



**UNIVERSIDAD
EAFIT**



Informe Mensual de Calidad del Aire. Septiembre 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.

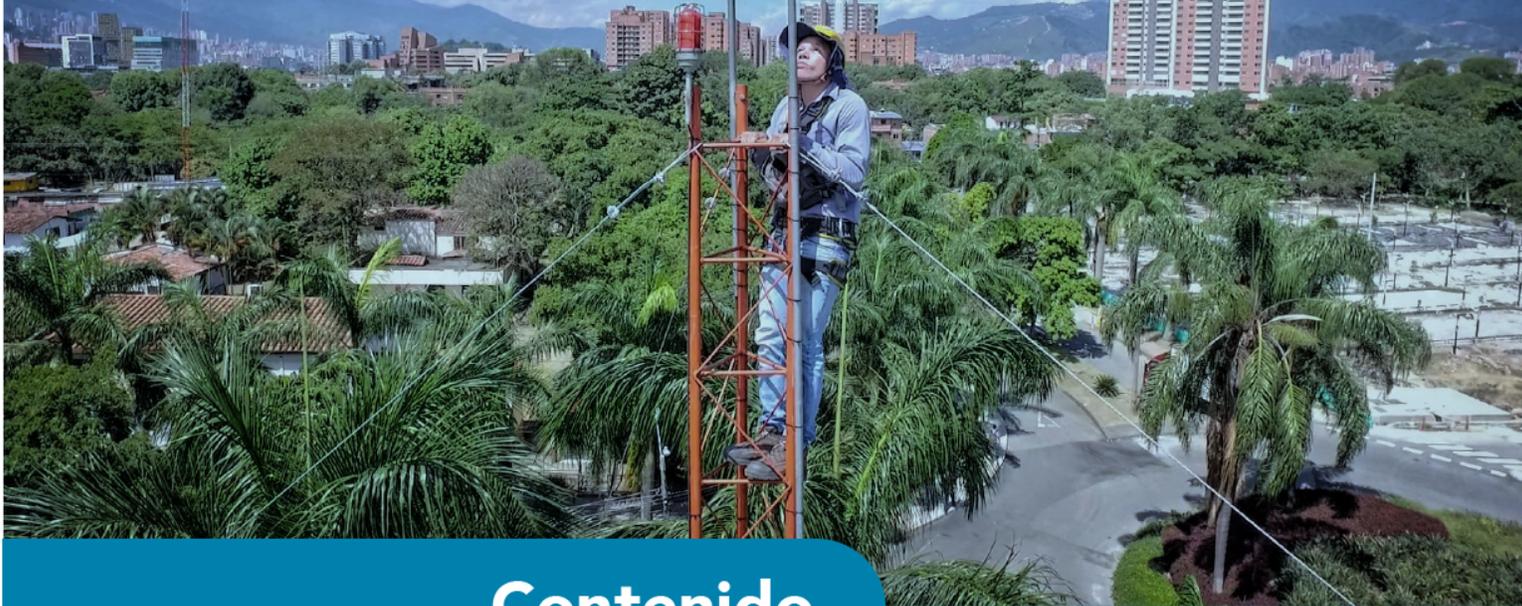
Revisado y autorizado por:
Mauricio Ramírez Arias.
Líder Calidad del Aire.



Fecha de emisión:
2021/10/22

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 | 39 |
| Ciclo Diurno de la Concentración de NO | 40 |
| 8. Monóxido de Carbono (CO) | 42 |
| Concentraciones Horarias y Octohorarias de CO. | 42 |
| Ciclo Diurno de la Concentración de CO | 43 |
| Índice de Calidad del Aire (ICA) para concentraciones octohorarias de CO | 44 |
| 9. Dióxido de Azufre (SO₂) | 45 |
| Concentración Promedio Diaria de SO ₂ | 45 |
| Ciclo Diurno de la Concentración de SO ₂ | 46 |
| Índice de Calidad del Aire (ICA) para las concentraciones horarias de SO ₂ | 47 |
| 10. Meteorología | 48 |
| Ciclo Diurno de la Radiación Solar, Temperatura y Humedad Relativa | 50 |
| Precipitación | 52 |
| Vientos | 54 |
| 11. Anexos | 58 |
| Anexo 1. Black Carbon | 58 |
| Anexo 2. BTEX | 58 |

| | |
|--|----|
| Anexo 3. PM1 | 58 |
| Anexo 4. Métodos de medición | 58 |
| Anexo 5. Identificación de muestras en los equipos manuales | 61 |
| Anexo 6. Condiciones ambientales de muestreo | 62 |
| Anexo 7. Series de las concentraciones de los contaminantes criterio | 66 |

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. | 23 |
| 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. | 37 |
| 7.4. Ciclo diurno de NO ₂ para las estaciones automáticas. | 38 |
| 7.4. Continuación | 39 |
| 7.5. Porcentaje de las distintas clasificaciones del ICA para las concentraciones horarias de NO ₂ | 40 |
| 7.6. Ciclo diurno de NO para las estaciones automáticas. | 41 |
| 7.6. Continuación | 41 |
| 8.1. Estaciones automáticas de monitoreo de CO. | 42 |
| 8.2. Ciclo Diurno de CO para las estaciones de la REDMCA. | 44 |
| 8.3. Variación porcentual de las categorías de calidad de aire para las concentraciones horarias de CO en las estaciones de monitoreo. | 44 |
| 9.1. Estación automática de monitoreo de SO ₂ | 45 |
| 9.2. Concentración Diaria de SO ₂ para la estación automática. Nota: En la gráfica NaN corresponde a datos faltantes. | 46 |
| 9.3. Ciclo Diurno de SO ₂ para las estaciones de la REDMCA. | 47 |
| 9.4. Porcentaje de días en las distintas categorías del ICA para la estación de SO ₂ | 47 |
| 10.1. Estaciones automáticas de monitoreo de Meteorología. | 48 |
| 10.2. Radiación Solar, Temperatura y Humedad Relativa para las distintas estaciones. | 51 |
| 10.2. Continuación | 52 |
| 10.3. Precipitación horaria y acumulada para las distintas estaciones. | 53 |
| 10.3. Continuación | 54 |
| 10.4. Rosas de Viento diurnas para las distintas estaciones | 55 |
| 10.5. Rosas de Viento nocturnas para las distintas estaciones | 56 |
| 10.6. Rosas de Viento totales para las distintas estaciones. | 57 |

| | |
|--|----|
| 11.1. Condiciones de humedad y temperatura al interior del shelter | 63 |
| 11.1. Continuación | 64 |
| 11.1. Continuación | 65 |
| 11.1. Continuación | 66 |
| 11.2. Series de las concentraciones de PM25 | 67 |
| 11.2. Continuación | 68 |
| 11.2. Continuación | 69 |
| 11.2. Continuación | 70 |
| 11.3. Series de las concentraciones de PM10 | 71 |
| 11.3. Continuación | 72 |
| 11.4. Series de las concentraciones de NO | 73 |
| 11.5. Series de las concentraciones de NO2 | 74 |
| 11.6. Series de las concentraciones de NOx | 75 |
| 11.7. Series de las concentraciones de Ozono | 76 |
| 11.7. Continuación | 77 |
| 11.8. Series de las concentraciones de CO | 77 |
| 11.9. Series de las concentraciones de SO2 | 78 |

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 Septiembre de 2021 para las estaciones del municipio de Medellín | 14 |
| 4.2. Estadísticos de las concentraciones de PM2.5 durante el mes de Septiembre 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, Septiembre 2021 | 24 |
| 5.2. Estadísticos de PM10 para las estaciones manuales, Septiembre 2021 | 24 |
| 6.1. Estadísticos Septiembre 2021 Ozono | 31 |
| 7.1. Estadísticos Septiembre 2021 NO ₂ | 38 |
| 8.1. Resumen estadístico de las concentraciones de CO, Septiembre 2021 | 43 |
| 9.1. Estadísticos resumen de SO ₂ .Septiembre de 2021. | 46 |
| 10.1. Estaciones meteorológicas que operaron durante el mes de Septiembre de 2021. | 49 |
| 10.2. Porcentaje de datos válidos Meteorología. | 50 |
| 10.3. Estadísticos Precipitación | 54 |
| 11.1. Métodos y rangos de operación para los equipos pertenecientes a la REDMCA | 58 |
| 11.1. Métodos y rangos de operación para los equipos pertenecientes a la REDMCA | 59 |

| | |
|---|----|
| 11.1. Métodos y rangos de operación para los equipos pertenecientes a la REDMCA | 60 |
| 11.2. Identificación de filtros de las estaciones manuales de PM10 | 61 |
| 11.3. Identificación de filtros de las estaciones manuales de PM2.5 | 62 |

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 Septiembre 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 | |
| ITA-POGO | | x | | | x | x | | | | | | | | |
| ITA-CONC | | | | | | x | | | | | | x | x | |
| ITA-RESU | | | | | | | | | | | | | | |
| ITA-SAMA | | | | | | | | | | | | | | x |
| ENVIADO | ENY-HOSP | | | | | | | | | | | | | x |
| | EST-MAGO | | | | x | | | | | | | | | |
| ESTRELLA | EST-HOSP | | | | | | | | | | | | | |
| | SUR-TRAF | | | | x | x | | x | | | | | | |
| SABANETA | SAB-SEMS | | | | | | | | | | | | | |
| | SAB-SAME | | | | | | | | | | | | | |
| | CAL-JOAR | | | | | | | | | | | | x | |
| CALDAS | CAL-JOAR | | | | x | | | | | | | | | |
| | CAL-LASA | | | | | | | | | | | 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 Septiembre 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 | 81.9 | | | | | | | | | |
| BAR-PDLA | | | | | | 96.9 | | | | |
| GIR-EPM | 99.4 | 87.9 | 97.4 | 97.4 | 97.4 | 94.4 | 89.2 | 97.6 | | |
| COP-HSMA | | | | | | | | | | 100.0 |
| COP-CVID | 99.2 | | | | | | | | | |
| BEL-FEVE | 87.9 | | | | | | | | | |
| BEL-JEGA | | | | | | | | | 100.0 | |
| BEL-USBV | | 95.4 | | | | 99.6 | | | | |
| MED-ARAN | 86.5 | | | | | | | | | |

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 | 98.6 | | | | | | | | | |
| MED-ITMR | | 85.8 | 96.5 | 96.5 | 96.5 | | | | | |
| MED-FISC | 95.7 | | 95.3 | 95.3 | 95.3 | 96.2 | | | | |
| MED-VILL | 95.6 | | | | | | | | | |
| CEN-TRAF | 94.7 | 92.4 | 91.8 | 91.8 | 91.8 | | | 86.7 | | |
| MED-CORA | | | | | | | | | | 100.0 |
| MED-EXSA | | 84.2 | | | | | | | | |
| MED-BEME | 99.0 | | | | | | | | | |
| MED-SELE | 98.2 | | | | | | | | | |
| MED-UDEM | | | | | | 97.2 | | | | |
| MED-MIRA | | | | | | 88.8 | | | | 100.0 |
| MED-ALTA | 97.1 | | | | | | | | | |
| MED-PJIC | | 88.8 | 99.6 | 99.6 | 99.6 | | 76.1 | | 90.9 | 90.9 |
| MED-TESO | 98.6 | | | | | | | | | |
| ITA-PTAR | | | | | | | | | | 100.0 |
| ITA-POGO | | 95.8 | | | | | | | | 100.0 |
| ITA-CJUS | 99.4 | | 95.8 | 95.8 | 95.8 | | | | | |
| MED-LAYE | 88.1 | | | | | 96.8 | | | | |
| ITA-CONC | 97.9 | 94.6 | | | | 96.7 | | | | |
| ENV-HOSP | 99.3 | | | | | | | | | |
| EST-MAGO | | | | | | | | | | 100.0 |
| EST-HOSP | 98.8 | | | | | | | | | |
| SUR-TRAF | 94.3 | | | | | | | | | 100.0 |
| SAB-RAME | 87.8 | | | | | | | | | |
| CAL-LASA | 88.6 | | | | | 97.6 | | | | |
| CAL-JOAR | 93.1 | | | | | | | | | 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 Septiembre 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⁾ |
|----------|---------------------------|-----------|---------------------------------------|--|------------------------------------|---|---|--|---|
| Verde | Buena | 0-50 | 0-54 | 0-12 | 0-5094 | 0-93 | 0-100 | 0-106 | |
| Amarillo | Moderada | 51-100 | 55-154 | 13-37 | 5095-10819 | 94-197 | 101-189 | 107-138 | |
| Naranja | Dañina a grupos sensibles | 101-150 | 155-254 | 38-55 | 10820-14254 | 198-486 | 190-677 | 139-167 | 245-323 |
| Rojo | Dañina a la salud | 151-200 | 255-354 | 56-150 | 14255-17688 | 487-797 | 678-1221 | 168-207 | 324-401 |
| Púrpura | Muy dañina a la salud | 201-300 | 355-424 | 151-250 | 17689-34862 | 798-1583 | 1222-2349 | 208-393 | 402-794 |
| Marrón | 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 Septiembre 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.

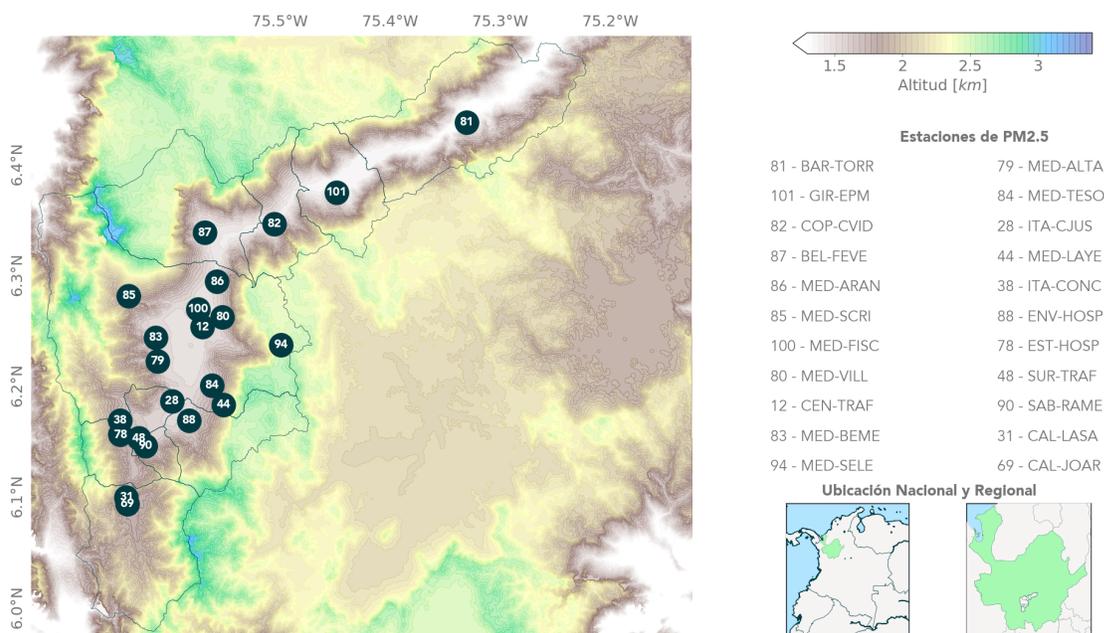


Figura 4.1: Estaciones automáticas de monitoreo de PM2.5.

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.

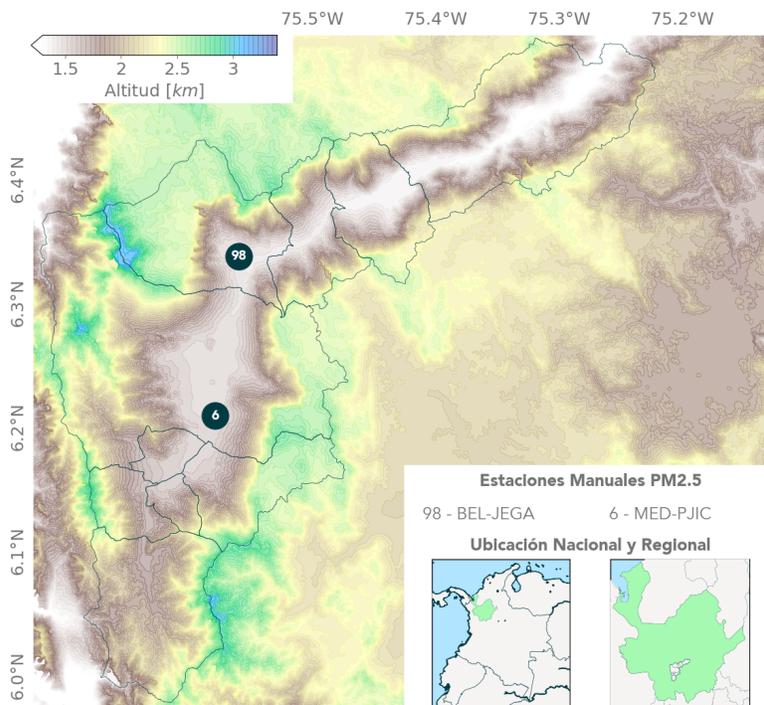


Figura 4.2: Estaciones manuales de monitoreo de PM2.5.

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 Septiembre de 2021 en las distintas estaciones de monitoreo automático. Según los resultados mostrados, se presentaron en total 2 excedencias (representadas con letra blanca dentro de la gráfica) a la norma diaria colombiana (Definida como $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Resolución 2254 del 2017) en la estación 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.

