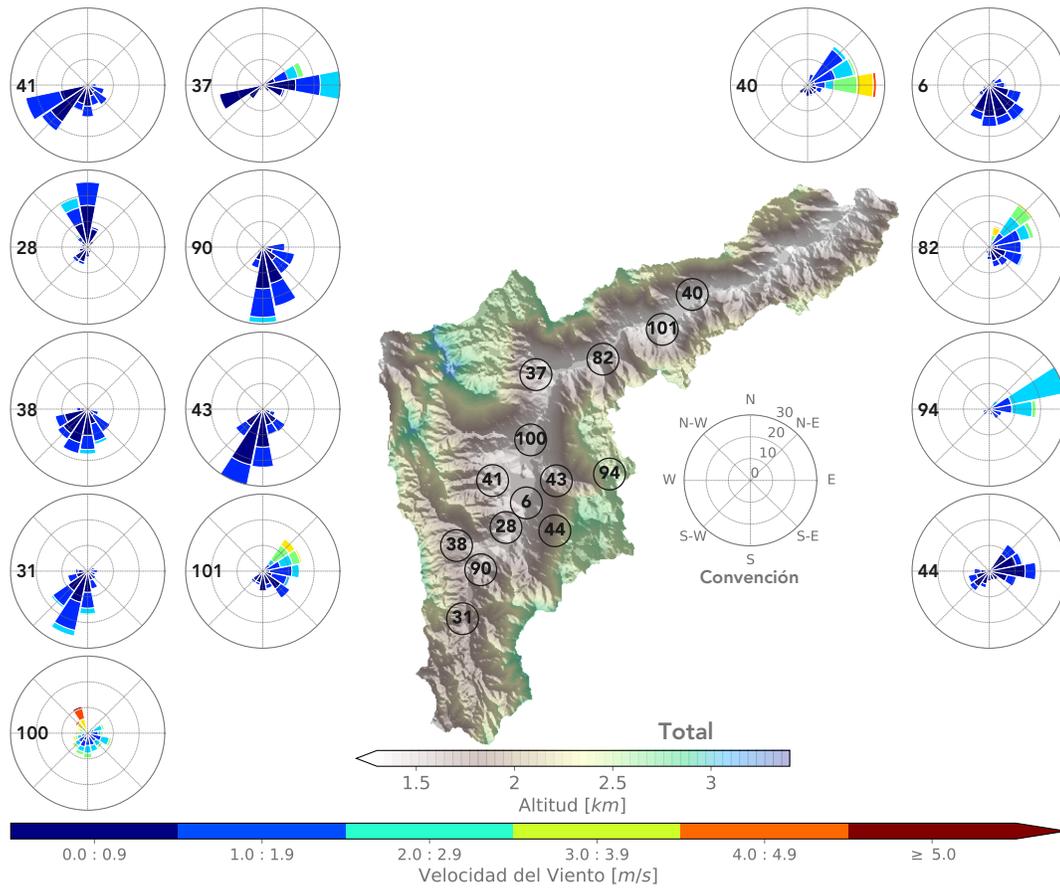


Figura 10.6: Rosas de Viento totales para las distintas estaciones.

Nota: En la Tabla 10.1 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

11 Anexos

Anexo 1. Black Carbon

Anexo 2. BTEX

Anexo 3. PM1

Anexo 4. Métodos de medición

Tabla 11.1: Métodos y rangos de operación para los equipos pertenecientes a la REDMCA

Contaminante	Método/Procedimiento	Estado del Contaminante	Rango de operación del equipo
PM10	Toma de muestras para la determinación de la concentración de partículas menores a 10 μm en el aire ambiente, U.S. EPA RFNA 0202-141 E-CFR Título 40, Parte 50, Capítulo I, Subcapítulo C, Apéndice J. Alto Volumen PM10, Procedimiento P-GAA-RA-03.	Particulado	2-750 $\mu g/m^3$
PM10	Determinación directa en campo de la determinación de la concentración de partículas menores a 10 μm en el aire ambiente, Método equivalente automático U.S. EPA EQPM-0798-122 Monitor de Partículas BAM-1020. Procedimiento P-GAA-RA-05.	Particulado	0-1000 $\mu g/m^3$
PM2.5	Determinación directa en campo de la concentración de partículas menores a 2.5 μm en el aire ambiente, método equivalente automático U.S. EPA EQPM-0308-170 Monitor de Partículas BAM-1020. Procedimiento P-GAA-RA-05.	Particulado	0-1000 $\mu g/m^3$

Tabla 11.1: Métodos y rangos de operación para los equipos pertenecientes a la REDMCA

Contaminante	Método/Procedimiento	Estado del Contaminante	Rango de operación del equipo
PM2.5	Determinación directa en campo de la concentración de partículas menores a 2.5 μm en el aire ambiente, método equivalente automático U.S. EPA EQPM-0715-266 Monitor de Partículas BAM-1020. Procedimiento P-GAA-RA-05.	Particulado	0-1000 $\mu g/m^3$
PM2.5	Toma de muestras para la determinación de la concentración de partículas menores a 2.5 μm en el aire ambiente U.S EPA EQPM-1013-209. Monitor de Partículas BAM1022. Procedimiento P-GAA-RA-17.	Particulado	2-200 $\mu g/m^3$
PM2.5	Toma de muestras para la determinación de la concentración de partículas menores a 2.5 μm en el aire ambiente, Método Referencia U.S. EPA RFPS-0498-116, CFR Título 40, parte 50, Capítulo I, Subcapítulo C, Apéndice L. Medición continua mediante muestreados de aire BGI modelo PQ200. Bajo Volumen. Procedimiento P-GAA-RA-10.	Particulado	2-200 $\mu g/m^3$
Ozono	Determinación directa en campo de la concentración de ozono O_3 en el aire ambiente, método equivalente U.S. EPA-EQOA-0880-047 CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Medición continua mediante fotometría UV. Modelo 49C Marca Thermo. Procedimiento P-GAA-RA-07.	Gaseoso	0-50 ppb 0-1000 ppb (0 – 98,15 $\mu g/m^3$ 0-1963,07 $\mu g/m^3$)
Ozono	Determinación directa en campo de la concentración de ozono O_3 en el aire ambiente, método equivalente U.S. EPA-EQOA-0992-087 CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice D. Medición continua mediante fotometría UV. Modelo 400E marca Teledyne. Procedimiento P-GAA-RA-12.	Gaseoso	0-100 ppb 0-10000 ppb (0 –196,31 $\mu g/m^3$ 0- 19630,67 $\mu g/m^3$)

Tabla 11.1: Métodos y rangos de operación para los equipos pertenecientes a la REDMCA

Contaminante	Método/Procedimiento	Estado del Contaminante	Rango de operación del equipo
CO	Determinación directa en campo de la concentración de Monóxido de Carbono CO en el aire ambiente, método de referencia U.S. EPA RFCA-0981-054 CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice C. Medición continua espectrometría infrarroja no dispersiva. Modelo 48C Marca Thermo. Procedimiento P-GAA-RA-11.	Gaseoso	0-1 ppm 0-1000 ppm (0 – 1145,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0 – 1145603,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
CO	Determinación directa en campo de la concentración de Monóxido de Carbono CO en el aire ambiente, método automático de referencia U.S. EPA-RFCA-1093-093 CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice C. Mediante continua mediante fotometría infrarroja no dispersiva. Modelo 300E, marca Teledyne. Procedimiento P-GAA-RA-08.	Gaseoso	0-1 ppm 0-1000 ppm (0 – 1145,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0 – 1145603,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SO ₂	Determinación de Dióxido de Azufre SO ₂ en el aire ambiente, Método automático equivalente EPA-EQSA-0495-100 Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice A1, Modelo 100E, marca Teledyne. Procedimiento P-GAA-RA-09.	Gaseoso	0-20 ppb 0-20000 ppb (0- 52,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0-52399,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO _x	Determinación de Óxido de Nitrógeno NO _x en el aire ambiente, Método automático de Referencia RFNA-1194-099 CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice F. Medición continua mediante la aplicación del método de quimiluminiscencia, modelo 200E marca Teledyne. Procedimiento PGAA-RA-13.	Gaseoso	0-50 ppb 0-20000 ppb
PM1	Toma de muestras para la determinación de la concentración partículas menores a 1 micra (PM1) en el aire ambiente. Medición continua mediante monitor de partículas E-BAM). Procedimiento P-GAA-RA-02.	Particulado	5 – 65530 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Anexo 5. Identificación de muestras en los equipos manuales

En la Tabla ?? se relaciona la fecha de muestreo y el número de cada filtro utilizado en las estaciones manuales de PM10. Los filtros utilizados en estos equipos son filtros de micro-cuarzo de marca WHAT-MAN, y la muestra ensayada corresponde a material particulado menor a 10 micrómetros (PM10). La integridad de la muestra se garantiza a través de la trazabilidad de las condiciones físicas del filtro utilizado y las condiciones ambientales durante el proceso de pesaje de acuerdo a las condiciones generales del procedimiento P-GAA-RA-03. En la Tabla ?? se relaciona el número, la fecha de muestreo, y la fecha de pesaje de cada filtro utilizado en las estaciones manuales de PM2.5. Los filtros utilizados en estos equipos son filtros de teflón (PTFE 46.2 mm) de marca TISCH SCIENTIFIC, y la muestra ensayada corresponde a material particulado menor a 2.5 micrómetros (PM2.5). La integridad de la muestra se garantiza a través de la trazabilidad de las condiciones físicas del filtro utilizado y las condiciones ambientales durante el proceso de pesaje de acuerdo a las condiciones generales del procedimiento P-GAA-RA-10. El servicio de gravimetría de los filtros de PM10 y PM2.5 es prestado por el laboratorio CONHINTEC S.A.S. Este laboratorio está acreditado bajo la norma NTC-ISO/IECO 17025 para la toma de muestras y análisis de calidad de aire, dando cumplimiento a los requisitos internos relacionados con la selección de proveedores.