Estación

Excedencia Norma Diaria Colombiana PM2.5 (37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), identificada con letra blanca

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| BAR | 4.9 | 7.4 | 5.7 | 10.6 | 7.4 | 12.6 | | | | 8.0 | 7.3 | 4.2 | 6.3 | 8.5 | 6.4 | 9.2 | 10.6 | 17.1 | 7.9 | 6.9 | 7.1 | | 9.1 | 5.9 | 8.3 | 10.1 | 12.7 | 14.1 | 16.9 | 4.1 | |
| Torre Social | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GIR | 11.5 | 11.0 | 13.4 | 15.4 | 9.3 | 16.7 | 14.5 | 16.1 | 16.2 | 11.5 | 14.5 | 9.7 | 9.5 | 11.1 | 10.8 | 16.0 | 17.6 | 19.7 | 11.1 | 14.0 | 9.5 | 14.8 | 15.1 | 12.5 | 14.7 | 12.8 | 12.9 | 20.5 | 21.8 | 8.6 | |
| Girardota - Tanques EPM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COP | 9.0 | 9.8 | 9.1 | 12.6 | 9.2 | 15.1 | 14.2 | 16.2 | 17.8 | 9.9 | 13.4 | 7.9 | 8.8 | 10.4 | 10.8 | 11.7 | 11.7 | 16.3 | 7.9 | 11.5 | 8.8 | 12.8 | 15.6 | 10.9 | 12.6 | 9.3 | 12.7 | 20.6 | 19.1 | 7.1 | |
| Ciudadela Educativa de la Vida | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BEL | 12.0 | 9.8 | | | | | 15.3 | 14.5 | 14.9 | 10.0 | 14.5 | 8.0 | 8.6 | 9.7 | 10.3 | 13.3 | 12.3 | 14.5 | 8.1 | 11.1 | 11.2 | 14.3 | 13.0 | 11.7 | 12.1 | 9.3 | 10.1 | 16.2 | 17.3 | 7.7 | |
| I.E. Fernando Vélez | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MED | 16.3 | 12.9 | 13.4 | 19.6 | 13.6 | 22.8 | | 28.5 | 26.4 | | | | | 14.9 | 14.2 | 15.6 | 19.0 | 20.9 | 13.1 | 17.6 | 14.7 | 19.6 | 21.7 | 18.0 | 16.4 | 13.8 | 15.4 | 28.5 | 28.6 | 15.5 | |
| I.E. Ciro Mendía | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MED | 16.3 | 12.3 | 13.1 | 16.6 | 12.9 | 21.4 | 21.0 | 16.2 | 18.1 | 10.8 | 15.8 | 9.6 | 12.2 | 13.4 | 10.2 | 12.5 | 12.8 | 14.5 | 9.8 | 12.5 | 13.7 | 16.5 | 15.7 | 12.6 | 11.1 | 9.1 | 11.7 | 15.5 | 18.5 | 12.7 | |
| Parque Biblioteca Fernando Botero | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MED | 20.0 | 15.5 | 18.7 | 24.0 | 16.4 | 28.9 | 29.1 | 32.4 | 29.8 | 17.8 | 23.2 | 12.2 | 15.6 | 18.8 | 15.1 | 18.2 | 20.7 | 22.6 | 14.0 | 20.8 | 17.3 | 21.9 | 23.4 | 20.9 | 19.0 | 14.4 | 18.4 | 29.6 | 30.7 | 18.7 | |
| Fiscalía General de la Nación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MED | 18.0 | 12.9 | 11.1 | 16.8 | 13.9 | 21.8 | 21.3 | 23.4 | 23.3 | 10.6 | 17.5 | 10.5 | 11.7 | 13.0 | 11.9 | 13.3 | 12.8 | 15.8 | 11.9 | 14.3 | 14.2 | 16.4 | | 13.4 | 9.4 | 11.0 | 10.7 | 23.0 | 22.5 | 14.4 | |
| Planta de agua potable de EPM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CEN | 23.3 | 20.9 | 22.2 | 28.5 | 21.7 | 34.4 | 35.3 | 35.8 | 36.5 | 22.6 | 25.7 | 15.9 | 17.2 | 23.6 | 20.4 | 23.0 | 25.7 | 28.4 | 17.7 | 24.5 | 22.4 | 26.7 | | 23.0 | 21.9 | 15.8 | 21.2 | 31.1 | 35.3 | 22.3 | |
| Estación Tráfico Centro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MED | 16.0 | 12.9 | 17.5 | 23.1 | 17.4 | 31.6 | 21.7 | 23.2 | 27.0 | 16.7 | 23.7 | 16.3 | 15.5 | 14.2 | 15.5 | 19.4 | 21.3 | 20.0 | 15.5 | 17.5 | 14.8 | 21.3 | 22.3 | 15.2 | 23.9 | 20.1 | 20.0 | 29.4 | 31.6 | 21.7 | |
| I.E. Pedro Justo Berrio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MED | 3.9 | 4.6 | 6.4 | 12.7 | 8.3 | 9.5 | 9.4 | 5.7 | 6.2 | 5.7 | 5.1 | 7.0 | 6.5 | 6.5 | 9.4 | 8.4 | 11.2 | 6.0 | 6.7 | 7.7 | 9.4 | 5.6 | 7.2 | 8.1 | 5.5 | 8.9 | 12.3 | 8.6 | 6.9 | | |
| Medellín - Santa Elena | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MED | 15.2 | 15.8 | 16.7 | 20.0 | 16.5 | 22.5 | 24.2 | 21.4 | 23.3 | 16.2 | 20.3 | 12.5 | 16.8 | 15.6 | 14.7 | 16.6 | 18.2 | 20.9 | 14.3 | 18.1 | 17.7 | 20.1 | | 19.8 | 14.1 | 14.4 | 20.8 | 29.8 | 18.6 | | |
| I.E. Pedro Octavio Amado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MED | 15.4 | 10.8 | 11.0 | 14.3 | 11.4 | 18.6 | 19.9 | 16.3 | 19.6 | 13.1 | 14.3 | 9.5 | 12.9 | 12.0 | 13.1 | 13.1 | 13.8 | 16.4 | 9.5 | 15.7 | 15.1 | 17.3 | 14.8 | 17.6 | 11.5 | 9.9 | 12.5 | 20.4 | 15.0 | 16.4 | |
| I.E. INEM sede Santa Catalina | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ITA | 17.6 | 13.2 | 15.5 | 21.0 | 15.6 | 26.0 | 22.1 | 26.1 | 26.8 | 16.5 | 20.8 | 13.7 | 16.2 | 20.0 | 15.7 | 17.7 | 20.5 | 24.0 | 14.7 | 19.0 | 18.0 | 27.4 | 21.9 | 17.8 | 21.5 | 20.8 | 20.2 | 25.2 | 25.5 | 21.0 | |
| Casa de Justicia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MED | 20.1 | 18.7 | 14.9 | 18.9 | 14.7 | 20.4 | 19.8 | 18.3 | 20.0 | 18.6 | 21.7 | 14.2 | 16.1 | 16.8 | 12.8 | 17.1 | | | | | 17.1 | 19.1 | | 15.1 | 13.3 | 7.1 | 14.0 | 20.8 | 12.1 | 18.3 | |
| Tanques La Ye EPM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ITA | 17.0 | 12.9 | 14.0 | 12.8 | 11.3 | 18.6 | 17.7 | 19.7 | 17.2 | 14.4 | 13.5 | 10.1 | 14.8 | 17.0 | 12.8 | | 16.8 | 18.7 | 11.9 | 15.0 | 18.6 | 21.0 | 14.3 | 17.4 | 16.2 | 12.2 | 14.0 | 19.4 | 23.3 | 16.5 | |
| I.E. Concejo Municipal de Itagüí | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENV | 16.6 | 11.7 | 9.8 | 13.0 | 10.5 | 14.9 | 18.1 | 14.1 | 15.4 | 13.6 | 13.3 | 8.8 | 12.4 | 10.9 | 9.4 | 12.3 | 12.8 | 14.5 | 10.4 | 14.8 | 15.6 | 16.7 | 12.9 | 16.5 | 14.0 | 10.7 | 13.2 | 18.5 | 12.9 | 15.2 | |
| E.S.E Santa Gertrudis | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EST | 13.2 | 10.0 | 12.7 | 13.8 | 8.2 | 11.8 | 12.8 | 17.3 | 13.8 | 11.6 | 9.7 | 7.7 | 15.2 | 13.4 | 8.6 | 12.5 | 9.8 | 14.9 | 8.0 | 11.6 | 16.0 | 16.9 | 9.1 | 15.3 | 10.1 | 8.5 | 10.6 | 13.6 | 14.8 | 12.3 | |
| Hospital | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUR | 25.3 | 27.3 | 22.7 | 23.1 | 17.6 | 28.9 | 29.5 | 34.2 | 38.3 | 23.0 | 24.6 | 20.1 | 36.8 | 28.4 | 30.9 | 32.4 | 33.7 | 36.1 | 25.2 | 32.0 | | 31.3 | 27.4 | 29.1 | 30.4 | 23.7 | 29.9 | 39.5 | 31.5 | 28.8 | |
| Estación Tráfico Sur | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SAB | 16.1 | 13.2 | 14.1 | 13.0 | 12.0 | | | 16.8 | 18.4 | 13.5 | 13.1 | 9.5 | 16.0 | 16.6 | 11.8 | 14.6 | 15.6 | 21.0 | 11.8 | 16.8 | 14.8 | 20.0 | 13.1 | 17.0 | 15.5 | 12.3 | | | 16.0 | 15.5 | |
| I.E. Rafael J. Mejía | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAL | 21.7 | 21.2 | 18.7 | 14.0 | 13.8 | 14.7 | 13.2 | 17.9 | 21.1 | 19.4 | 15.4 | 10.8 | 17.0 | 17.4 | 12.3 | 21.0 | 20.9 | 25.2 | 14.1 | 17.4 | 19.8 | 19.2 | 14.0 | 20.4 | | | | | 16.5 | 15.0 | |
| Corp. Universitaria Lasallista | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAL | 17.7 | 16.5 | 16.1 | 13.4 | 11.3 | | | 16.7 | 17.7 | 15.9 | 16.2 | 9.9 | 14.8 | 14.9 | 12.0 | 18.7 | 19.6 | 23.4 | 12.7 | 14.5 | 18.5 | 15.9 | 11.7 | 19.7 | 22.6 | 13.2 | 20.8 | 19.6 | 16.6 | 16.8 | |
| E U Joaquin Aristizabal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

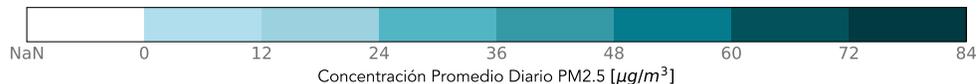


Figura 4.3: Concentración diaria de PM2.5 para las estaciones automáticas.

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 SUR-TRAF se obtuvo la concentración promedio diaria más alta durante el mes de Septiembre de 2021, igual a 39.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otra parte, en la estación MED-SELE se registró la menor concentración promedio diaria, igual a 3.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 Septiembre.

| | MED-ARAN | MED-VILL | MED-SCRI | MED-FISC | CEN-TRAF | MED-BEME | MED-ALTA | MED-PJIC(M) | MED-TESO | MED-LAYE | MED-SELE |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| CMD | 25 | 29 | 30 | 30 | 29 | 30 | 28 | 10 | 30 | 25 | 30 |
| MAX | 28.6 | 23.4 | 21.4 | 32.4 | 36.5 | 31.6 | 29.8 | 34.3 | 20.4 | 21.7 | 12.7 |
| MEDIA | 18.4 | 15.2 | 14.0 | 20.9 | 24.9 | 20.2 | 18.4 | 23.8 | 14.4 | 16.8 | 7.5 |
| MIN | 12.9 | 9.4 | 9.1 | 12.2 | 15.8 | 12.9 | 12.5 | 16.1 | 9.5 | 7.1 | 3.9 |
| NEND | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 4.1: Estadísticos de las concentraciones de PM2.5 durante el mes de Septiembre 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 | 26 | 30 | 30 | 26 | 11 | 30 | 30 | 29 | 29 | 30 | 26 | 28 | 26 |
| MAX | 17.1 | 21.8 | 20.6 | 17.3 | 24.6 | 27.4 | 18.5 | 23.3 | 39.5 | 17.3 | 25.2 | 23.4 | 21.0 |
| MEDIA | 8.8 | 13.7 | 12.1 | 11.9 | 17.6 | 20.1 | 13.5 | 15.8 | 29.0 | 12.1 | 17.4 | 16.3 | 14.9 |
| MIN | 4.1 | 8.6 | 7.1 | 7.7 | 12.0 | 13.2 | 8.8 | 10.1 | 17.6 | 7.7 | 10.8 | 9.9 | 9.5 |
| NEND | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 4.2: Estadísticos de las concentraciones de PM2.5 durante el mes de Septiembre 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 μm .

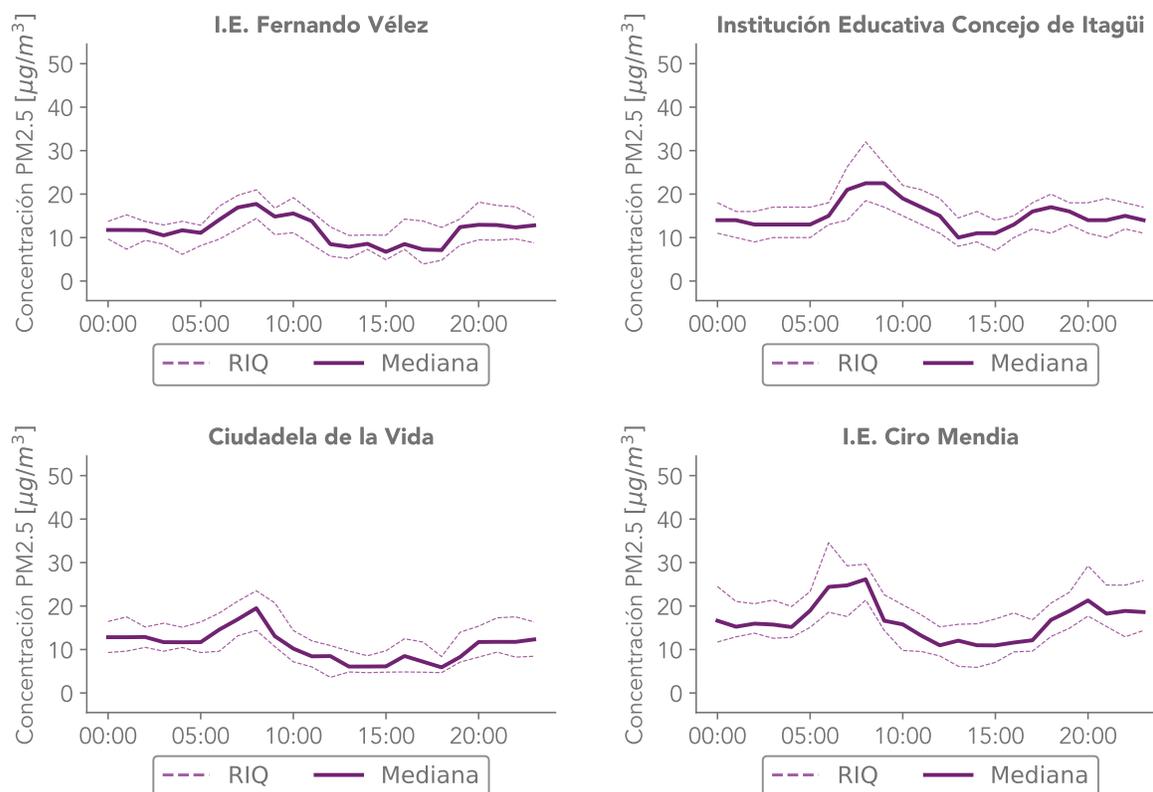


Figura 4.4: Ciclo diario de PM2.5 para las estaciones automáticas

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

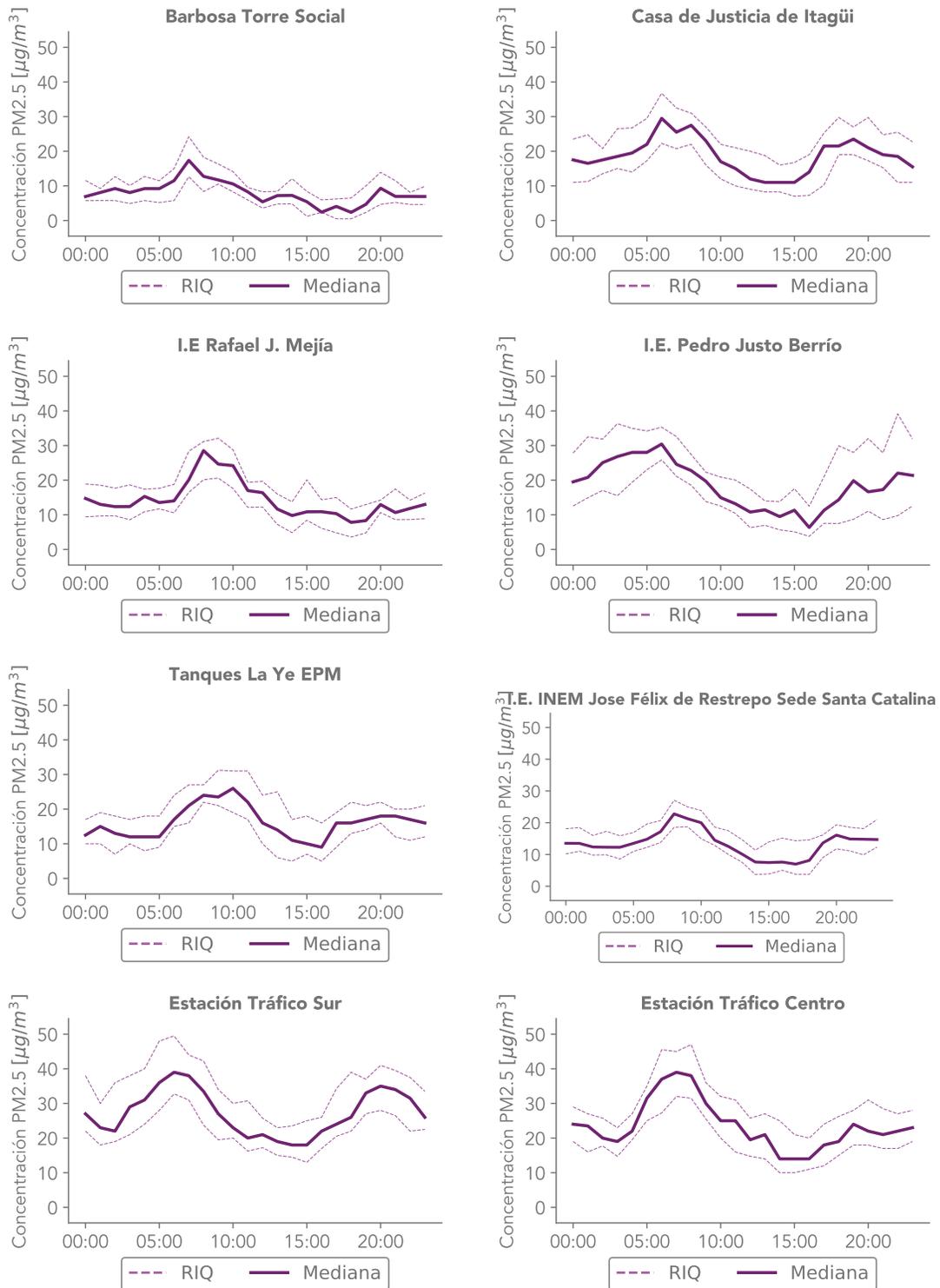


Figura 4.4: Continuación

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

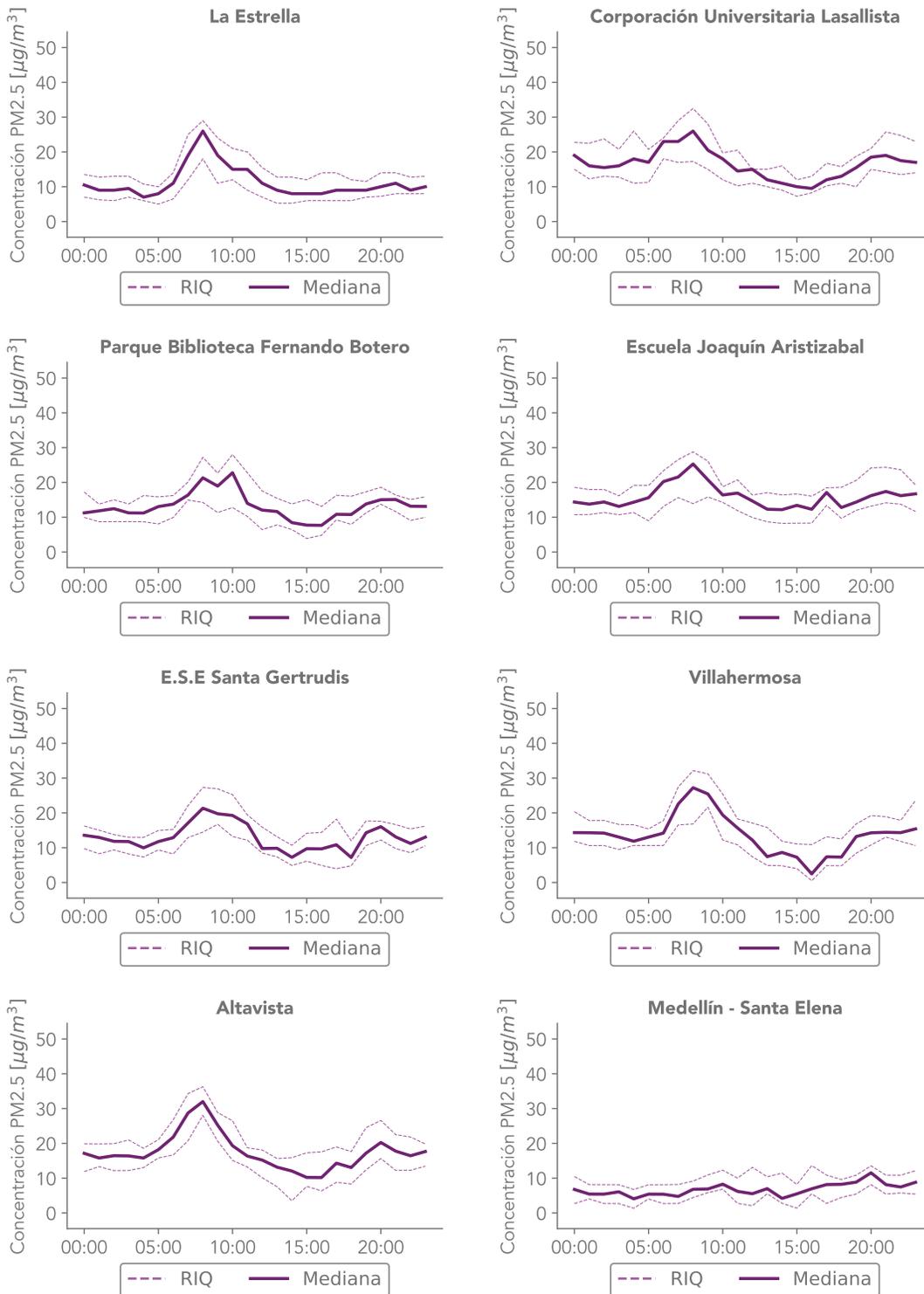


Figura 4.4: Continuación

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

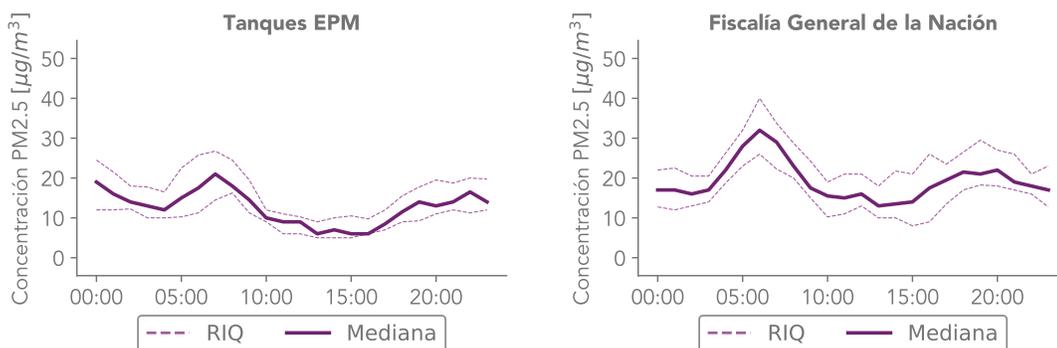


Figura 4.4: Continuación

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 Septiembre del 2021. Puede observarse como la mayoría de estaciones presentaron valores de ICA equivalentes a la clasificación moderada. La estación SUR-TRAF presentó, en total, 2 días clasificados según su ICA como dañino para la salud de grupos sensibles. 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 | Septiembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|---|
| | 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 | |
| Estaciones | DE REPRESENTACIÓN POBLACIONAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Barbosa | 5 | 7 | 6 | 11 | 7 | 13 | | | | | 8 | 7 | 4 | 6 | 8 | 6 | 9 | 11 | 17 | 8 | 7 | 7 | | 9 | 6 | 8 | 10 | 13 | 14 | 17 | 4 |
| Torre Social | 12 | 11 | 13 | 15 | 9 | 17 | 14 | 16 | 16 | 11 | 14 | 10 | 9 | 11 | 11 | 16 | 18 | 20 | 11 | 14 | 10 | 15 | 15 | 12 | 15 | 13 | 13 | 20 | 22 | 9 | |
| Girardota | 9 | 10 | 9 | 13 | 9 | 15 | 14 | 16 | 18 | 10 | 13 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 12 | 16 | 8 | 11 | 9 | 13 | 16 | 11 | 13 | 9 | 13 | 21 | 19 | 7 | |
| Girardota - Tanques EPM | 12 | 10 | | | | 15 | 14 | 15 | 10 | 14 | 8 | 9 | 10 | 10 | 13 | 12 | 15 | 8 | 11 | 11 | 14 | 13 | 12 | 12 | 9 | 10 | 16 | 17 | 8 | | |
| Copacabana | 16 | 13 | 13 | 20 | 14 | 23 | | 28 | 26 | | | | | 15 | 14 | 16 | 19 | 21 | 13 | 18 | 15 | 20 | 22 | 18 | 16 | 14 | 15 | 28 | 29 | 16 | |
| Ciudadela Educativa de la Vida Bello | 16 | 12 | 13 | 17 | 13 | 21 | 21 | 16 | 18 | 11 | 16 | 10 | 12 | 13 | 10 | 12 | 13 | 14 | 10 | 12 | 14 | 17 | 16 | 13 | 11 | 9 | 12 | 16 | 18 | 13 | |
| I.E. Fernando Vélez | 18 | 13 | 11 | 17 | 14 | 22 | 21 | 23 | 23 | 11 | 17 | 11 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 16 | 12 | 14 | 14 | 16 | | 13 | 9 | 11 | 11 | 23 | 22 | 14 | |
| Medellín - Aranjuez | 16 | 13 | 18 | 23 | 17 | 32 | 22 | 23 | 27 | 17 | 24 | 16 | 15 | 14 | 15 | 19 | 21 | 20 | 16 | 18 | 15 | 21 | 22 | 15 | 24 | 20 | 20 | 29 | 32 | 22 | |
| I.E. Pedro Justo Berrío | 4 | 5 | 6 | 13 | 8 | 9 | 9 | 6 | 5 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 6 | 9 | 8 | 11 | 6 | 7 | 8 | 9 | 6 | 7 | 8 | 5 | 9 | 12 | 9 | 7 | |
| Medellín - Santa Elena | 15 | 16 | 17 | 20 | 17 | 23 | 24 | 21 | 23 | 16 | 20 | 12 | 17 | 16 | 15 | 17 | 18 | 21 | 14 | 18 | 18 | 20 | | 20 | 14 | 14 | 21 | 30 | 19 | | |
| Medellín - Altavista | 15 | 11 | 11 | 14 | 11 | 19 | 20 | 16 | 20 | 13 | 14 | 9 | 13 | 12 | 13 | 13 | 14 | 16 | 10 | 16 | 15 | 17 | 15 | 18 | 11 | 10 | 13 | 20 | 15 | 16 | |
| I.E. Pedro Octavio Amado | 18 | 13 | 16 | 21 | 16 | 26 | 22 | 26 | 27 | 16 | 21 | 14 | 16 | 20 | 16 | 18 | 20 | 24 | 15 | 19 | 18 | 27 | 22 | 18 | 21 | 21 | 20 | 25 | 25 | 21 | |
| Medellín - El Poblado | 20 | 19 | 15 | 19 | 15 | 20 | 20 | 18 | 20 | 19 | 22 | 14 | 16 | 17 | 13 | 17 | | | | | 17 | 19 | | 15 | 13 | 7 | 14 | 21 | 12 | 18 | |
| I.E. INEM sede Santa Catalina | 17 | 13 | 14 | 13 | 11 | 19 | 18 | 20 | 17 | 14 | 14 | 10 | 15 | 17 | 13 | | 17 | 19 | 12 | 15 | 19 | 21 | 14 | 17 | 16 | 12 | 14 | 19 | 23 | 17 | |
| Itagüí | 17 | 12 | 10 | 13 | 11 | 15 | 18 | 14 | 15 | 14 | 13 | 9 | 12 | 11 | 9 | 12 | 13 | 15 | 10 | 15 | 16 | 17 | 13 | 17 | 14 | 11 | 13 | 18 | 13 | 15 | |
| Casa de Justicia | 13 | 10 | 13 | 14 | 8 | 12 | 13 | 17 | 14 | 12 | 10 | 8 | 15 | 13 | 9 | 12 | 10 | 15 | 8 | 12 | 16 | 17 | 9 | 15 | 10 | 8 | 11 | 14 | 15 | 12 | |
| Medellín - El Poblado | 16 | 13 | 14 | 13 | 12 | | 17 | 18 | 14 | 13 | 10 | 16 | 17 | 12 | 15 | 16 | 21 | 12 | 17 | 15 | 20 | 13 | 17 | 15 | 12 | | | 16 | 15 | | |
| Tanques La Ye EPM | 22 | 21 | 19 | 14 | 14 | 15 | 13 | 18 | 21 | 19 | 15 | 11 | 17 | 17 | 12 | 21 | 21 | 25 | 14 | 17 | 20 | 19 | 14 | 20 | | | | 16 | 15 | | |
| Itagüí | 18 | 17 | 16 | 13 | 11 | | 17 | 18 | 16 | 16 | 10 | 15 | 15 | 12 | 19 | 20 | 23 | 13 | 14 | 18 | 16 | 12 | 20 | 23 | 13 | 21 | 20 | 17 | 17 | | |
| I.E. Concejo Municipal de Itagüí | NO POECA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Erivgado | 20 | 16 | 19 | 24 | 16 | 29 | 29 | 32 | 30 | 18 | 23 | 12 | 16 | 19 | 15 | 18 | 21 | 23 | 14 | 21 | 17 | 22 | 23 | 21 | 19 | 14 | 18 | 30 | 31 | 19 | |
| E.S.E Santa Gertrudis | 23 | 21 | 22 | 28 | 22 | 34 | 35 | 36 | 37 | 23 | 26 | 16 | 17 | 24 | 20 | 23 | 26 | 28 | 18 | 24 | 22 | 27 | | 23 | 22 | 16 | 21 | 31 | 35 | 22 | |
| La Estrella | 25 | 27 | 23 | 23 | 18 | 29 | 30 | 34 | 38 | 23 | 25 | 20 | 37 | 28 | 31 | 32 | 34 | 36 | 25 | 32 | | 31 | 27 | 29 | 30 | 24 | 30 | 40 | 31 | 29 | |
| Hospital | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sabaneta | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I.E Rafael J. Mejía | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caldas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corp. Universitaria Lasallista | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caldas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E U Joaquín Aristizabal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estaciones | NO POECA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Medellín | 20 | 16 | 19 | 24 | 16 | 29 | 29 | 32 | 30 | 18 | 23 | 12 | 16 | 19 | 15 | 18 | 21 | 23 | 14 | 21 | 17 | 22 | 23 | 21 | 19 | 14 | 18 | 30 | 31 | 19 | |
| Fiscalía General de la Nación | 23 | 21 | 22 | 28 | 22 | 34 | 35 | 36 | 37 | 23 | 26 | 16 | 17 | 24 | 20 | 23 | 26 | 28 | 18 | 24 | 22 | 27 | | 23 | 22 | 16 | 21 | 31 | 35 | 22 | |
| Medellín - Centro | 25 | 27 | 23 | 23 | 18 | 29 | 30 | 34 | 38 | 23 | 25 | 20 | 37 | 28 | 31 | 32 | 34 | 36 | 25 | 32 | | 31 | 27 | 29 | 30 | 24 | 30 | 40 | 31 | 29 | |
| 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 | Septiembre | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|----|----|----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | Mi1 | S4 | M7 | J9 | L13 | J16 | D19 | Mi22 | S25 | M28 | J30 |
| Estaciones | | | | | | | | | | | |
| Bello | 15 | 16 | 19 | 25 | 18 | 16 | 13 | 20 | 16 | 24 | 12 |
| I. E. Jorge Eliécer Gaitán | 24 | 23 | 25 | 26 | 18 | 20 | | 34 | 19 | 33 | 16 |
| 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 SUR-TRAF es la única que presenta excedencias a la norma diaria; para el total de sus muestras, el porcentaje de excedencias a la norma es igual a 6.90%. Se puede observar igualmente como la estación MED-LAYE 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.

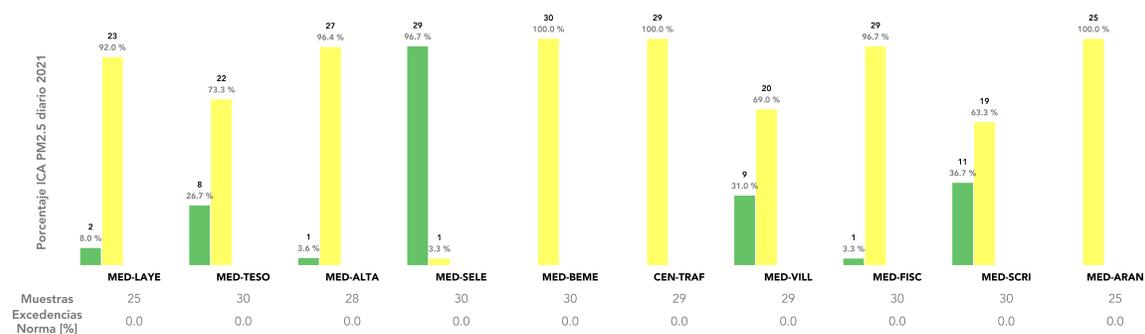


Figura 4.7: Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones de PM2.5 del municipio de Medellín.