Tabla 11.2: Identificación de filtros de las estaciones manuales de PM10

Fecha Muestreo	ESTACIÓN									
	BAR-HSVP	COP-HSMA	MED-CORA	MED-MIRA	MED-PJIC	ITA-PTAR	ITA-POGO	EST-MAGO	SUR-TRAF	CAL-JOAR
2021-11-01	A12107	A12108	A12111	A12109	A12110	A12117	A12112	A12113	A12115	A12116
2021-11-04	A12234	A12231	A12235	A12232	A12230	A12228	A12224	A12229	A12227	A12226
2021-11-07	A12240	A12243	A12244	A12242	A10492	A12237	A12236	A8899	A12238	A12239
2021-11-09	A12209	A12208	A12211	A12213	A12215	A12217	A12212	A12214	A12210	A12216
2021-11-11	A12205	A12206	A12204	A12203	A12247	A12199	A12248	A12246	A12200	A12201
2021-11-14	A12152	ND	A12155	A12153	A12222	A12149	A12221	A12229	A12223	A12150
2021-11-17	A12164	A12154	A12167	A12166	A12162	A12157	A12161	A12160	A12158	A12159
2021-11-20	A12176	A12165	A12179	A12177	A12172	A12170	A12168	A12173	A12174	A12171
2021-11-23	A12187	A12190	A12191	A12189	A12186	A12185	A12180	A12184	A12182	A12181
2021-11-25	A12310	A12308	A12311	A12312	A12194	A12193	A12197	A12195	A12196	A12198
2021-11-29	A12323	A12320	A12324	A12322	A12319	A12318	A12315	A12317	A12313	A12316

ND: No Dato.

Tabla 11.3: Identificación de filtros de las estaciones manuales de PM2.5

Fecha Muestreo	BEL-JEGA		MED-PJIC	
	Número Filtro	Fecha Pesaje	Número Filtro	Fecha Pesaje
2021-11-01	A3575	2021-11-05	A3576	2021-11-05
2021-11-04	A3568	2021-11-09	A3573	ND
2021-11-07	A3587	2021-11-10	A3584	2021-11-10
2021-11-09	A3595	2021-11-16	A3592	2021-11-16
2021-11-11	A3590	2021-11-16	A3591	2021-11-16
2021-11-14	A3598	2021-11-18	A3596	2021-11-18
2021-11-17	A12928	2021-11-25	A12929	2021-11-25
2021-11-20	A12925	2021-11-25	A12924	2021-11-25
2021-11-23	A3574	2021-11-25	A12915	2021-11-25
2021-11-25	A12911	2021-11-30	A12912	2021-11-30
2021-11-29	A12942	2021-12-01	A12943	2021-12-01

ND: No Dato.

Anexo 6. Condiciones ambientales de muestreo

Las condiciones ambientales al interior del shelter son un factor importante para la correcta operación de los analizadores de gases, por lo que se hace necesario el seguimiento constante de la variabilidad de estas. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, EPA por sus siglas en inglés, en el Apéndice D del Quality Assurance Handbook, establece como rango válido para la temperatura, en un período de 24 horas, valores entre 20°C y 30°C además de una desviación estándar menor a 2.1 °C. A este requisito para el monitoreo de los gases se le suman las condiciones de medición especificadas para los analizadores, lo cuales permiten el cumplimiento de lo establecido por la EPA, y añaden la necesidad de asegurar condiciones de humedad relativa por debajo del 90%. Cabe agregar que esta restricción no aplica para los equipos automáticos para el monitoreo de material particulado.

Los analizadores de NO₂, SO₂, CO y ozono están distribuidos en 13 estaciones. En cada una de estas se hace seguimiento de la temperatura y humedad al interior del shelter con el fin de garantizar el correcto desempeño de los diferentes equipos de gases. Los datos son usados para el seguimiento de las condiciones de medición en tiempo real y para la validación de las series de los diferentes contaminantes. En la Figura 11.1 se presentan las series obtenidas para cada una de las estaciones en el mes de Diciembre.

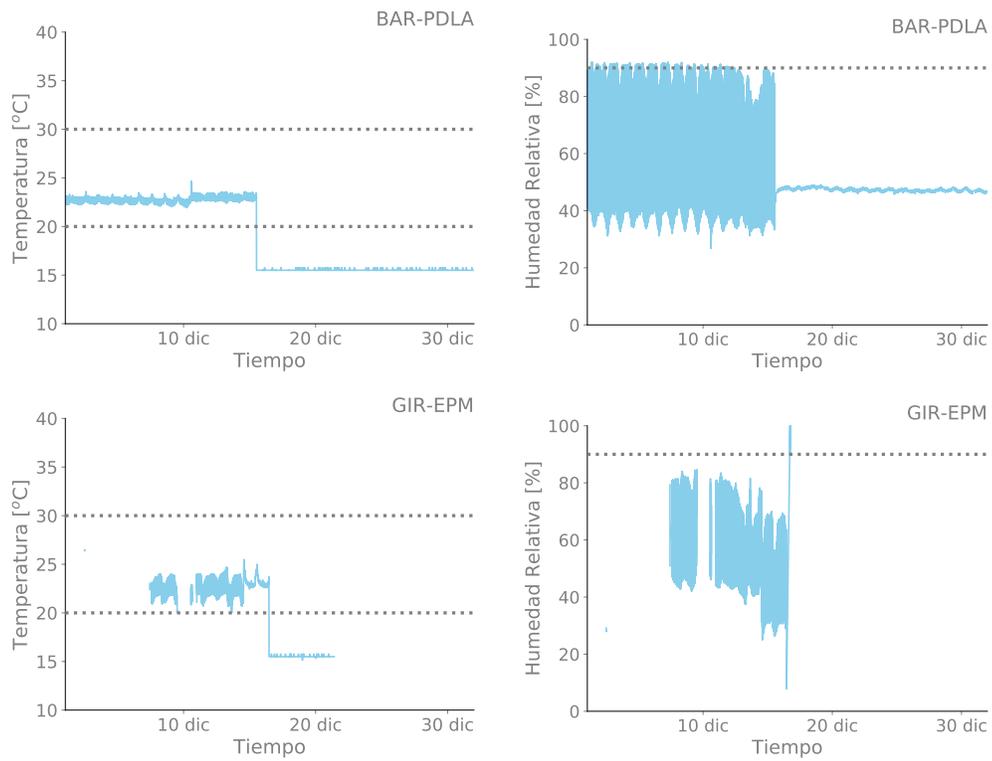


Figura 11.1: Condiciones de humedad y temperatura al interior del shelter

Figuras/Anexos/temperatura_interna_BEL-USBV.pdf
Figuras/Anexos/humedad_interna_BEL-USBV.pdf