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

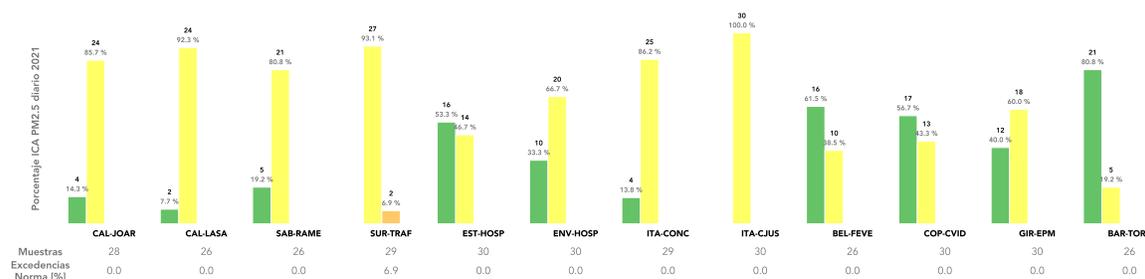


Figura 4.8: Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones de PM2.5 de los municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá, excepto Medellín.

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

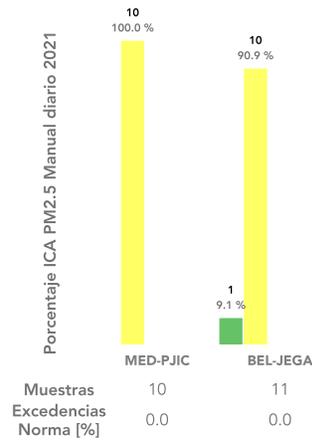


Figura 4.9: Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones manuales de PM2.5 de los municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá.

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 Septiembre 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.

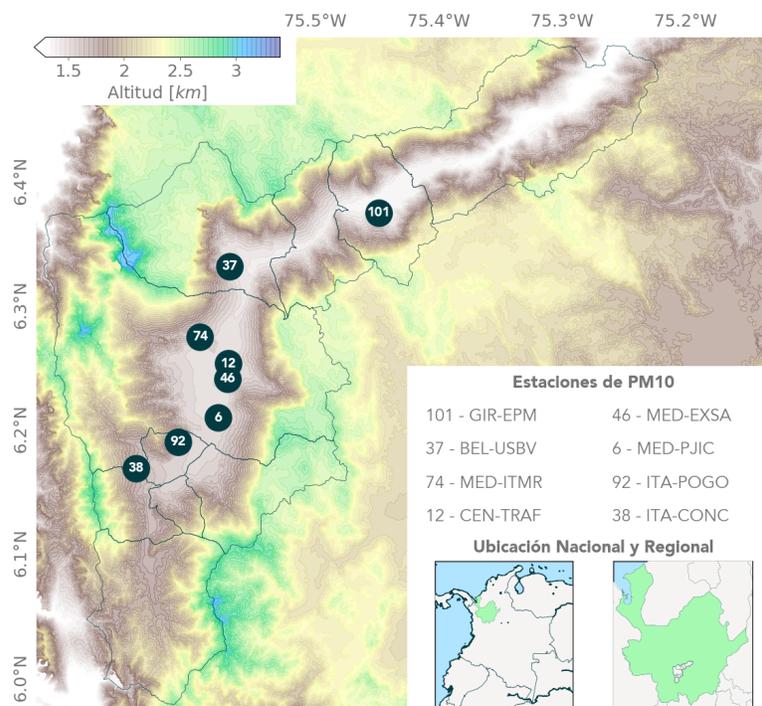


Figura 5.1: Estaciones automáticas de monitoreo de PM10.

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.

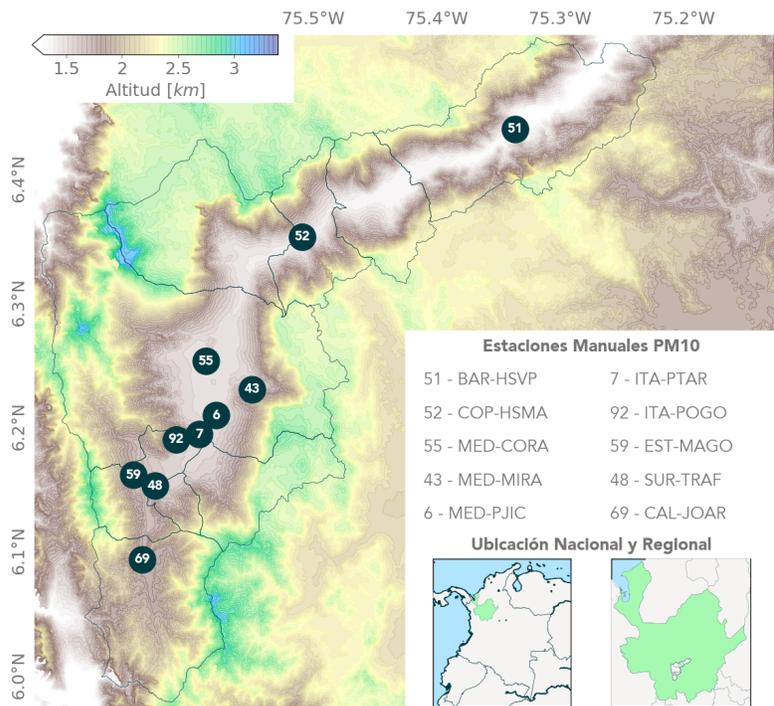


Figura 5.2: Estaciones manuales de monitoreo de PM10.

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 Septiembre de 2021 para las distintas estaciones de monitoreo automático. Puede observarse como durante el mes, se presentaron 6 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 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) en la estación ITA-POGO.

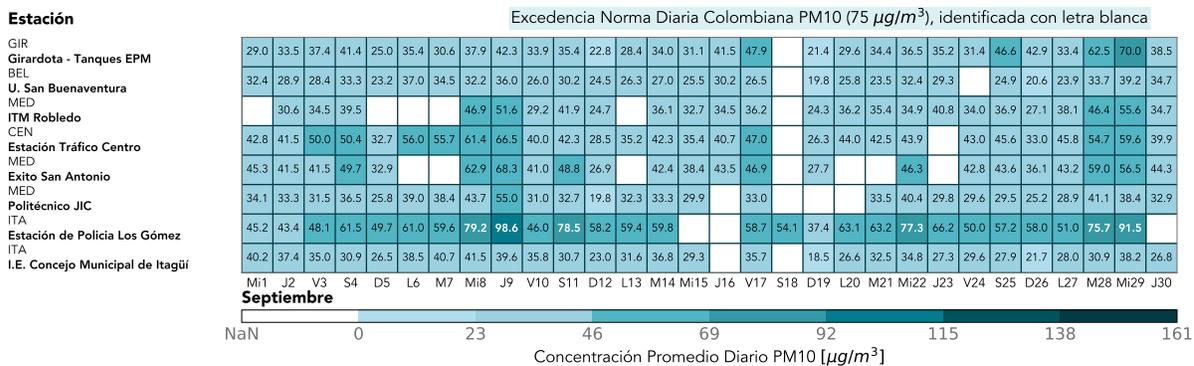


Figura 5.3: Concentración Diaria de PM10 para las estaciones automáticas. **Nota:** 1. En la gráfica NaN corresponde a datos faltantes. 2. En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

El resumen de las concentraciones de PM10 obtenidas durante el mes de Septiembre 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 | 29 | 28 | 24 | 28 | 23 | 26 | 27 | 28 |
| MAX | 70.0 | 39.2 | 55.6 | 66.5 | 68.3 | 55.0 | 98.6 | 41.5 |
| MEDIA | 36.9 | 28.9 | 36.8 | 44.5 | 44.8 | 33.8 | 61.2 | 32.0 |
| MIN | 21.4 | 19.8 | 24.3 | 26.3 | 26.9 | 19.8 | 37.4 | 18.5 |
| NEND | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 |

Tabla 5.1: Estadísticos de PM10 para las estaciones automáticas, Septiembre 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- PJIC(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 | 11 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| MAX | 27.6 | 40.6 | 48.9 | 28.0 | 50.8 | 40.8 | 68.5 | 51.9 | 70.9 | 42.7 |
| MEDIA | 16.9 | 25.6 | 29.5 | 18.2 | 38.2 | 31.1 | 43.2 | 37.9 | 48.4 | 29.9 |
| MIN | 8.4 | 8.8 | 13.1 | 7.9 | 28.1 | 19.9 | 11.1 | 18.4 | 20.0 | 16.8 |
| NEND | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 5.2: Estadísticos de PM10 para las estaciones manuales, Septiembre 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.

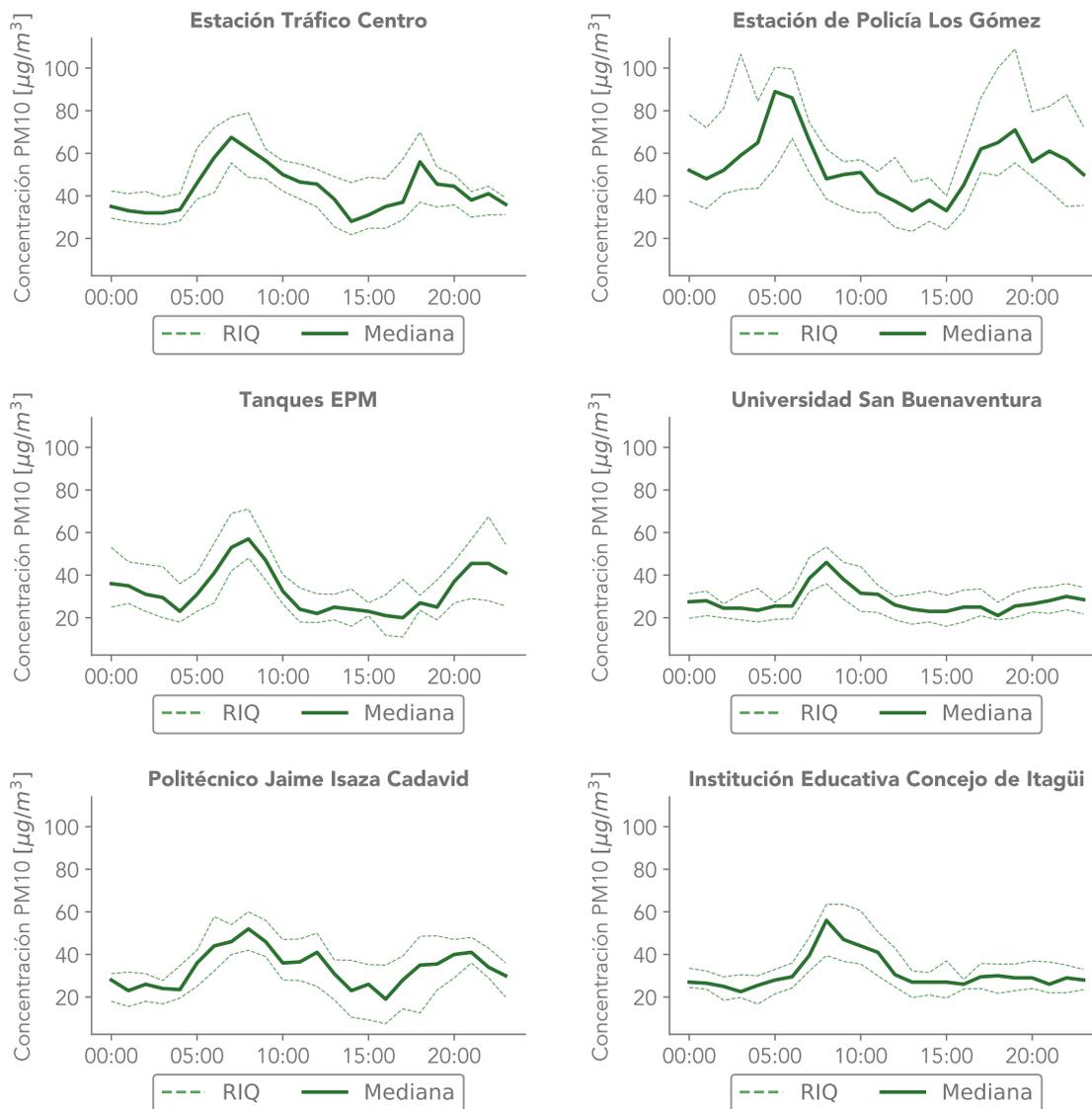


Figura 5.4: Ciclo diario de PM10 para las estaciones automáticas

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

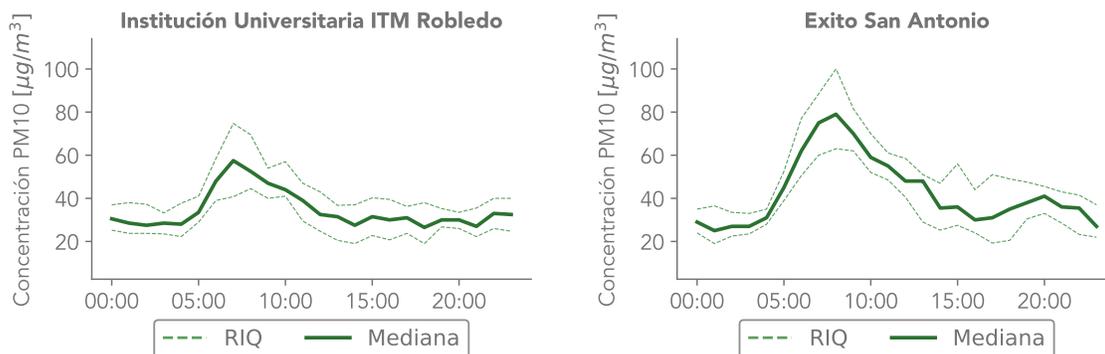


Figura 5.4: Continuación

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 Septiembre 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 | Septiembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|
| | 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 | |
| Estaciones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Girardota | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Girardota - Tanques EPM | 29 | 33 | 37 | 41 | 25 | 35 | 31 | 38 | 42 | 34 | 35 | 23 | 28 | 34 | 31 | 41 | 48 | | 21 | 30 | 34 | 36 | 35 | 31 | 47 | 43 | 33 | 62 | 70 | 38 | |
| Bello | 32 | 29 | 28 | 33 | 23 | 37 | 34 | 32 | 36 | 26 | 30 | 24 | 26 | 27 | 26 | 30 | 26 | | 20 | 26 | 24 | 32 | 29 | | 25 | 21 | 24 | 34 | 39 | 35 | |
| U. San Buenaventura | | 31 | 35 | 40 | | | | 47 | 52 | 29 | 42 | 25 | | 36 | 33 | 34 | 36 | | 24 | 36 | 35 | 35 | 41 | 34 | 37 | 27 | 38 | 46 | 56 | 35 | |
| Medellín | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ITM Robledo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Medellín - Centro | 43 | 41 | 50 | 50 | 33 | 56 | 56 | 61 | 66 | 40 | 42 | 29 | 35 | 42 | 35 | 41 | 47 | | 22 | 44 | 43 | 44 | | 43 | 46 | 33 | 46 | 55 | 60 | 40 | |
| Estación Tráfico Centro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Medellín - Centro | 45 | 41 | 42 | 50 | 33 | | | 63 | 68 | 41 | 49 | 27 | | 42 | 38 | 44 | 47 | | 28 | | | 46 | | 43 | 44 | 16 | 43 | 59 | 56 | 44 | |
| Exito San Antonio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Medellín | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Politécnico JIC | 34 | 33 | 31 | 37 | 26 | 39 | 38 | 44 | 55 | 31 | 33 | 20 | 32 | 33 | 30 | | 33 | | | | | 34 | 40 | 30 | 30 | 40 | 15 | 29 | 41 | 38 | 33 |
| Itagüí | 45 | 43 | 48 | 62 | 50 | 61 | 60 | 79 | 99 | 46 | 79 | 58 | 59 | 60 | | | 59 | 54 | 37 | 63 | 63 | 77 | 66 | 50 | 57 | 58 | 51 | 76 | 92 | | |
| Estación de Policía Los Gómez | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Itagüí | 40 | 37 | 35 | 31 | 27 | 39 | 41 | 42 | 40 | 36 | 31 | 23 | 32 | 37 | 29 | | 36 | | 18 | 27 | 32 | 35 | 27 | 30 | 28 | 22 | 28 | 31 | 38 | 27 | |
| 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 | Septiembre | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------|----|----|----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | Mi1 | S4 | M7 | J9 | L13 | J16 | D19 | Mi22 | S25 | M28 | J30 |
| Estaciones | | | | | | | | | | | |
| Barbosa | 22 | 22 | 13 | 21 | 8 | 16 | 10 | 10 | 19 | 28 | |
| H. San Vicente de Paul | | | | | | | | | | | |
| Copacabana | 18 | 34 | 34 | 30 | 28 | 15 | 9 | 23 | 36 | 41 | 13 |
| H. Santa Margarita | | | | | | | | | | | |
| Medellin | 26 | 26 | 34 | 39 | 17 | 31 | 13 | 34 | 34 | 49 | 22 |
| Corantioquia | | | | | | | | | | | |
| Medellin | 15 | 28 | 21 | 20 | 12 | 26 | 8 | 18 | 9 | 27 | 17 |
| Tanques Miraflores | | | | | | | | | | | |
| Medellin | 32 | 40 | 38 | 50 | 32 | 28 | | 40 | 36 | 51 | 35 |
| Politécnico JIC | | | | | | | | | | | |
| Itagüí | 29 | 31 | 32 | 41 | 28 | 28 | 20 | 37 | 29 | 38 | 29 |
| PTAR San Fernando | | | | | | | | | | | |
| Itagüí | 11 | 39 | 33 | 55 | 48 | 38 | 29 | 60 | 53 | 69 | 42 |
| Estación de Policia Los Gómez | | | | | | | | | | | |
| La Estrella | 36 | 31 | 37 | 44 | 44 | 52 | 18 | 29 | 40 | 42 | 34 |
| I.E. Santa María Goretti | | | | | | | | | | | |
| Sabaneta | 20 | 40 | 51 | 71 | 61 | 58 | 35 | 33 | 59 | 63 | 42 |
| Estación Tráfico Sur | | | | | | | | | | | |
| Caldas | 27 | 26 | 28 | 27 | 32 | 38 | 17 | 34 | 43 | 33 | 25 |
| E U Joaquin 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 es la única que presenta excedencias a la norma diaria, con un porcentaje de excedencias igual a 22.22%.

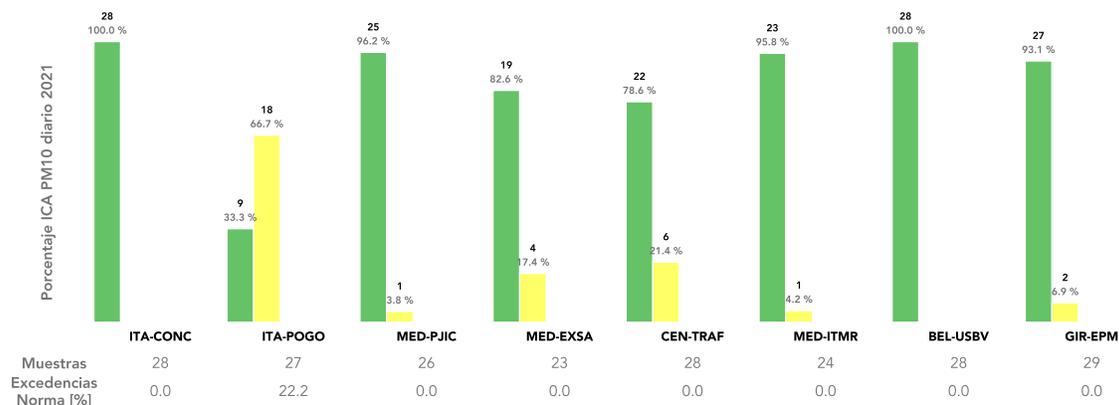


Figura 5.7: Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones automáticas de PM10.

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

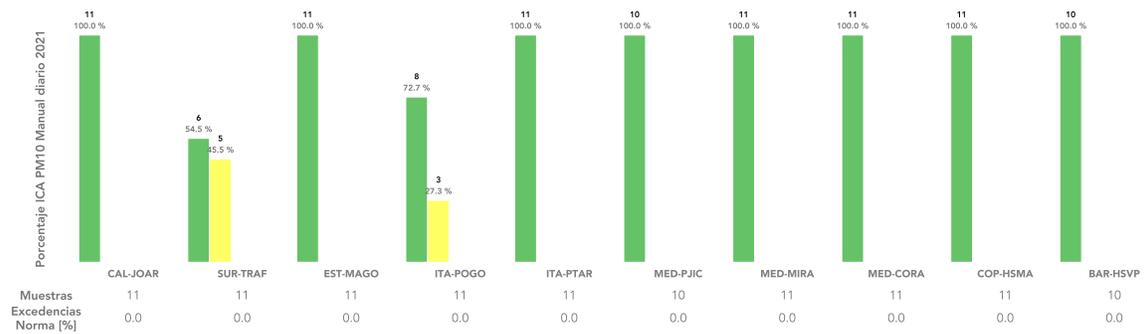


Figura 5.8: Porcentaje de días en las distintas clasificaciones del ICA para las estaciones manuales de PM10.

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.

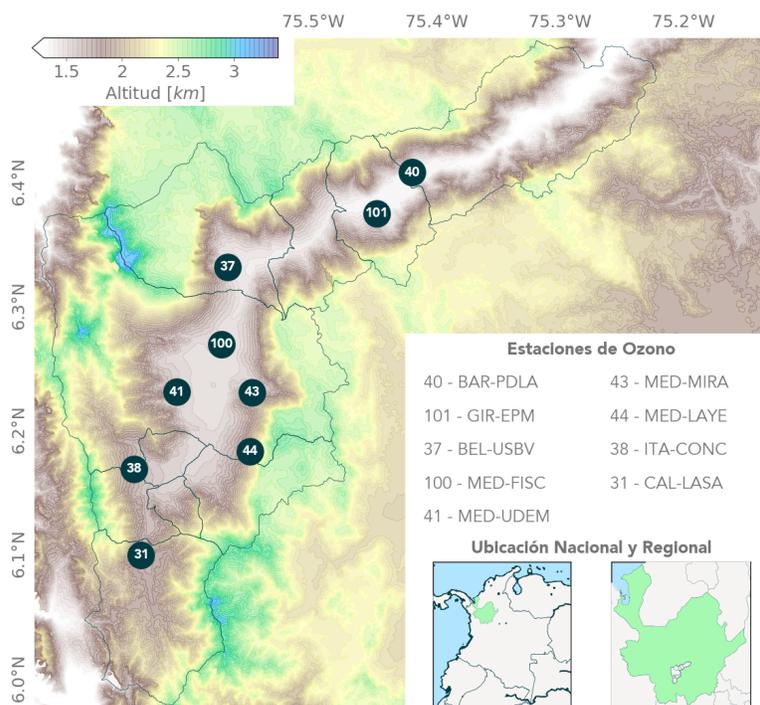


Figura 6.1: Estaciones automáticas de monitoreo de Ozono.

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 Septiembre 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 1 excedencia a la norma octohoraria colombiana (Definida como $100 \mu g/m^3$ en la Resolución 2254 del 2017 del Ministerio

de Ambiente y Desarrollo Sostenible) en la estación MED-MIRA. En la estación MED-MIRA se obtuvo la concentración octohoraria más alta durante el mes de Septiembre de 2021, igual a 100.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

| | BAR-PDLA | GIR-EPM | BEL-USBV | MED-FISC | MED-UDEM | MED-MIRA | MED-LAYE | ITA-CONC | CAL-LASA |
|-------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| MEDIA | 31.6 | 34.4 | 26.0 | 26.3 | 21.8 | 30.7 | 32.1 | 19.6 | 31.7 |
| VM8H | 85.6 | 86.3 | 75.8 | 93.7 | 71.9 | 100.3 | 96.7 | 64.8 | 94.6 |
| NEN8H | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 6.1: Estadísticos Septiembre 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.

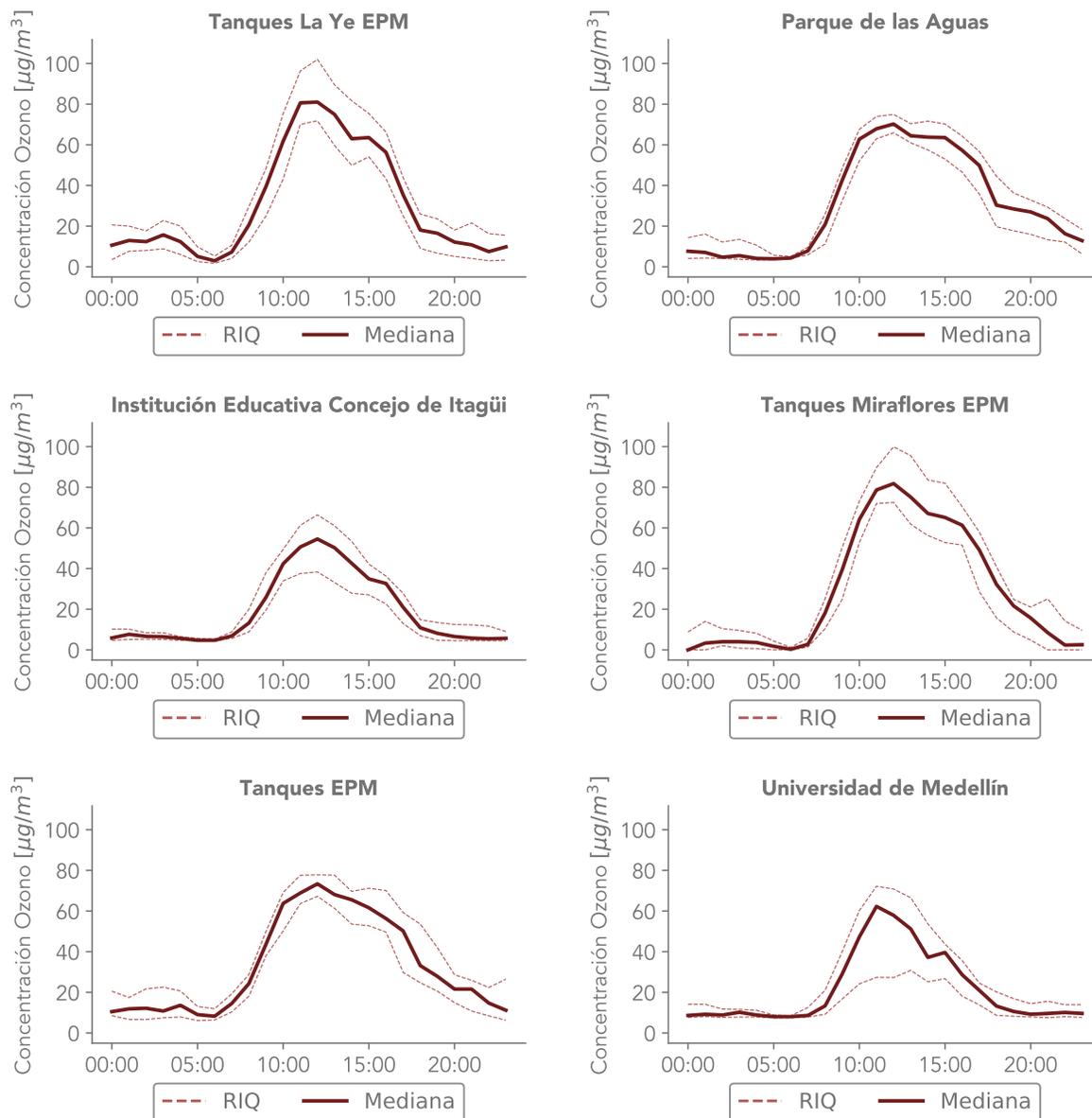


Figura 6.2: Ciclo diario de Ozono para las estaciones automáticas.

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

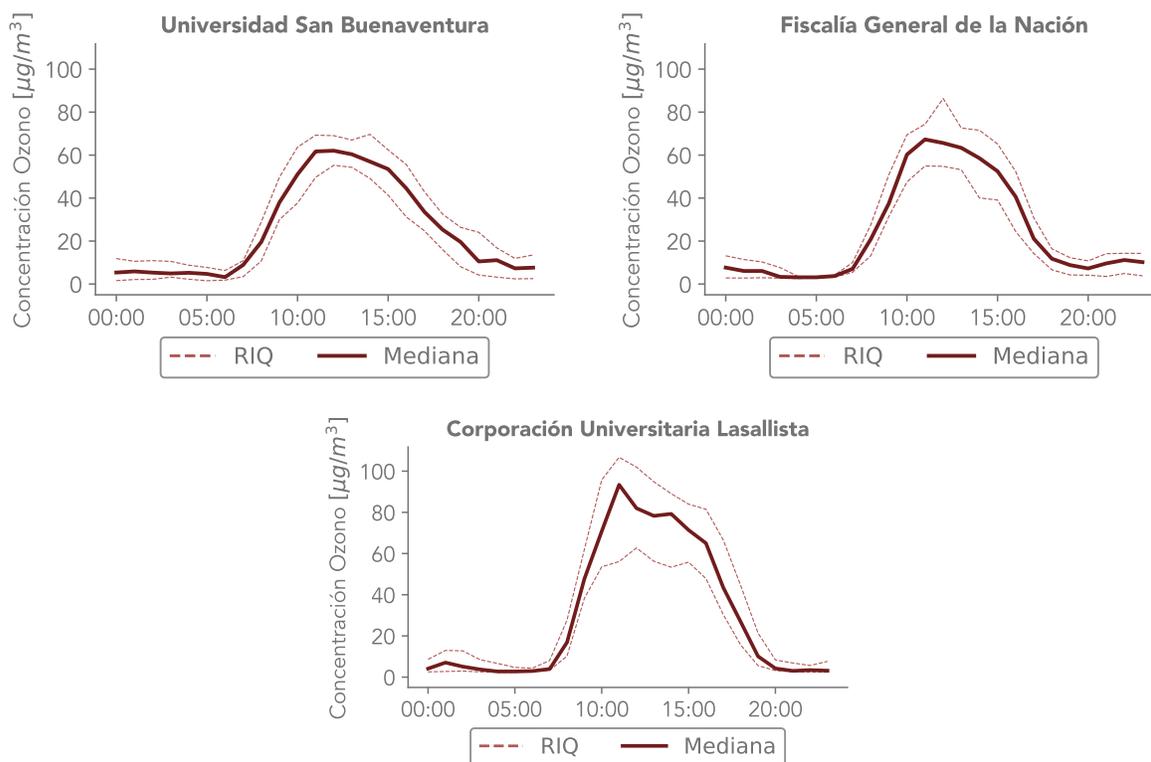


Figura 6.2: Continuación

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 Septiembre 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.

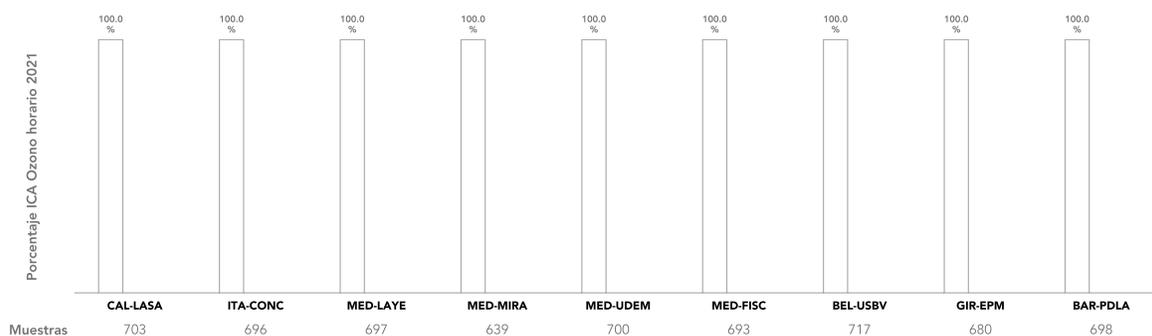


Figura 6.3: Porcentaje de las distintas categorías del ICA para las concentraciones horarias de Ozono.
Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

La Figura 6.4 muestra el porcentaje del ICA para el ozono octohorario en las diferentes estaciones durante el mes de Septiembre 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 MED-MIRA es la única que presenta excedencias a la norma octohoraria, para el total de sus muestras el porcentaje de excedencias es igual a 0.16 %.

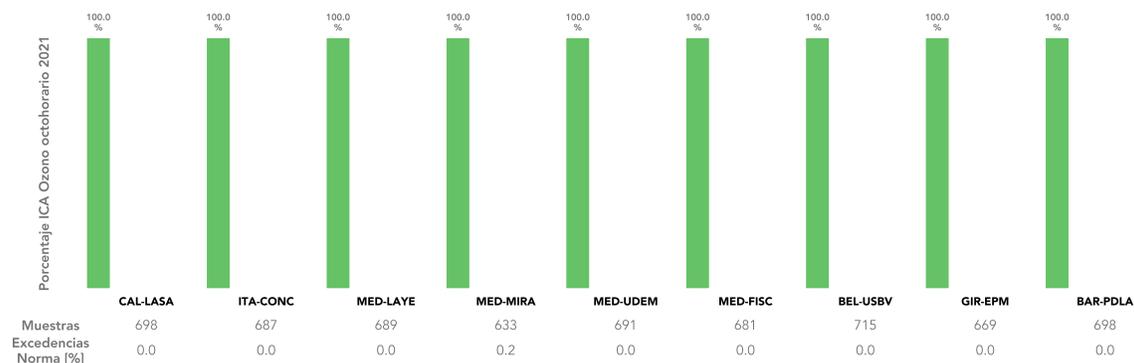


Figura 6.4: Variación porcentual de las distintas categorías del ICA para las concentraciones octohorarias de Ozono.

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 6 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.

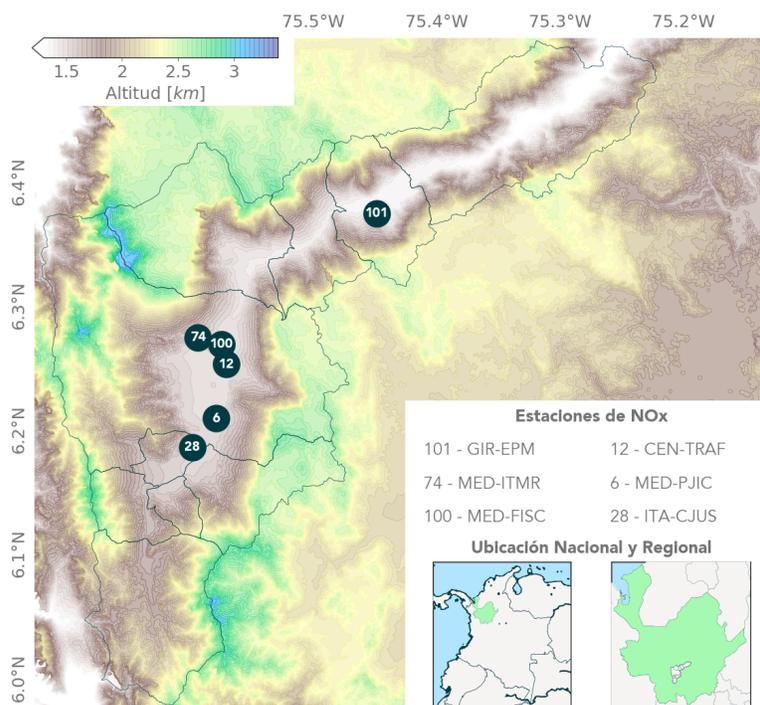


Figura 7.1: Estaciones automáticas de monitoreo de NO_x .