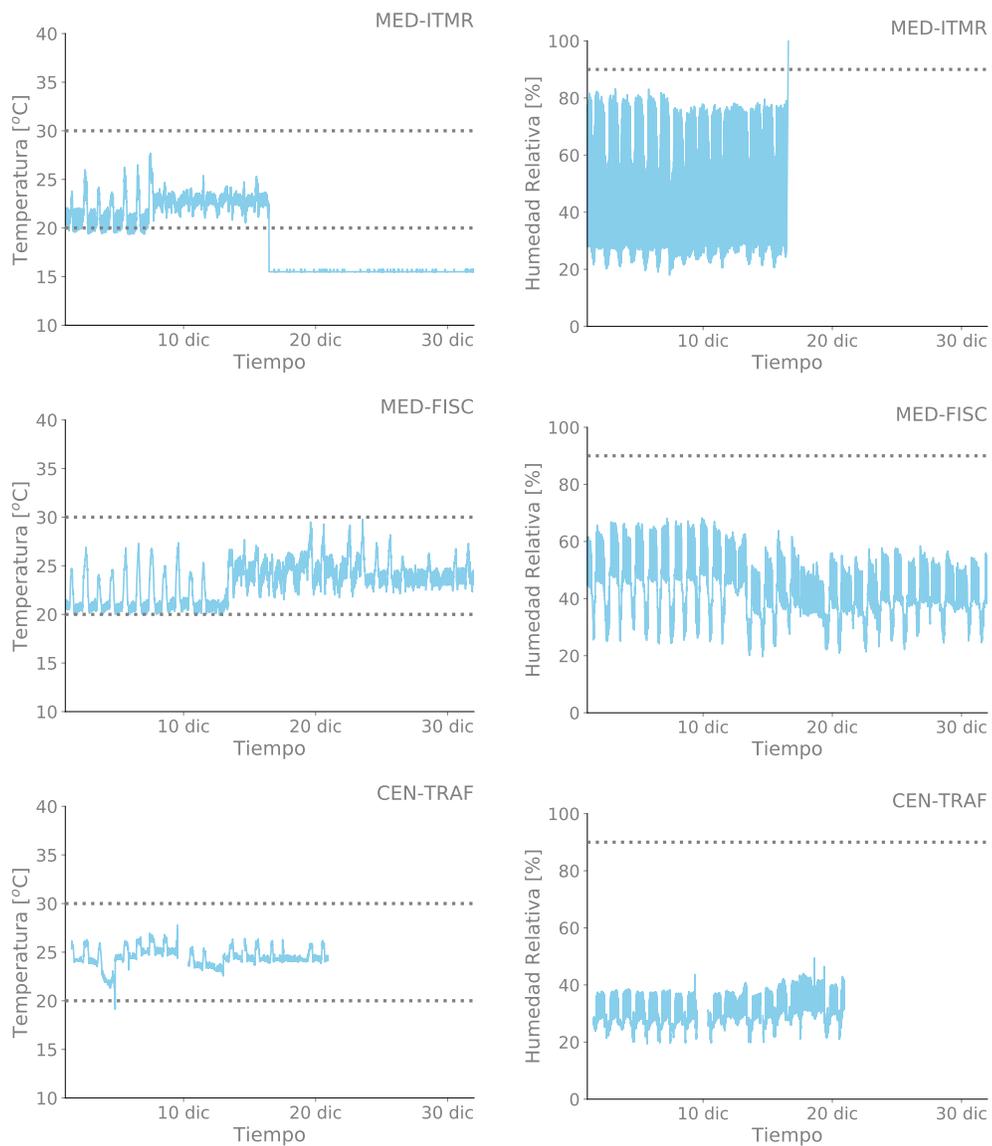
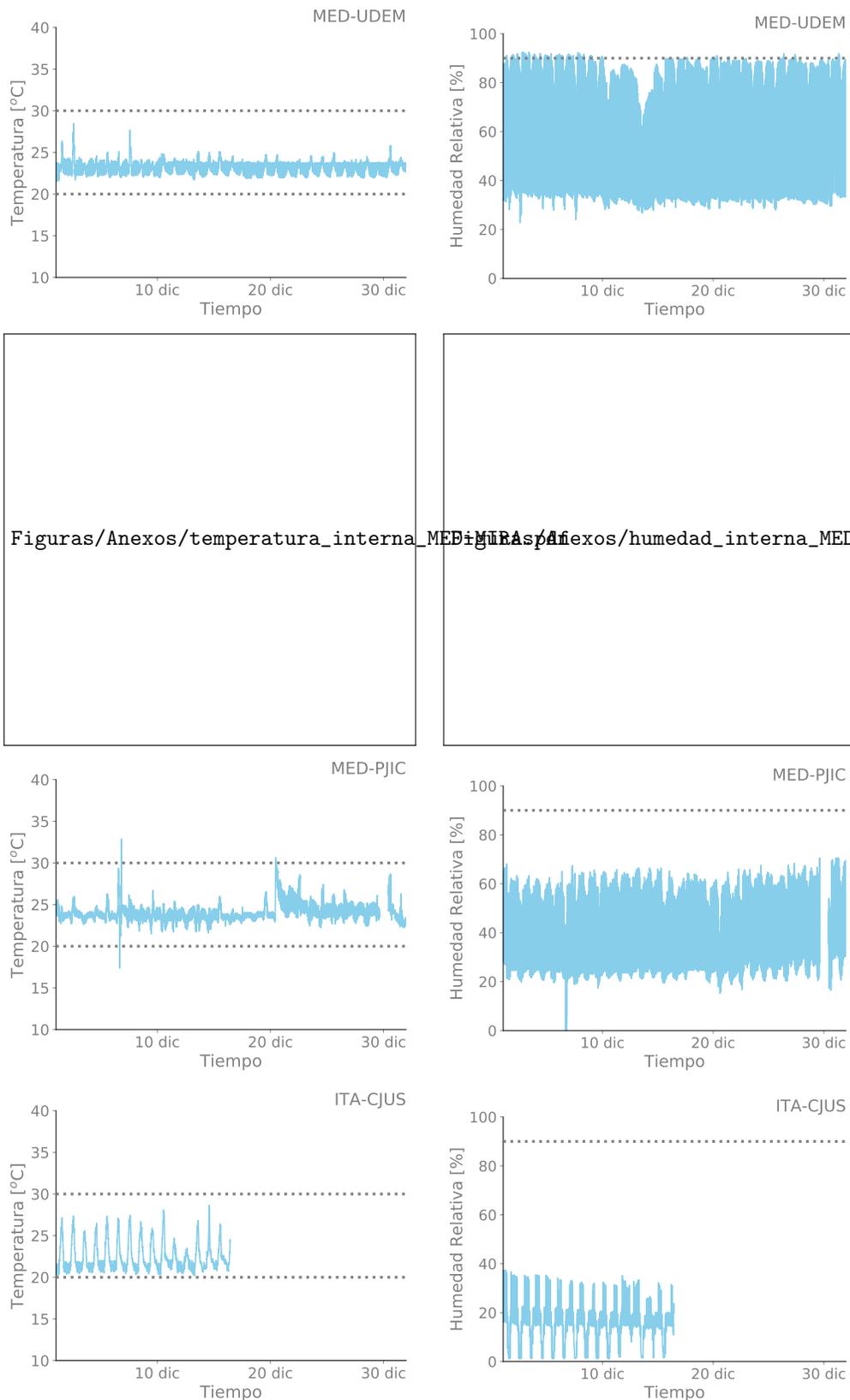
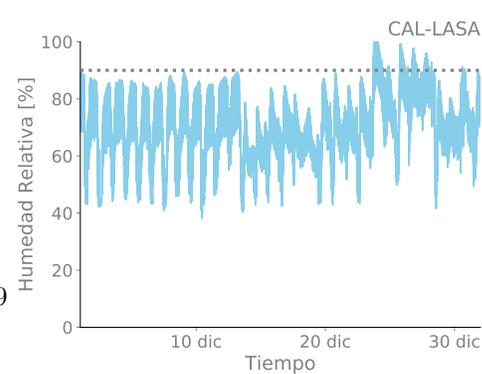
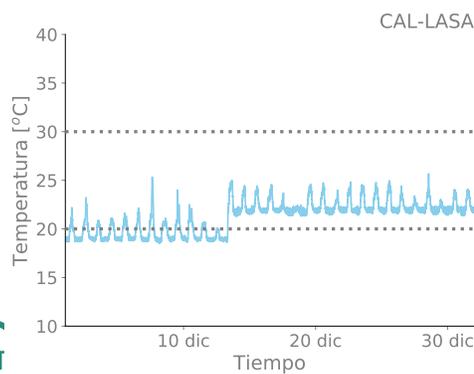
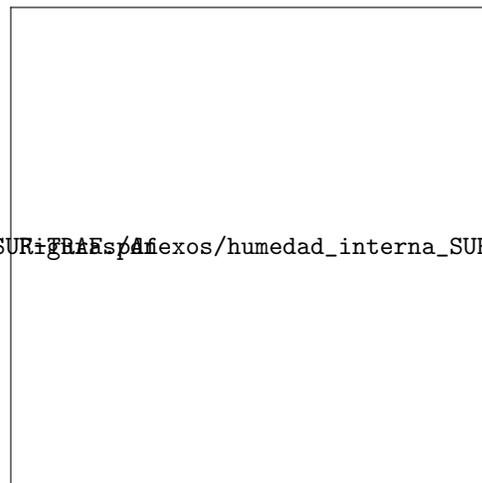
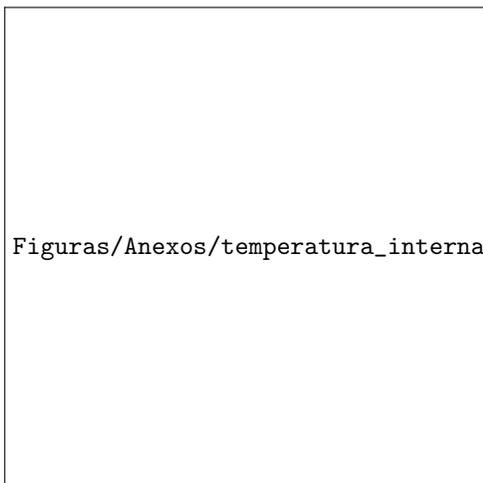
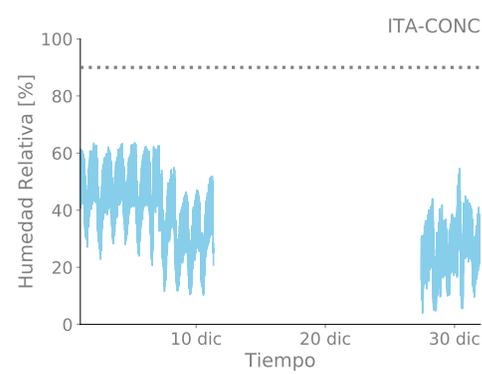
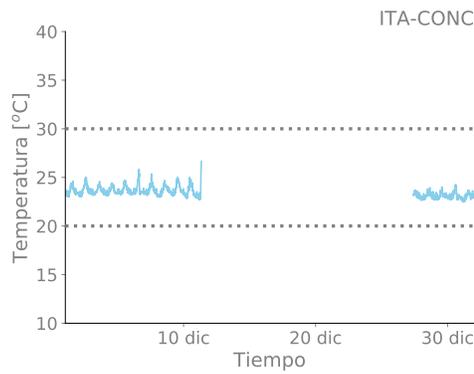
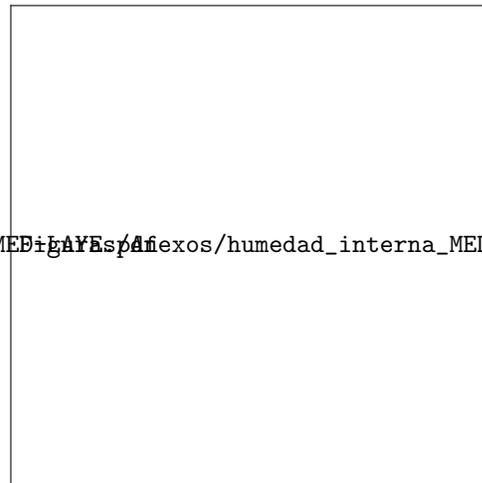
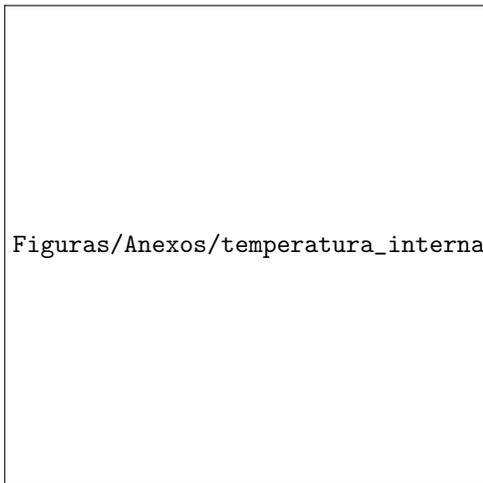