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 .

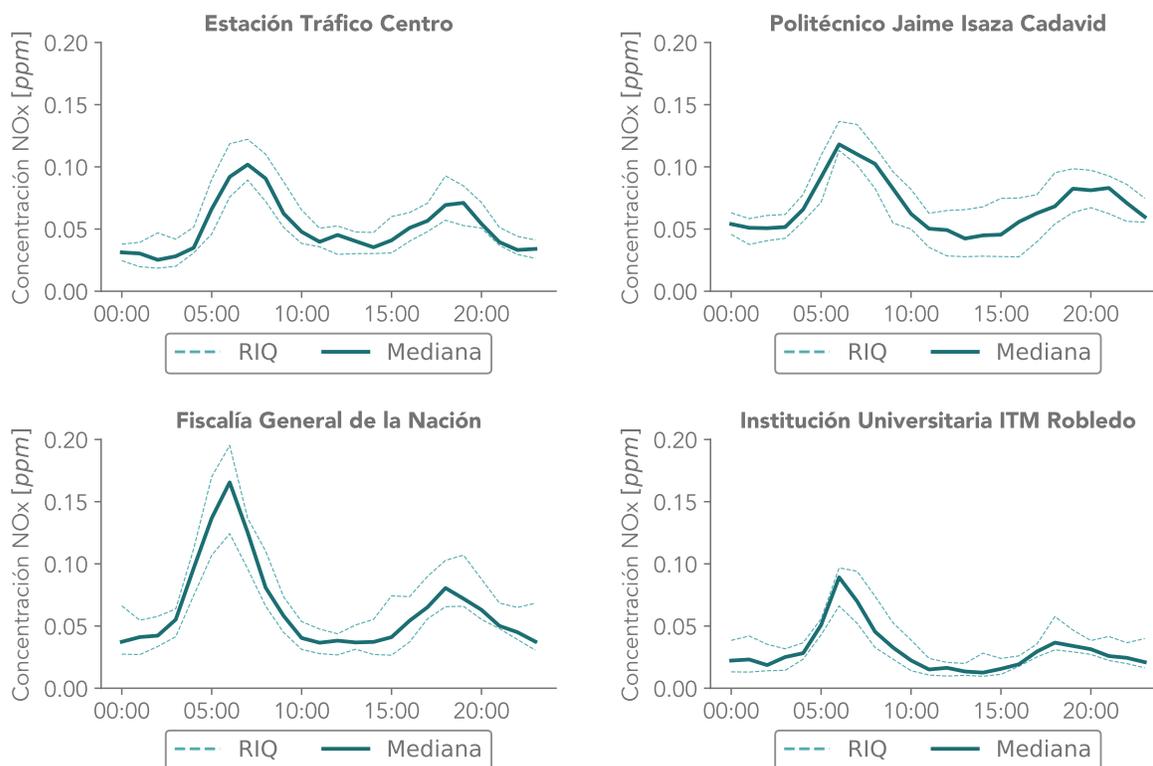


Figura 7.2: Ciclo diurno de NO_x para las estaciones automáticas.

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

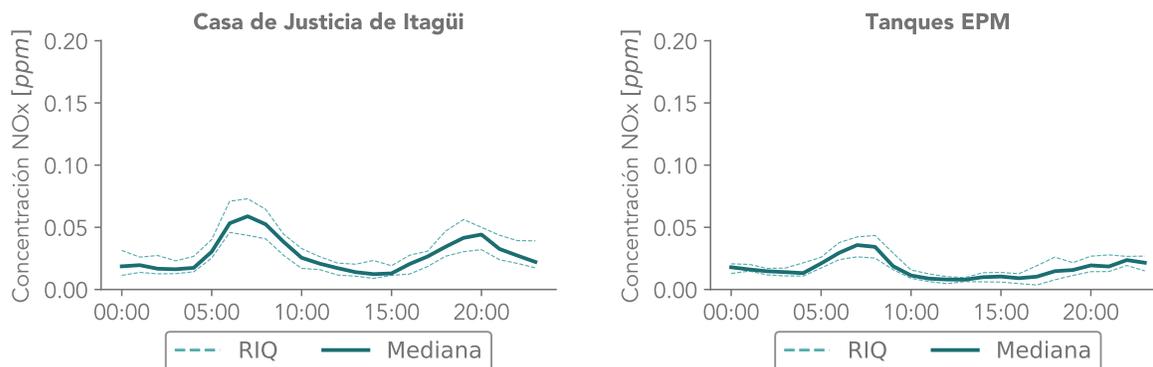


Figura 7.2: Continuación

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 Septiembre de 2021 para las distintas estaciones de monitoreo automático.

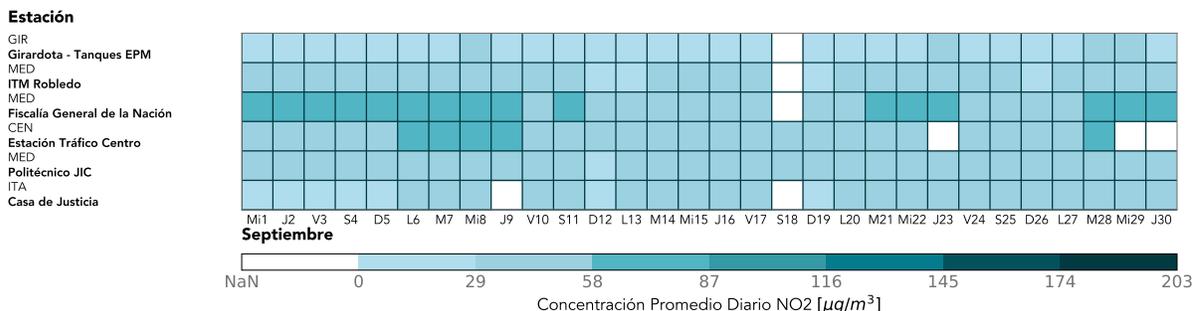


Figura 7.3: Concentraciones de NO₂ para las estaciones automáticas.

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 Septiembre de 2021, igual a $167.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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- PJC | ITA- CJUS |
|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| MEDIA | 23.0 | 37.0 | 59.4 | 50.4 | 38.6 | 32.7 |
| VM1H | 86.1 | 108.7 | 167.0 | 150.5 | 100.9 | 102.7 |
| NEN1H | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 7.1: Estadísticos Septiembre 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.

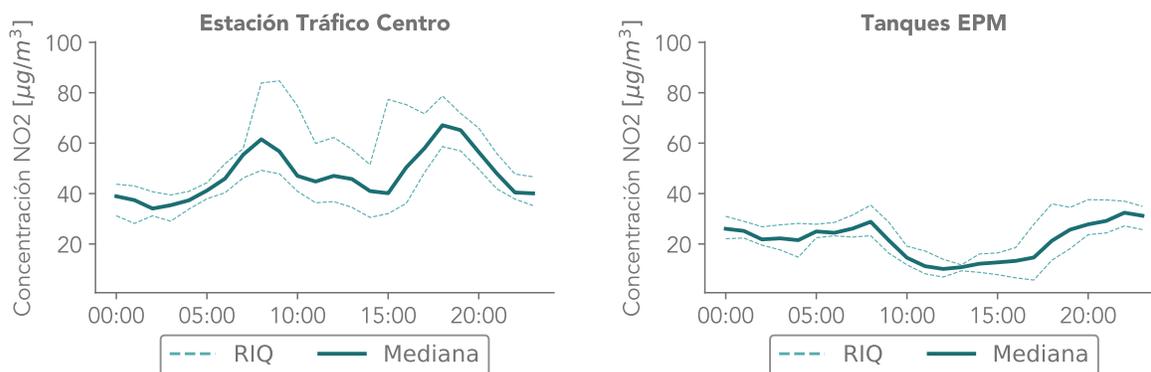


Figura 7.4: Ciclo diurno de NO₂ para las estaciones automáticas.

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

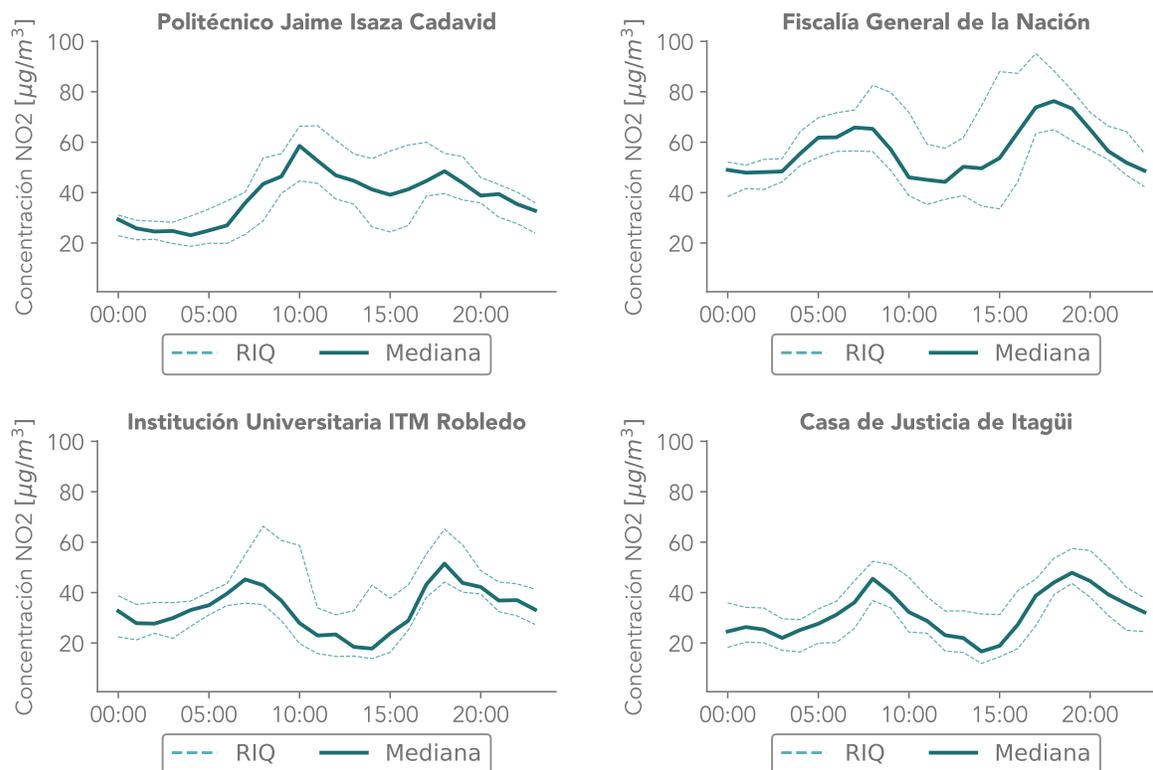


Figura 7.4: Continuación

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 Septiembre de 2021. Puede observarse como la mayoría de estaciones presentaron valores de ICA equivalentes a la clasificación buena. La estación CEN-TRAF obtuvo la menor cantidad de muestras horarias en el mes con un total de 661. Cabe recordar que el analizador de NO_x de esta estación salió de operación debido a una sobrecarga eléctrica producto de una descarga atmosférica.

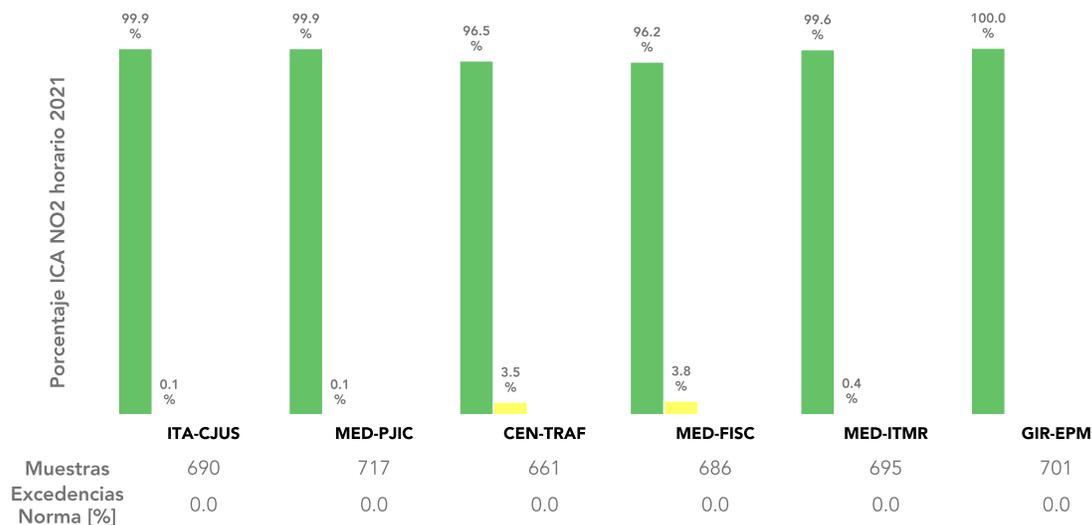


Figura 7.5: Porcentaje de las distintas clasificaciones del ICA para las concentraciones horarias de NO₂
Nota: En la Tabla 2.4 se relacionan con más detalle los nombres de las estaciones.

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.

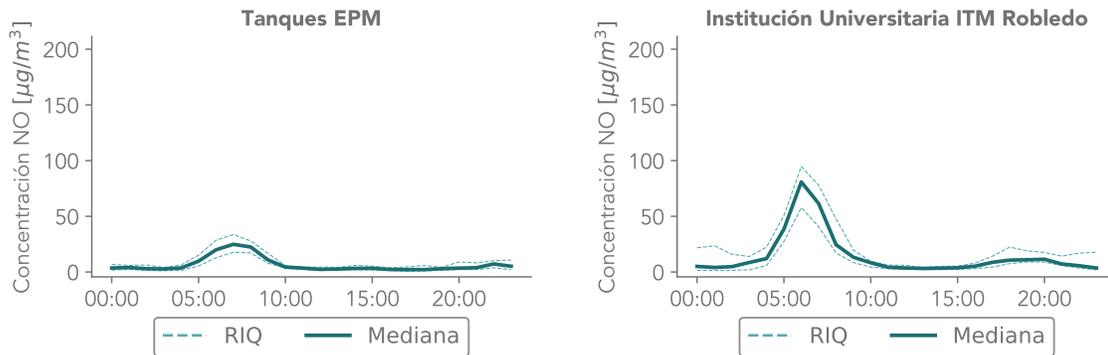


Figura 7.6: Ciclo diario de NO para las estaciones automáticas.

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

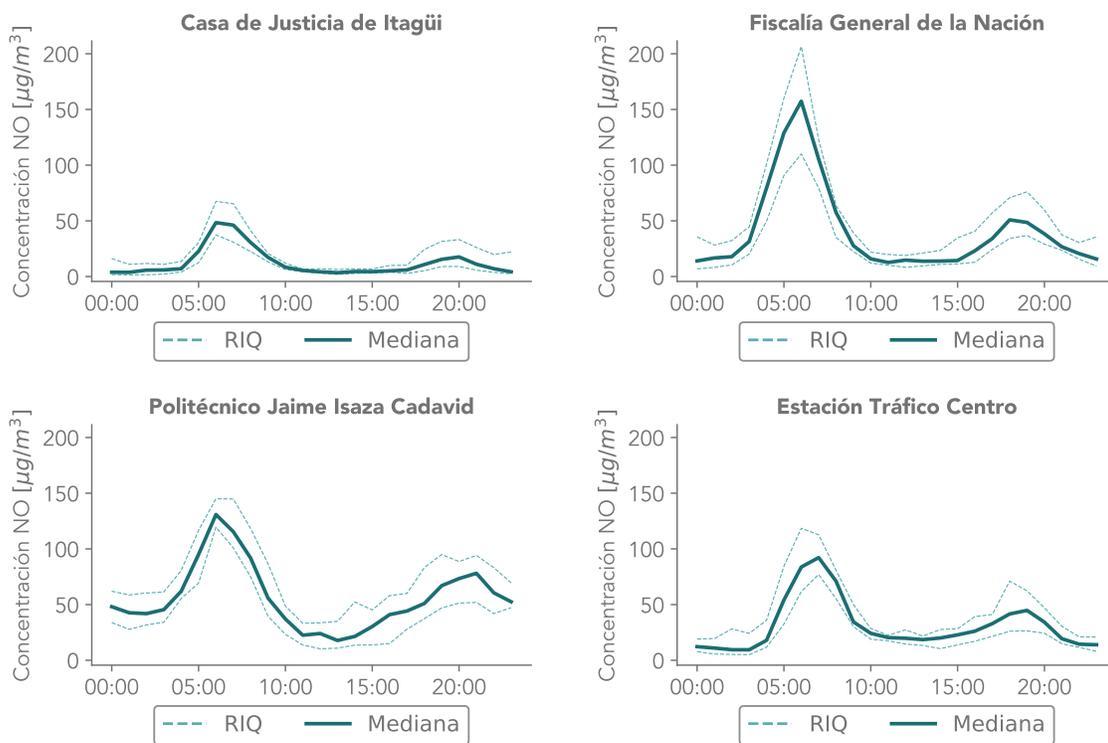


Figura 7.6: Continuación

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.