Figura 11.1: Continuación



Figuras/Anexos/temperatura_interna_MED+MIRA.pdf Anexos/humedad_interna_MED+MIRA.pdf



Anexo 7. Series de las concentraciones de los contaminantes criterio

De la Figura 11.2 a la 11.9 se presentan las series de las concentraciones horarias de PM_{2.5}, PM₁₀, N_O, NO₂, NO_x, Ozono, CO y SO₂ para las estaciones automáticas en medición de cada contaminante en el mes de Diciembre del 2021. La ausencia de datos en las series se asocian a tramas inválidas, datos faltantes o períodos anteriores o posteriores a la instalación de un equipo en una estación determinada.

Series de las concentraciones de PM2.5

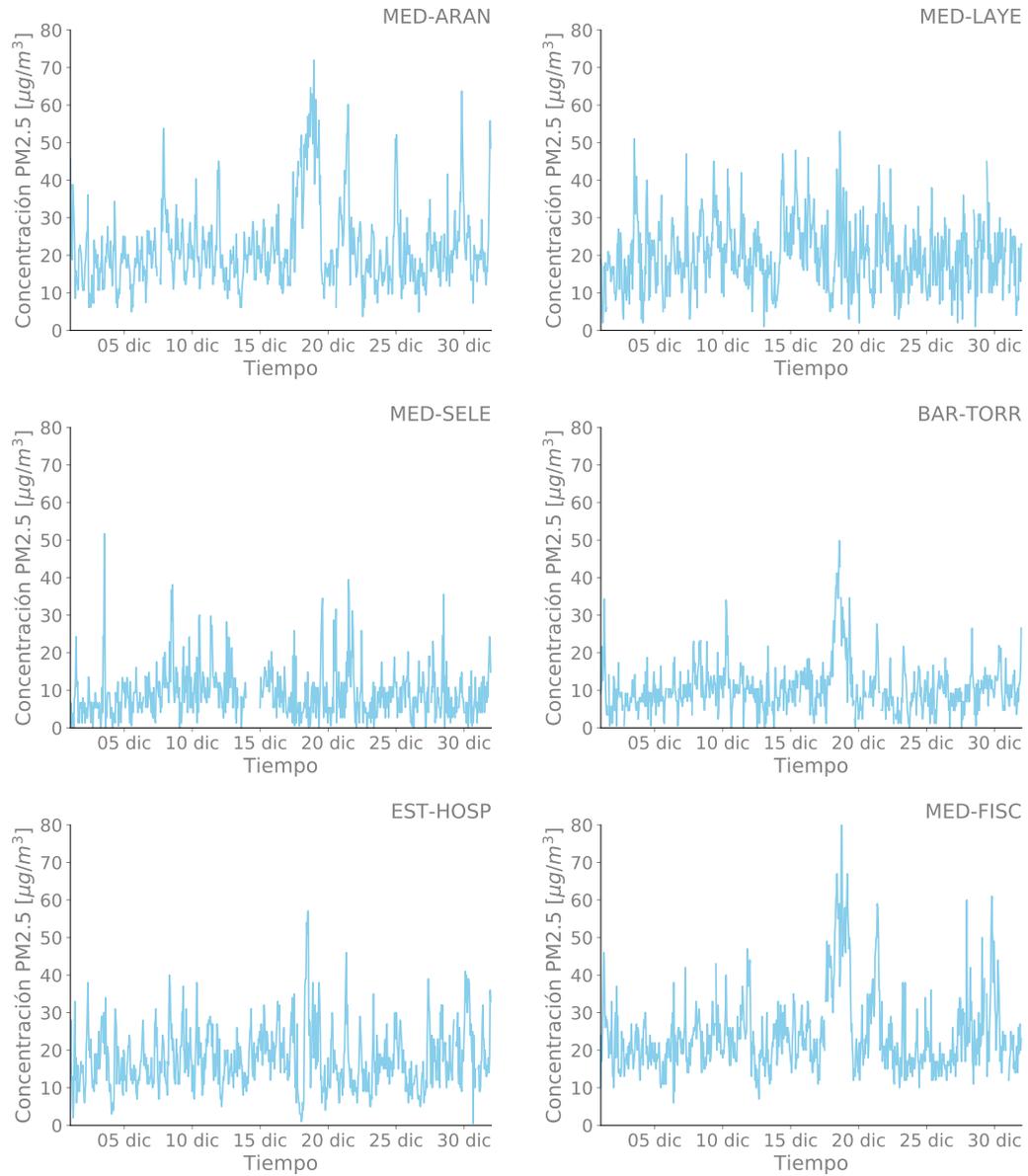


Figura 11.2: Series de las concentraciones de PM25

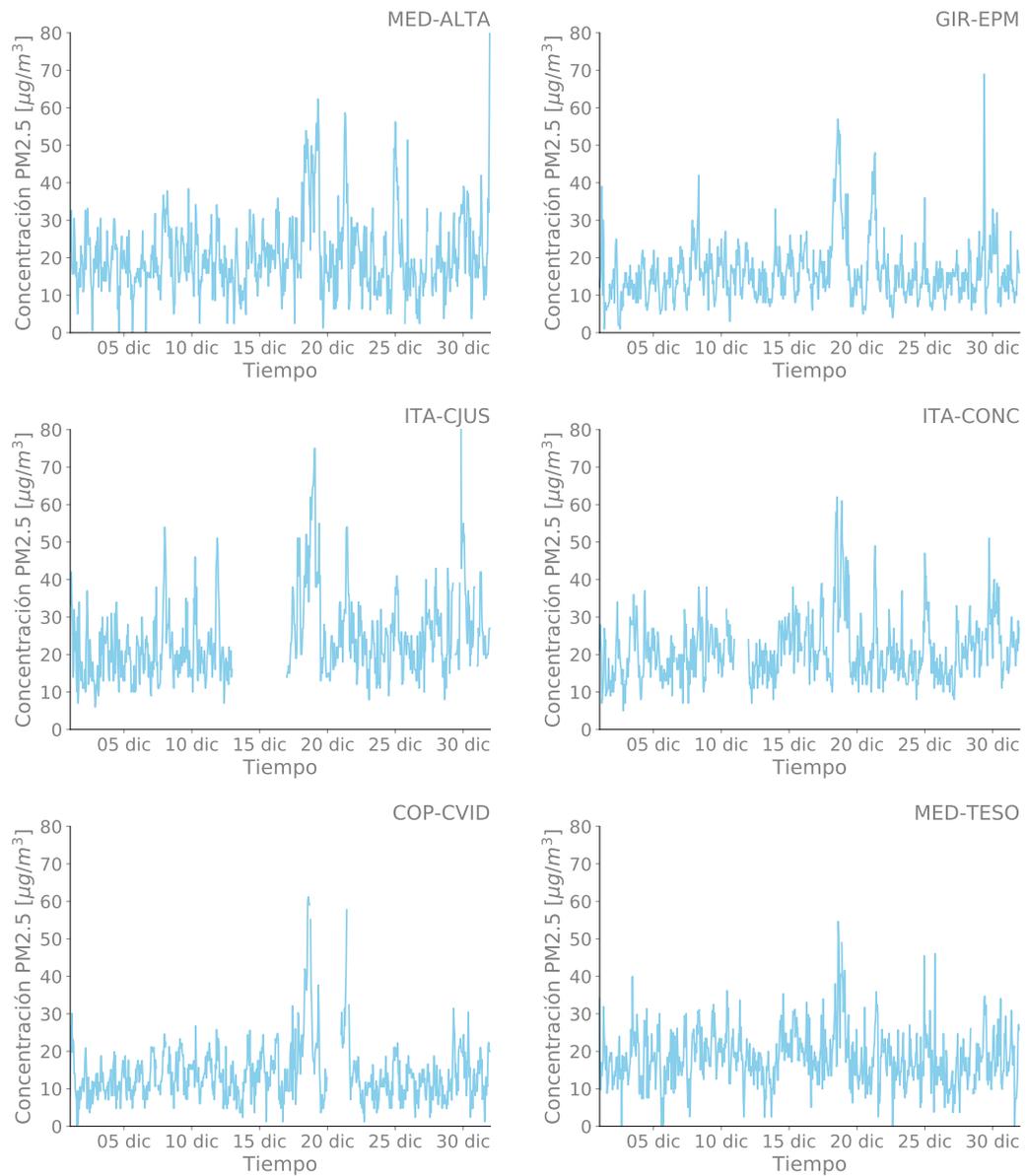


Figura 11.2: Continuación

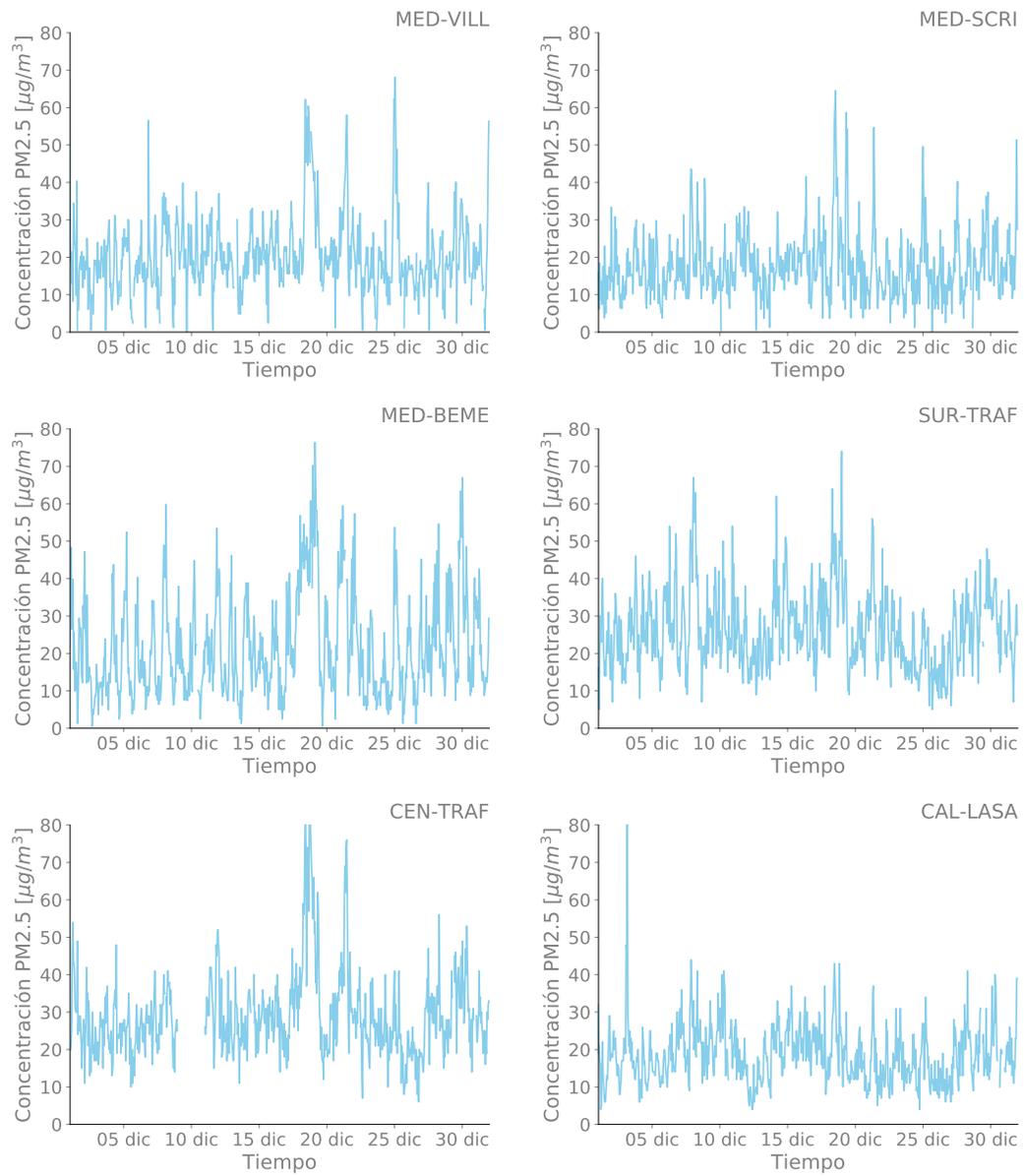


Figura 11.2: Continuación

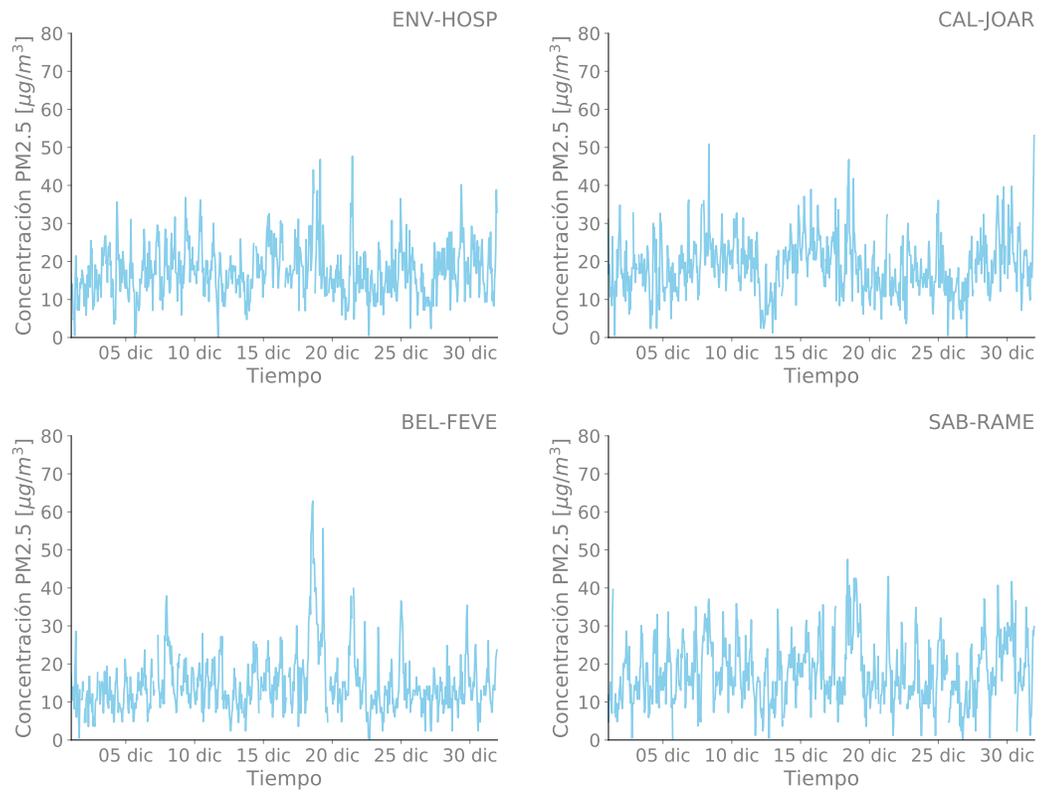


Figura 11.2: Continuación

Series de las concentraciones de PM10

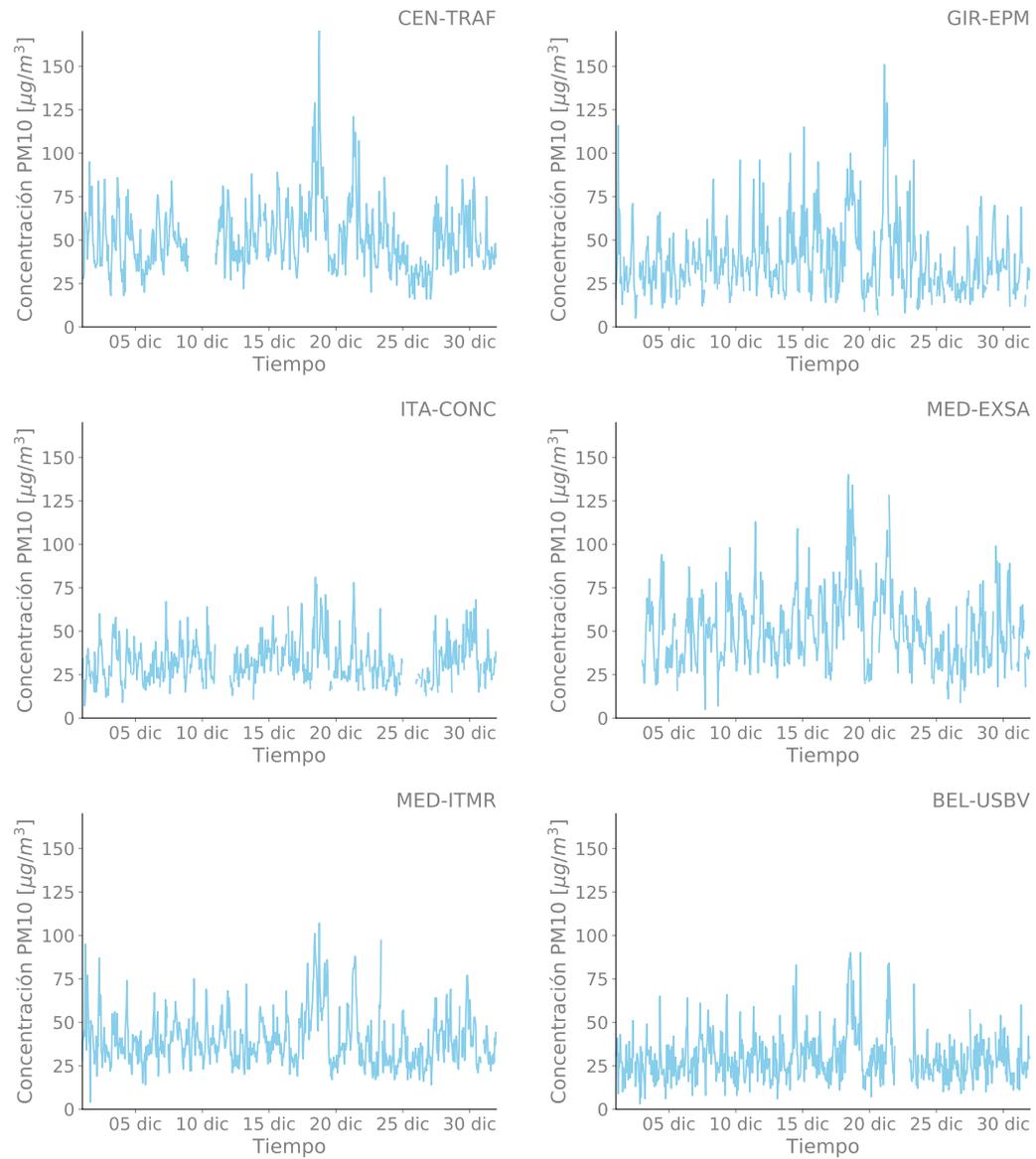


Figura 11.3: Series de las concentraciones de PM10

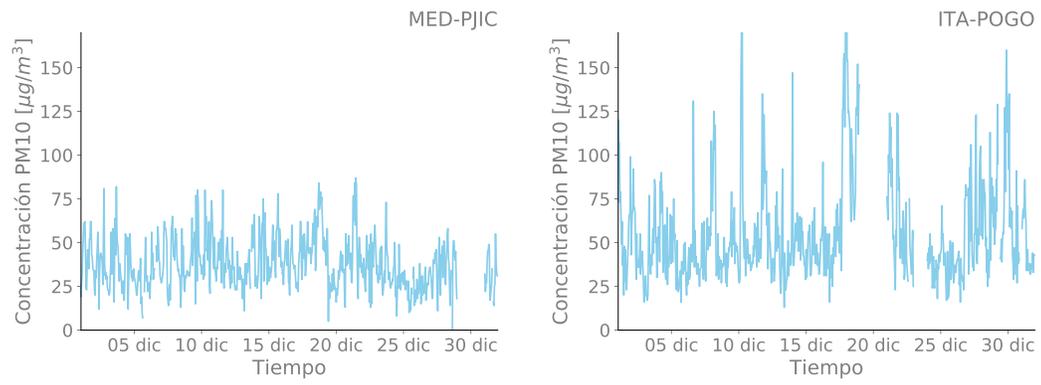


Figura 11.3: Continuación

Series de las concentraciones de NO

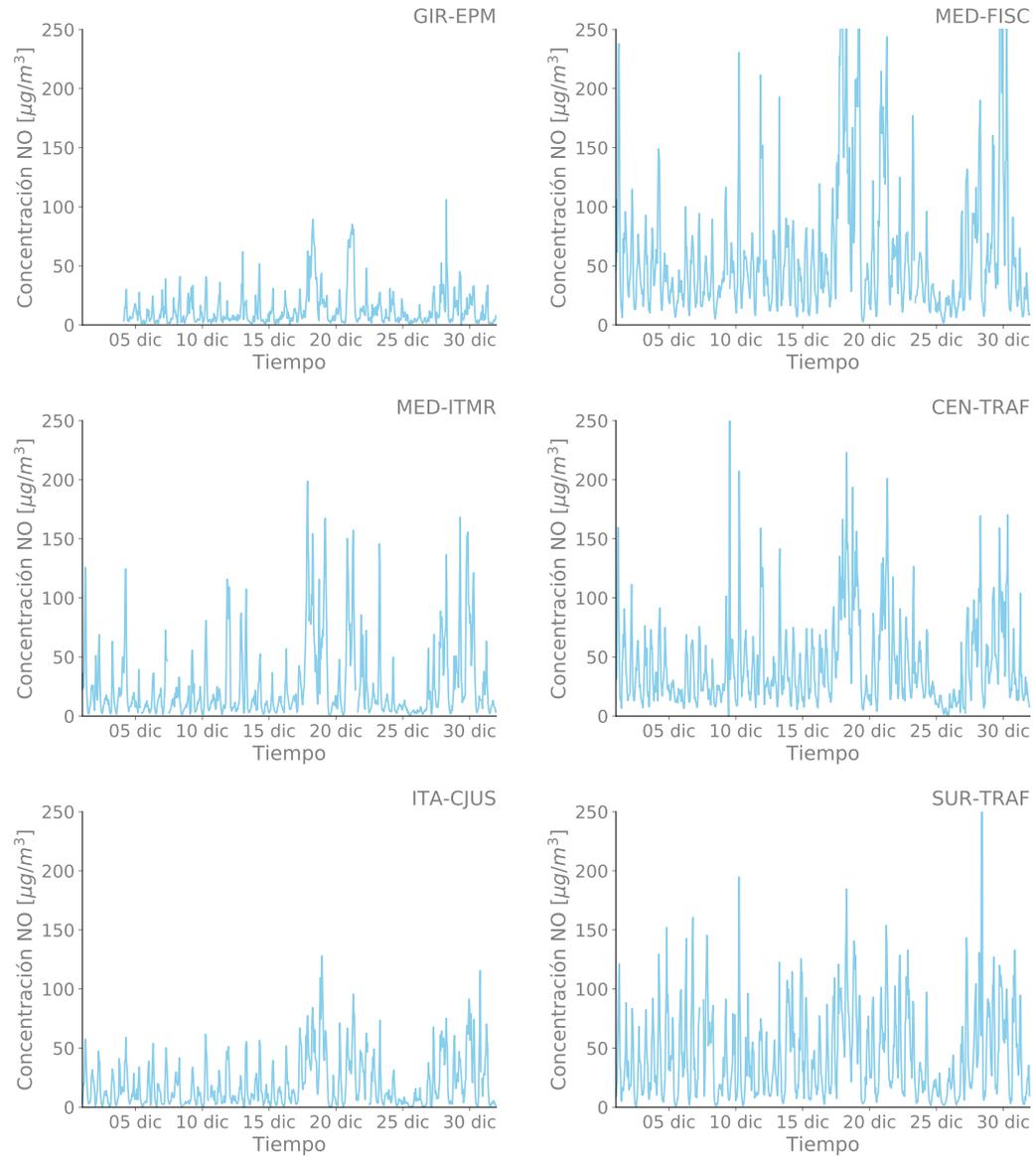


Figura 11.4: Series de las concentraciones de NO

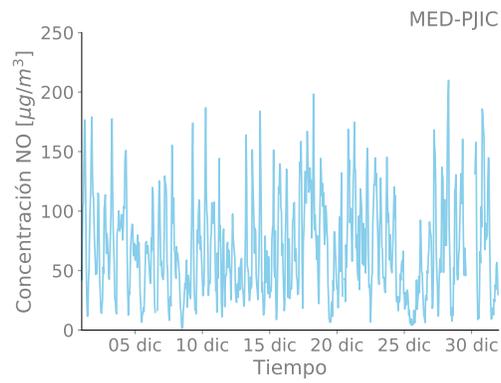


Figura 11.4: Continuación

Series de las concentraciones de NO2

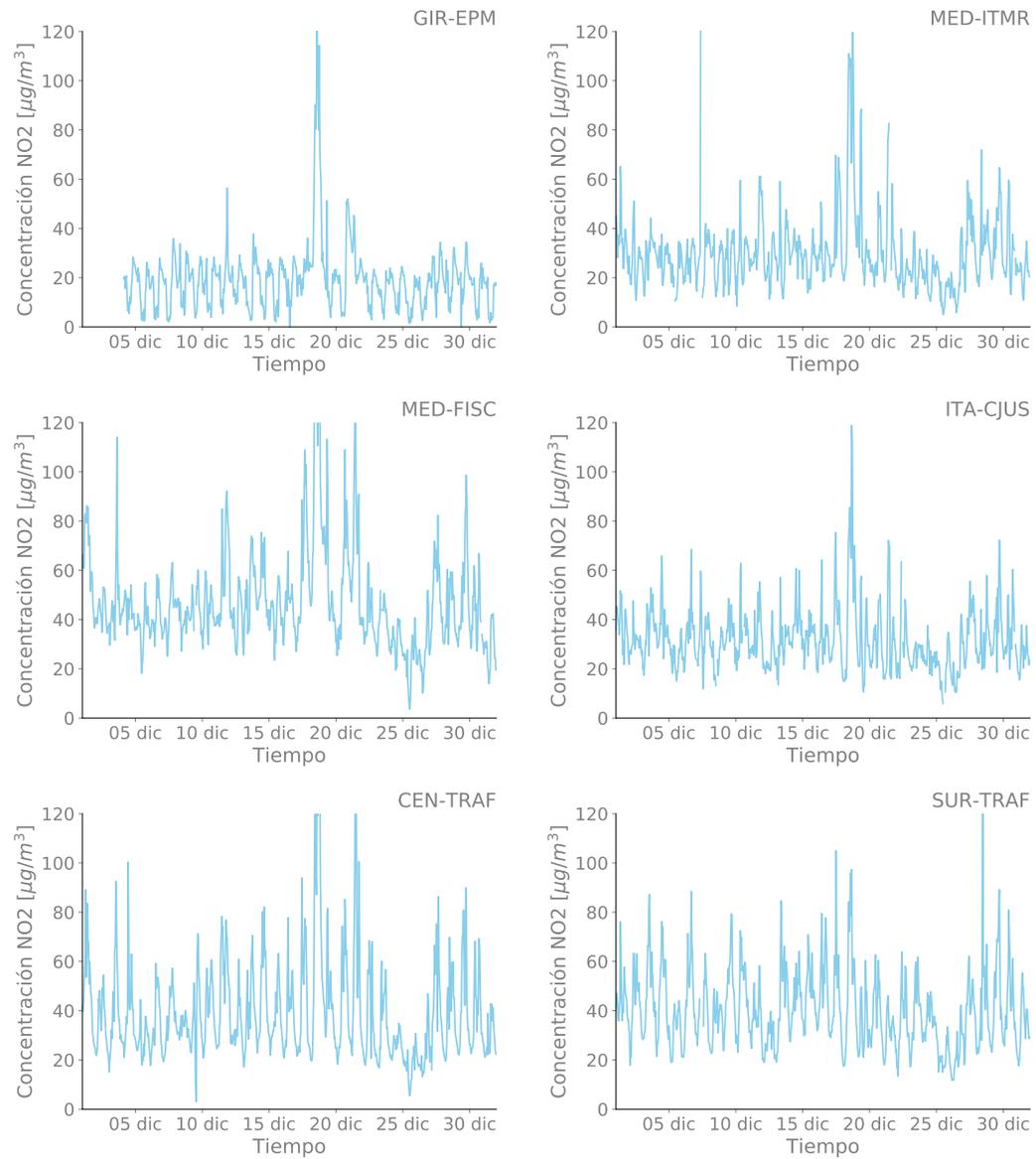


Figura 11.5: Series de las concentraciones de NO2

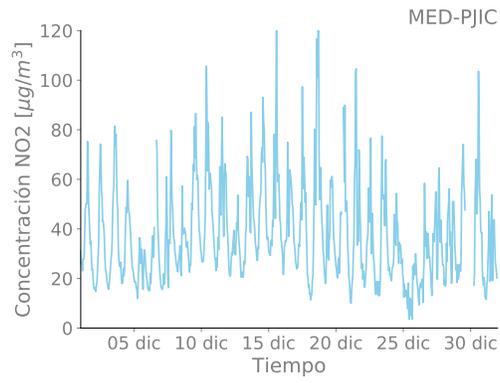


Figura 11.5: Continuación

Series de las concentraciones de NOx

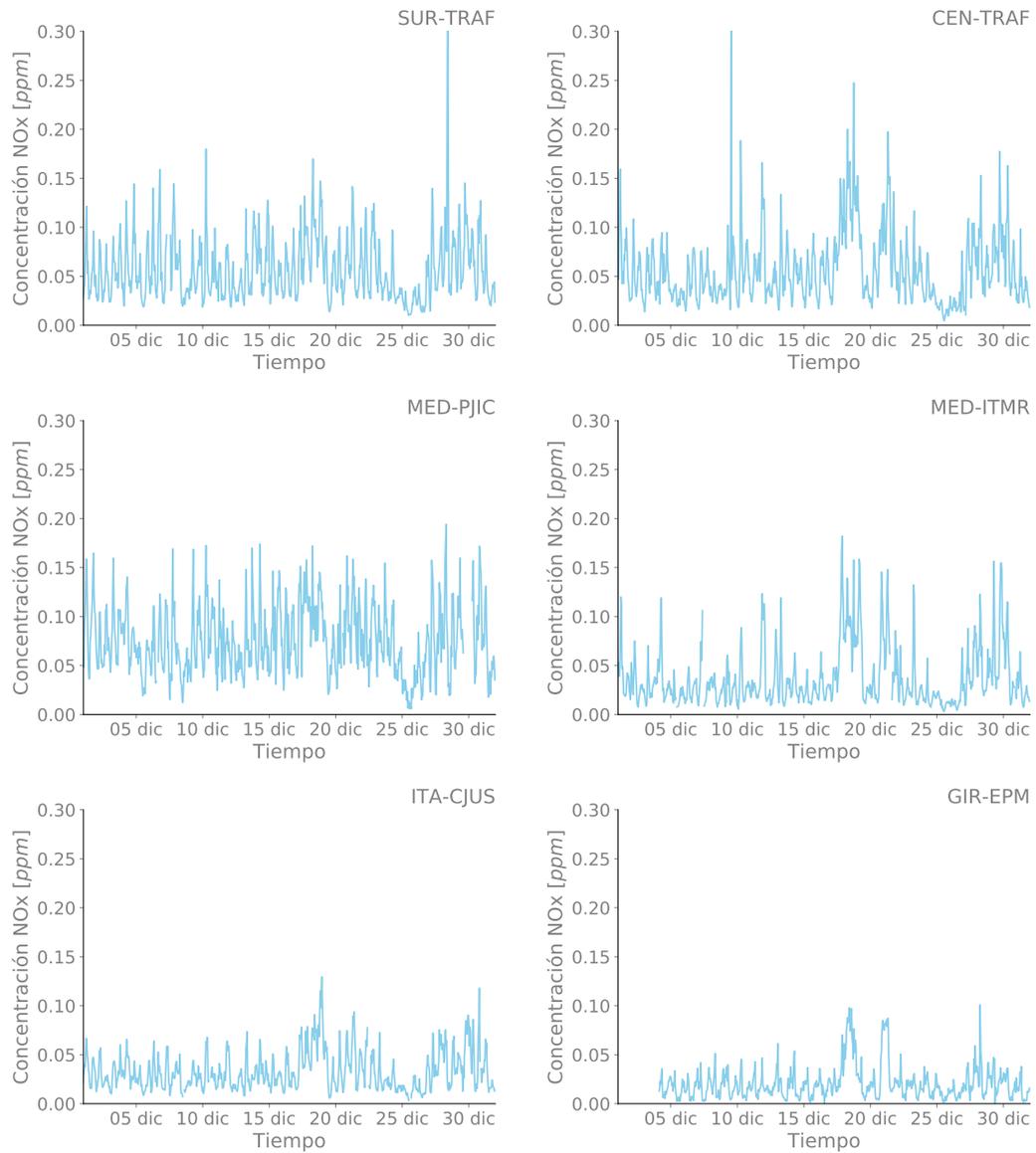


Figura 11.6: Series de las concentraciones de NOx

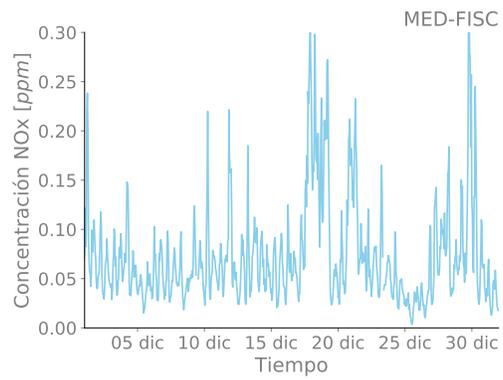


Figura 11.6: Continuación