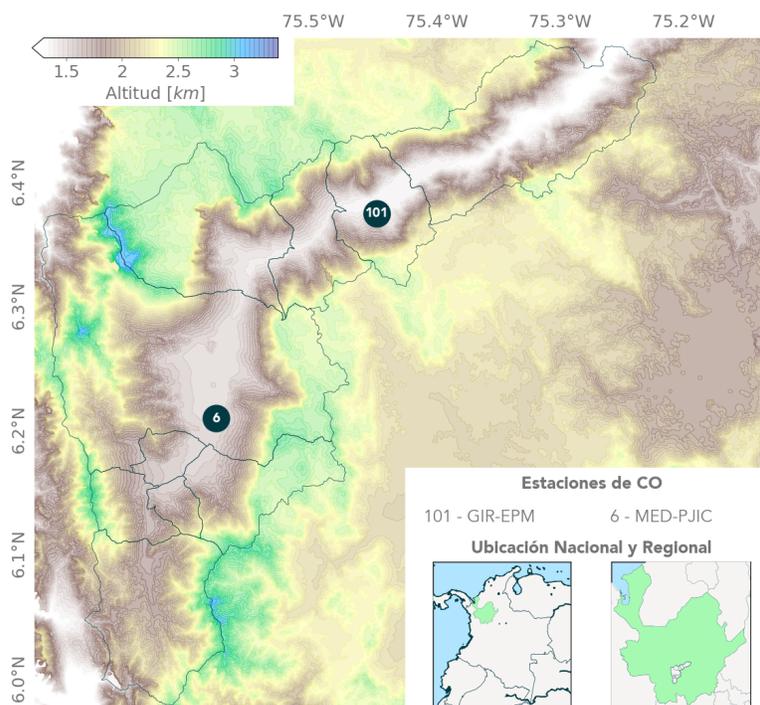


Figura 8.1: Estaciones automáticas de monitoreo de CO.

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 Septiembre 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 Septiembre de 2021 igual a 3699.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En esta misma estación se obtuvo la concentración horaria más alta igual a 4879.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En cuanto a la norma horaria colombiana (Definida como 35000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Resolución 2254 del 2017), no se presentaron excedencias al nivel máximo permisible.

| | GIR-EPM | MED-PJIC |
|-------|---------|----------|
| MEDIA | 406.6 | 2050.0 |
| VM1H | 2323.6 | 4879.5 |
| NEN1H | 0 | 0 |
| VM8H | 1500.4 | 3699.2 |
| NEN8H | 0 | 0 |

Tabla 8.1: Resumen estadístico de las concentraciones de CO, Septiembre 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.

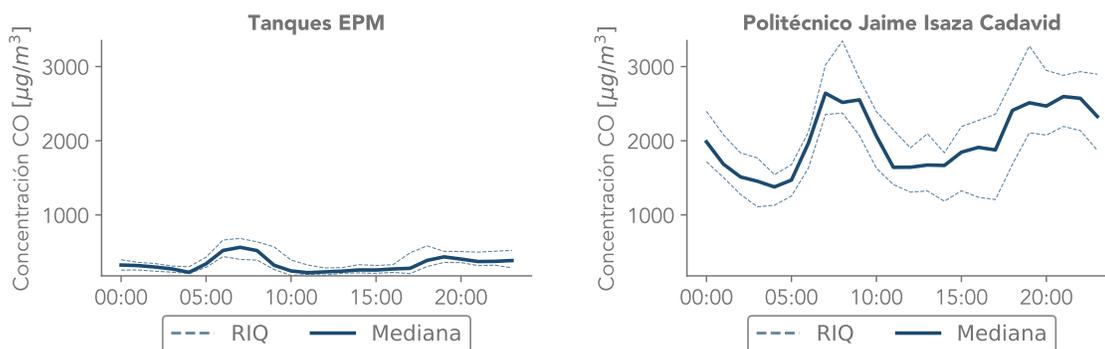


Figura 8.2: Ciclo Diurno de CO para las estaciones de la REDMCA.

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 Septiembre. Puede observarse como las estaciones presentaron valores de ICA equivalentes a la clasificación buena.

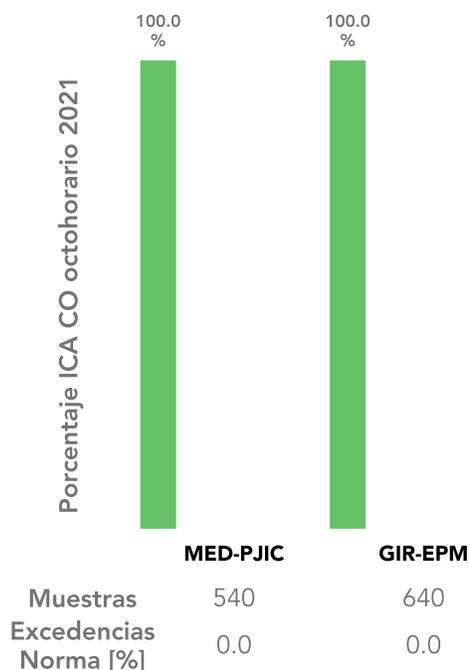


Figura 8.3: Variación porcentual de las categorías de calidad de aire para las concentraciones horarias de CO en las estaciones de monitoreo.

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.

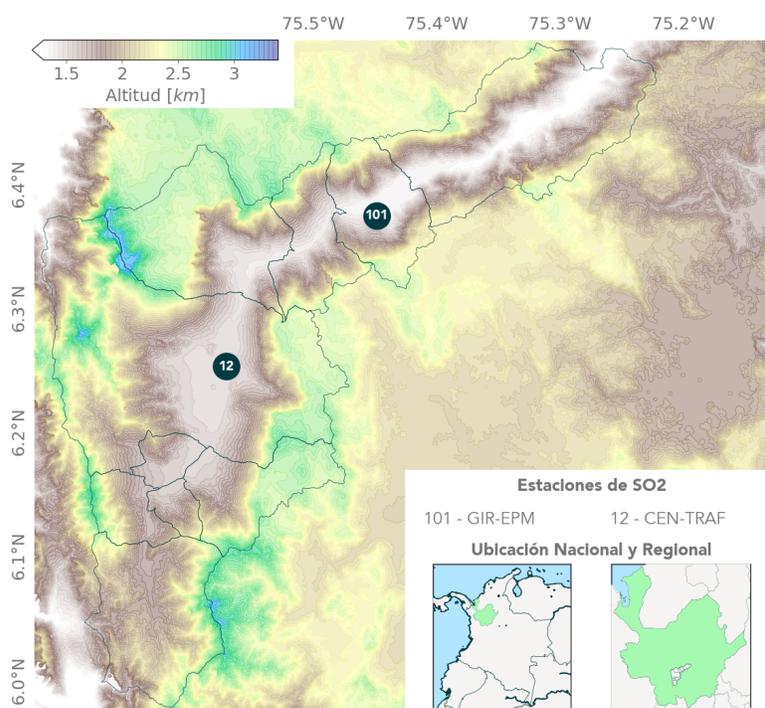


Figura 9.1: Estación automática de monitoreo de SO₂

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 Septiembre 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 Septiembre de 2021 fue igual a 44.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, obtenida en la estación GIR-EPM. En esta misma estación, se presentaron un total de 13 excedencias de la norma

horaria colombiana, definida como $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Resolución 2254 del 2017,

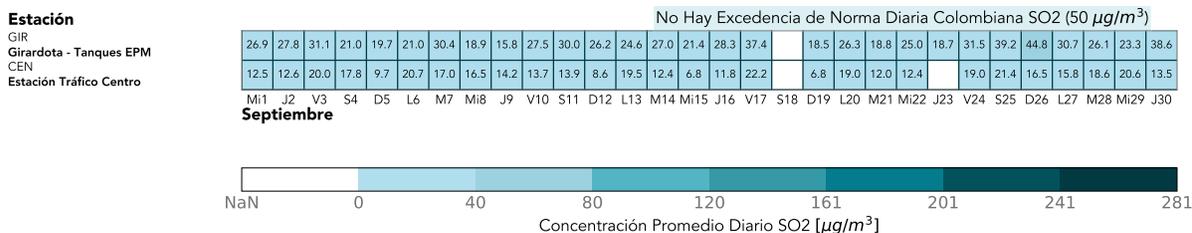


Figura 9.2: Concentración Diaria de SO₂ para la estación automática. Nota: En la gráfica NaN corresponde a datos faltantes.

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 | 29 | 28 |
| MAX | 44.8 | 22.2 |
| MEDIA | 26.8 | 15.2 |
| MIN | 15.8 | 6.8 |
| NEND | 0 | 0 |
| VM1H | 194.6 | 70.5 |
| NEN1H | 13 | 0 |

Tabla 9.1: Estadísticos resumen de SO₂.Septiembre 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.

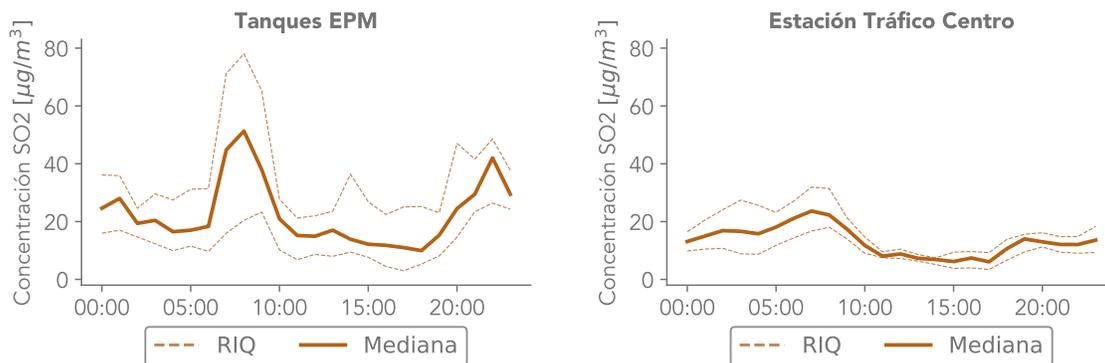


Figura 9.3: Ciclo Diurno de SO₂ para las estaciones de la REDMCA.

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 SO₂

La Figura 9.4 muestra la variación porcentual de las categorías de calidad de aire asociadas a las concentraciones horarias de SO₂ durante el mes de Septiembre 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

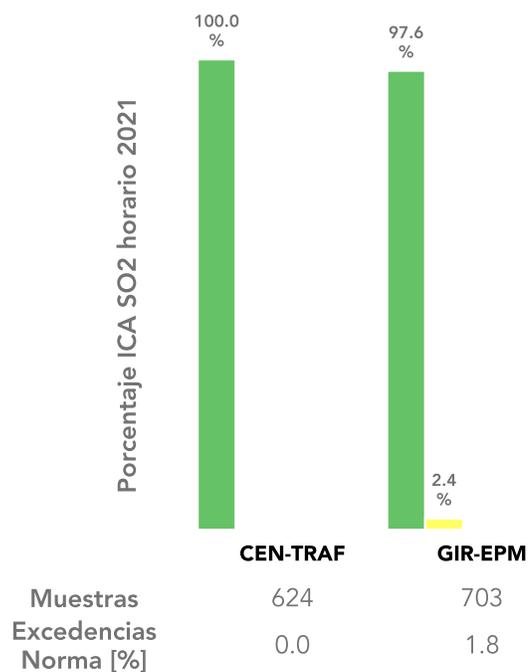


Figura 9.4: Porcentaje de días en las distintas categorías del ICA para la estación de SO₂

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.

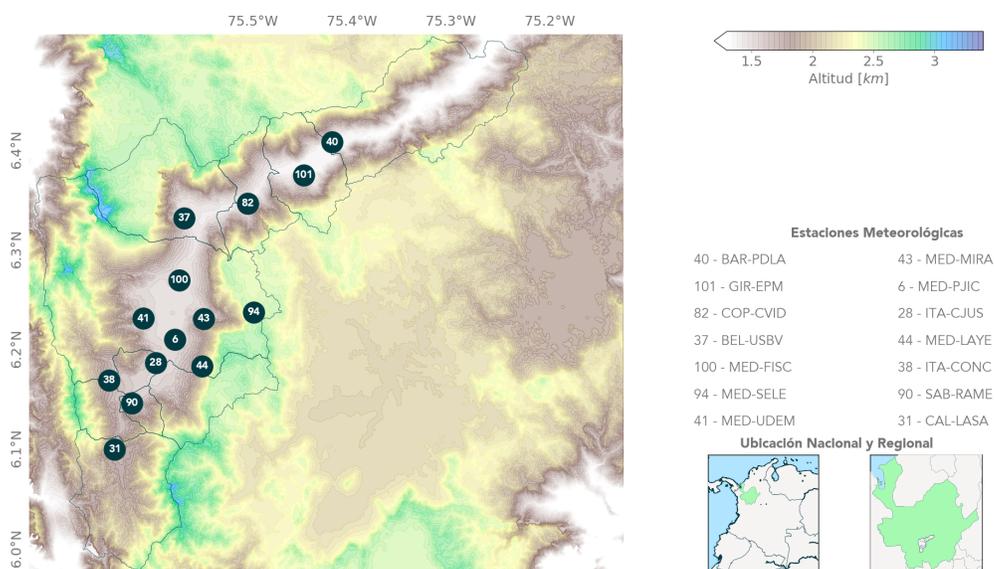


Figura 10.1: Estaciones automáticas de monitoreo de Meteorología.

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 Septiembre 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 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | 100.0 | 99.7 | 100.0 |
| GIR-EPM | 96.8 | 96.8 | 96.8 | | 96.8 | 96.8 | 96.8 |
| COP-CVID | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| BEL-USBV | 96.8 | | 98.5 | 100.0 | 100.0 | 86.9 | 100.0 |
| MED-FISC | 99.9 | 99.9 | 99.9 | | 99.9 | 99.9 | 99.9 |
| MED-SELE | 81.4 | 81.4 | 81.4 | | 81.4 | 81.2 | 81.4 |
| MED-UDEM | 99.9 | 99.9 | 99.9 | | 99.9 | 99.9 | 99.9 |
| MED-MIRA | 93.2 | 93.2 | 93.2 | | 93.2 | 93.2 | 93.2 |
| MED-PJIC | 89.0 | 89.0 | 89.0 | | 89.0 | 89.0 | 89.0 |
| ITA-CJUS | 4.3 | | 99.0 | 100.0 | 100.0 | 96.2 | 100.0 |
| MED-LAYE | 97.6 | 97.6 | 97.6 | | 97.6 | 97.6 | 97.6 |
| ITA-CONC | 46.4 | 46.4 | 46.4 | | 46.4 | 46.4 | 46.4 |
| SAB-RAME | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | 100.0 | 99.3 | 100.0 |
| CAL-LASA | 84.3 | 84.3 | 84.3 | | 84.3 | 83.9 | 84.3 |

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.

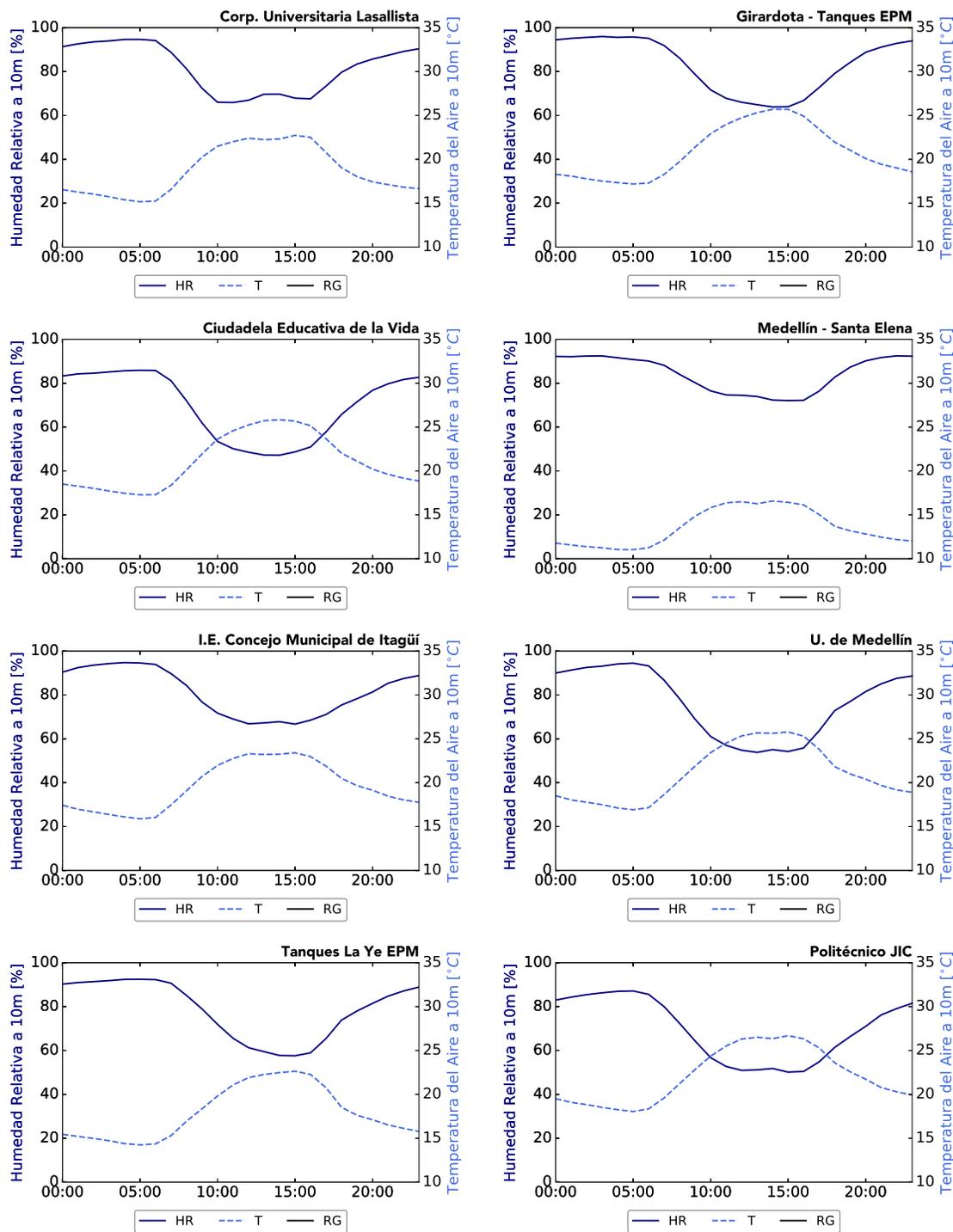


Figura 10.2: Radiación Solar, Temperatura y Humedad Relativa para las distintas estaciones.