Series de las concentraciones de Ozono

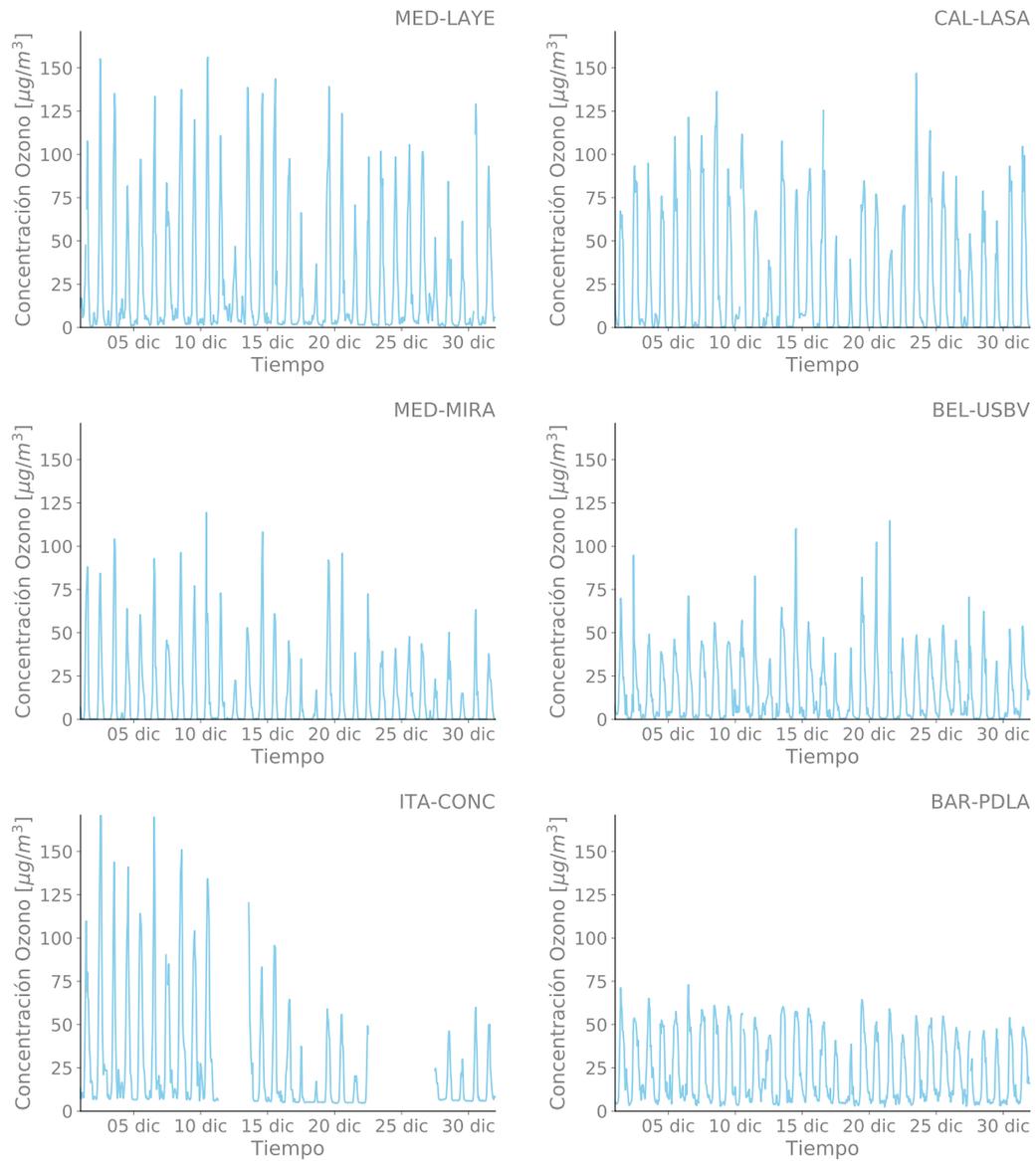


Figura 11.7: Series de las concentraciones de Ozono

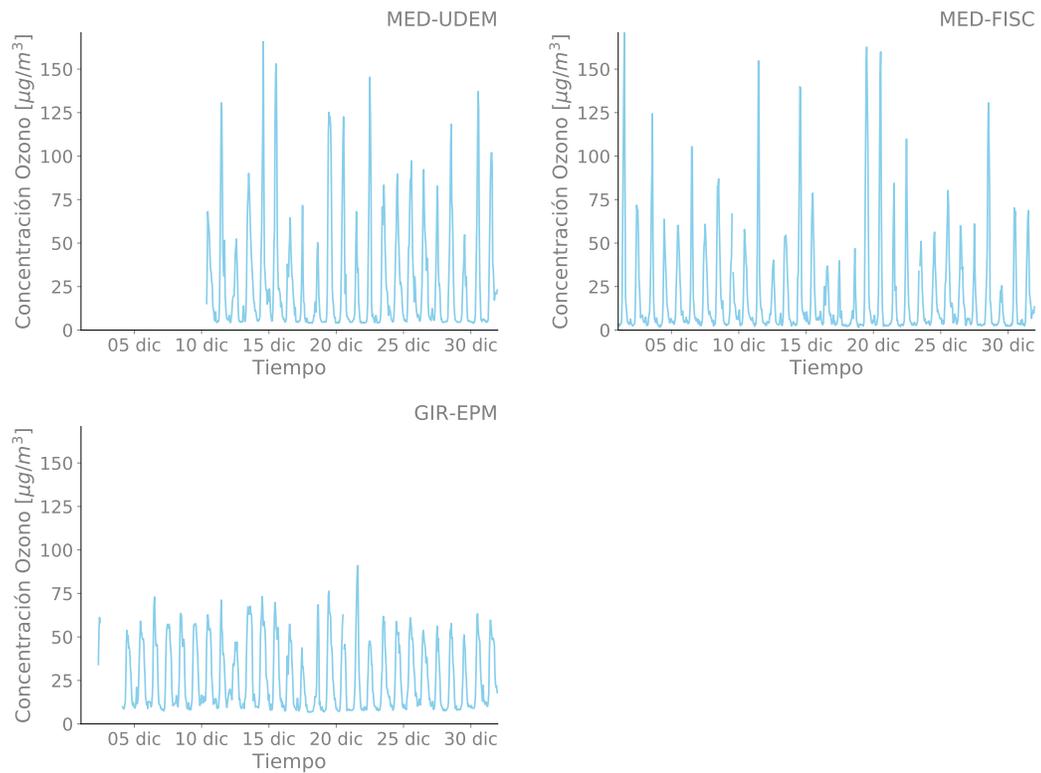


Figura 11.7: Continuación

Series de las concentraciones de CO

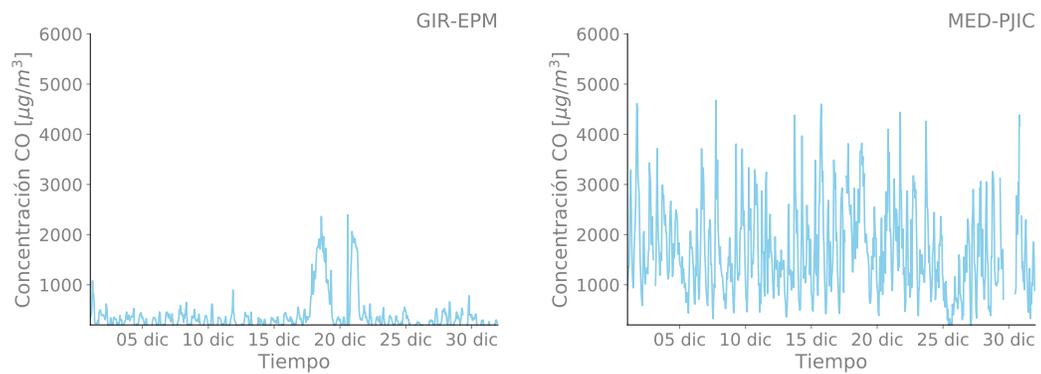


Figura 11.8: Series de las concentraciones de CO

Series de las concentraciones de SO2

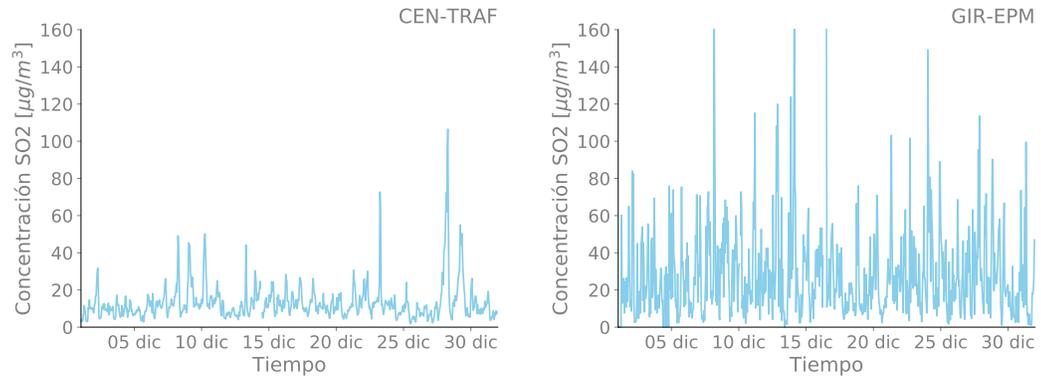


Figura 11.9: Series de las concentraciones de SO2

Referencias

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Clasificación Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire. (256), 2014.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2018. 2018.

Gabriel Jaime and Maya Vasco. Relación entre las partículas finas (pm2.5) y respirables (pm10) en la ciudad de Medellín. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 7(12):23–42, 2008.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. pages 1–142, 2010.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Relación 2254 del 2017. (Noviembre), 2017.

U.S. Environmental Protection Agency. A Guide to Air Quality and Your Health. (February), 2014.

FIN DEL INFORME