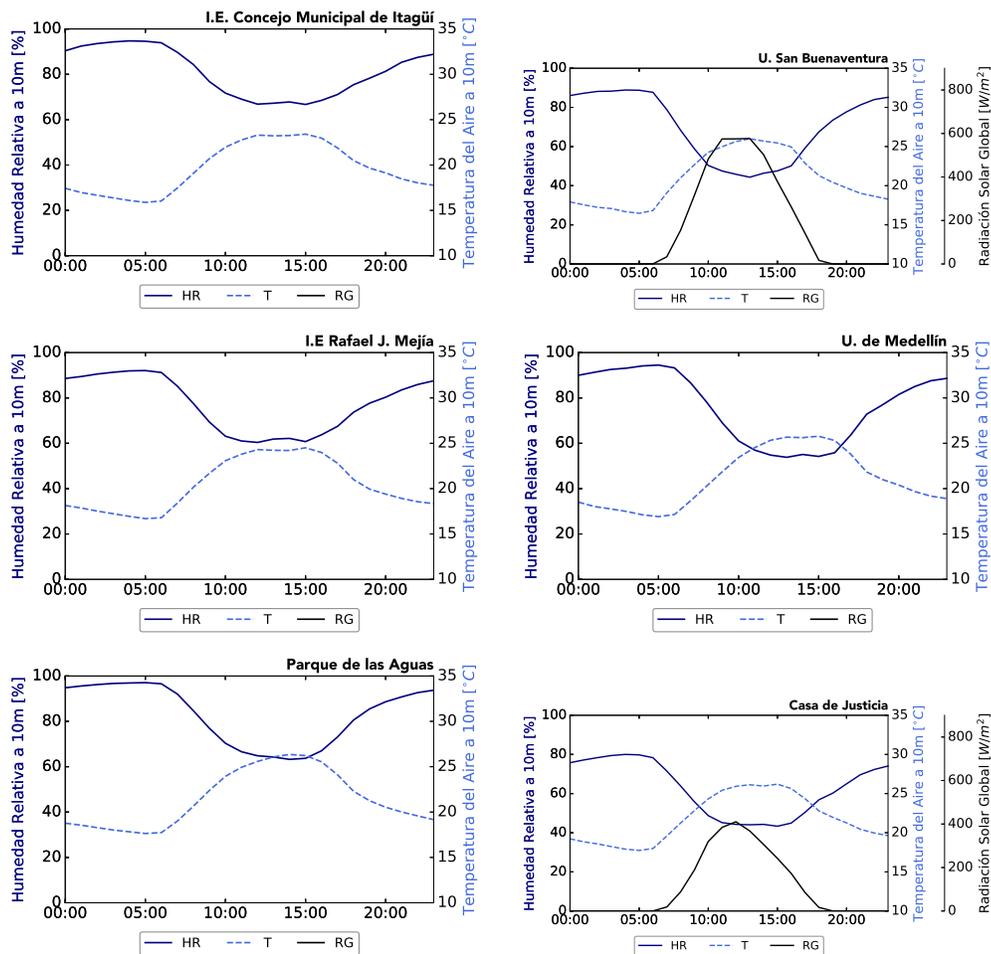


Figura 10.2: Continuación

Precipitación

La Figura 10.3 presenta la precipitación horaria y acumulada para el mes de Septiembre 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.

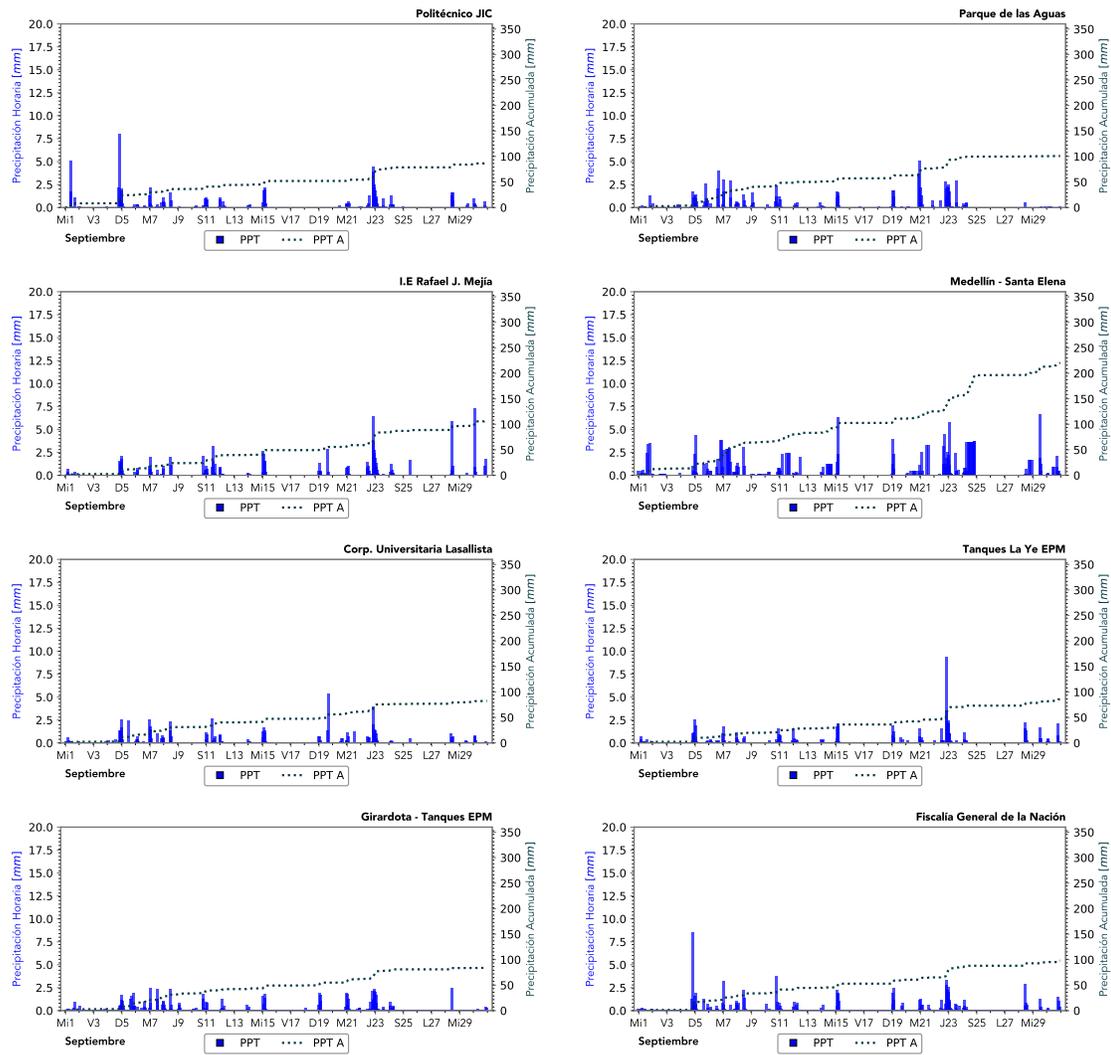


Figura 10.3: Precipitación horaria y acumulada para las distintas estaciones.

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

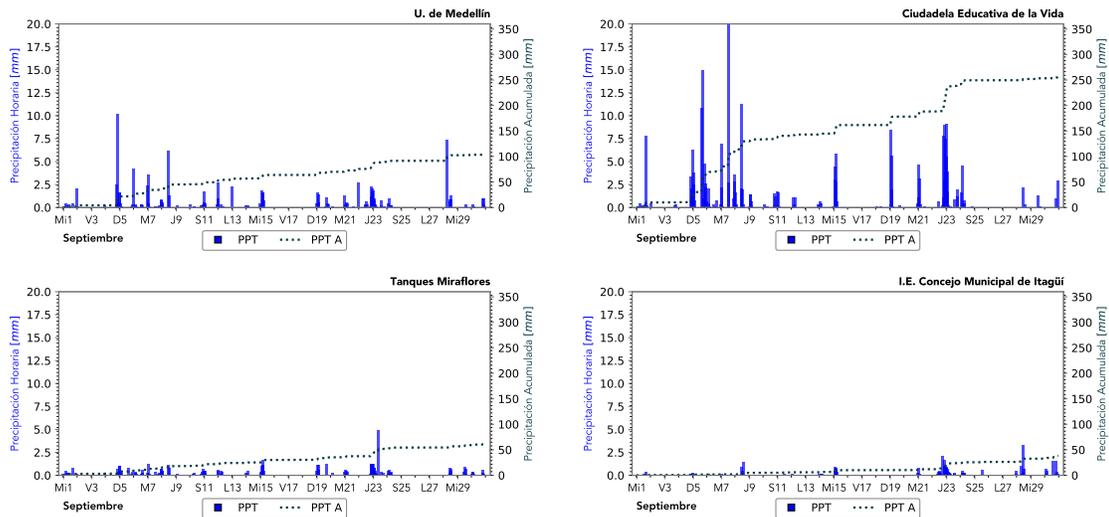


Figura 10.3: Continuación

Tabla 10.3: Estadísticos Precipitación

| Estación | Acumulado Mensual (mm) | Días Sin Precipitación | Máximo Acumulado Diario (mm) | Máximo Acumulado Horario (mm) |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| BAR-PDLA | 100.9 | 3.0 | 11.0 | 5.1 |
| GIR-EPM | 84.3 | 3.0 | 10.6 | 2.5 |
| COP-CVID | 257.5 | 3.0 | 49.5 | 21.6 |
| MED-FISC | 98.2 | 6.0 | 11.2 | 8.5 |
| MED-SELE | 220.2 | 6.0 | 39.7 | 6.6 |
| MED-UDEM | 105.9 | 5.0 | 13.5 | 10.1 |
| MED-MIRA | 61.3 | 2.0 | 10.8 | 5.0 |
| MED-PJIC | 87.4 | 7.0 | 12.7 | 8.0 |
| MED-LAYE | 85.7 | 4.0 | 17.6 | 9.4 |
| ITA-CONC | 38.0 | 3.0 | 7.7 | 3.3 |
| SAB-RAME | 108.7 | 3.0 | 17.1 | 7.3 |
| CAL-LASA | 82.5 | 5.0 | 9.8 | 5.4 |

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 varía de estación a estación dentro del área metropolitana tanto en horario diurno como nocturno, así mismo sucede con la velocidad de los vientos.

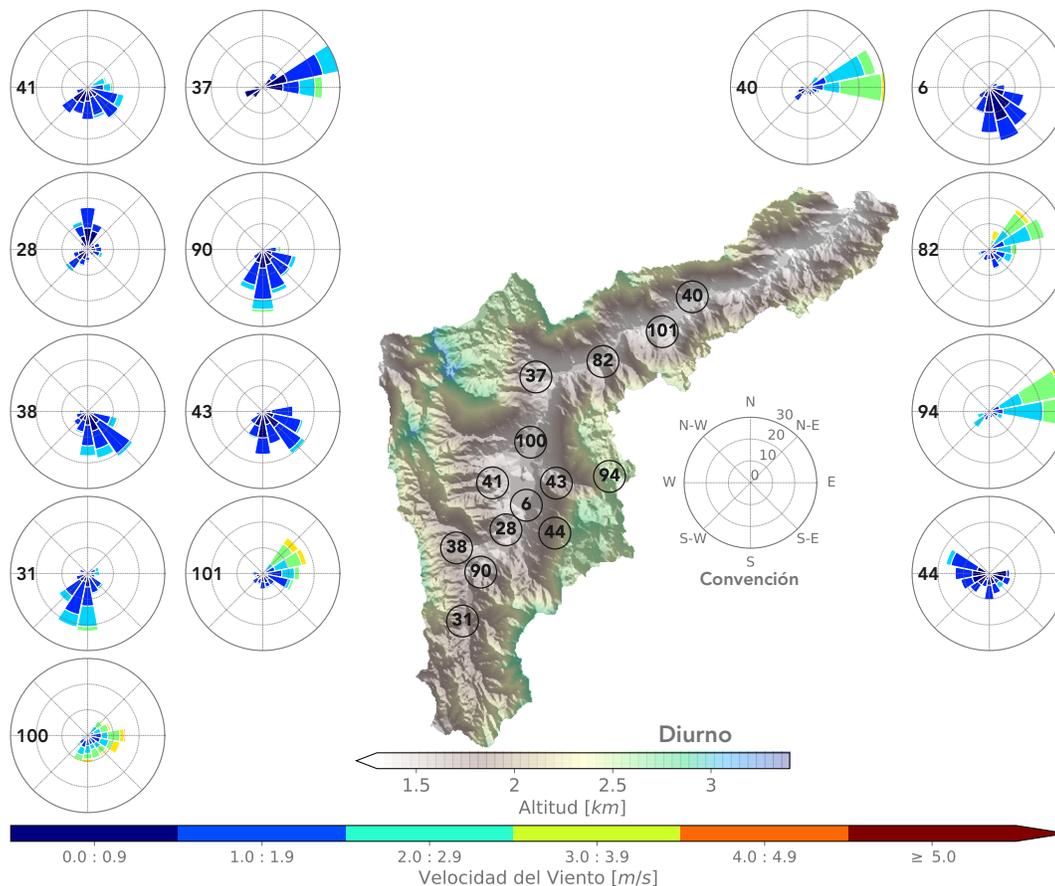


Figura 10.4: Rosas de Viento diurnas para las distintas estaciones

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

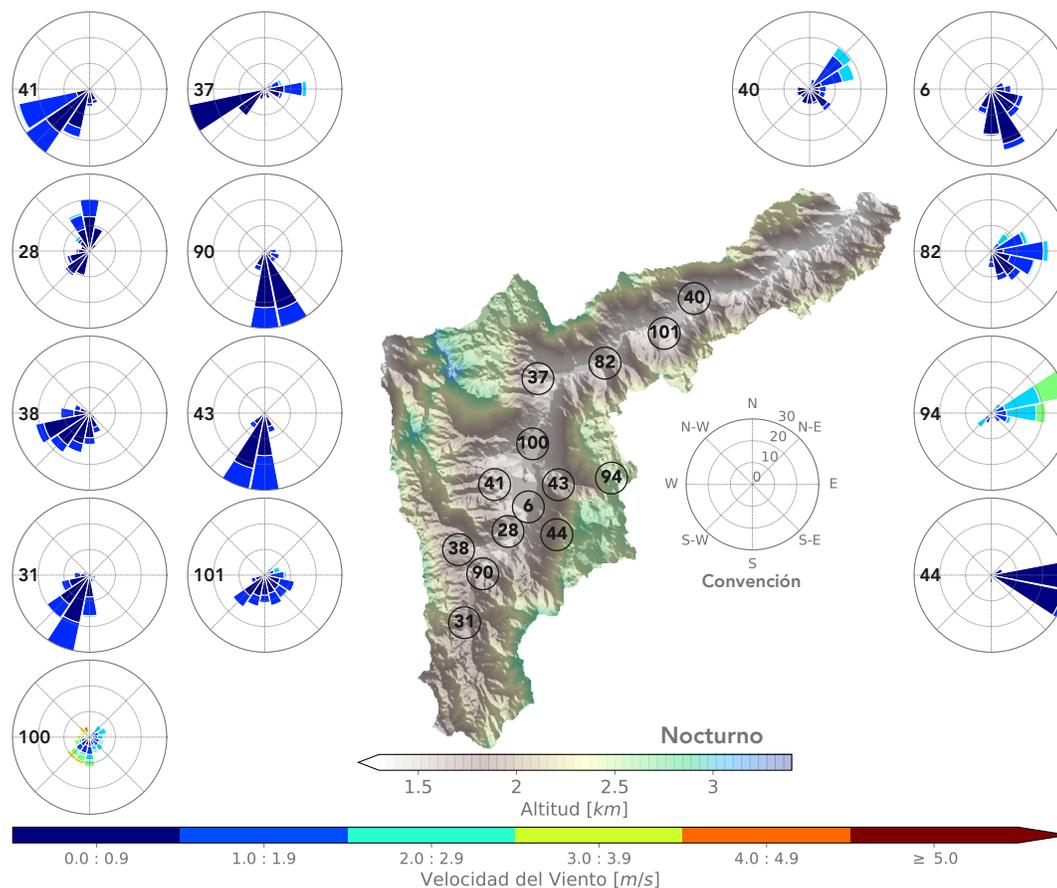


Figura 10.5: Rosas de Viento nocturnas para las distintas estaciones

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-SELE, con una velocidad promedio de 2.67 m/s y la estación con velocidades diurnas más bajas corresponde a la estación ITA-CJUS con una velocidad promedio de 0.91 m/s . En el caso nocturno, la mayor velocidad se registró en la estación MED-FISC con un promedio de 2.42 m/s , mientras que la velocidad más baja se presentó en la estación BEL-USBV con un promedio de 0.55 m/s .

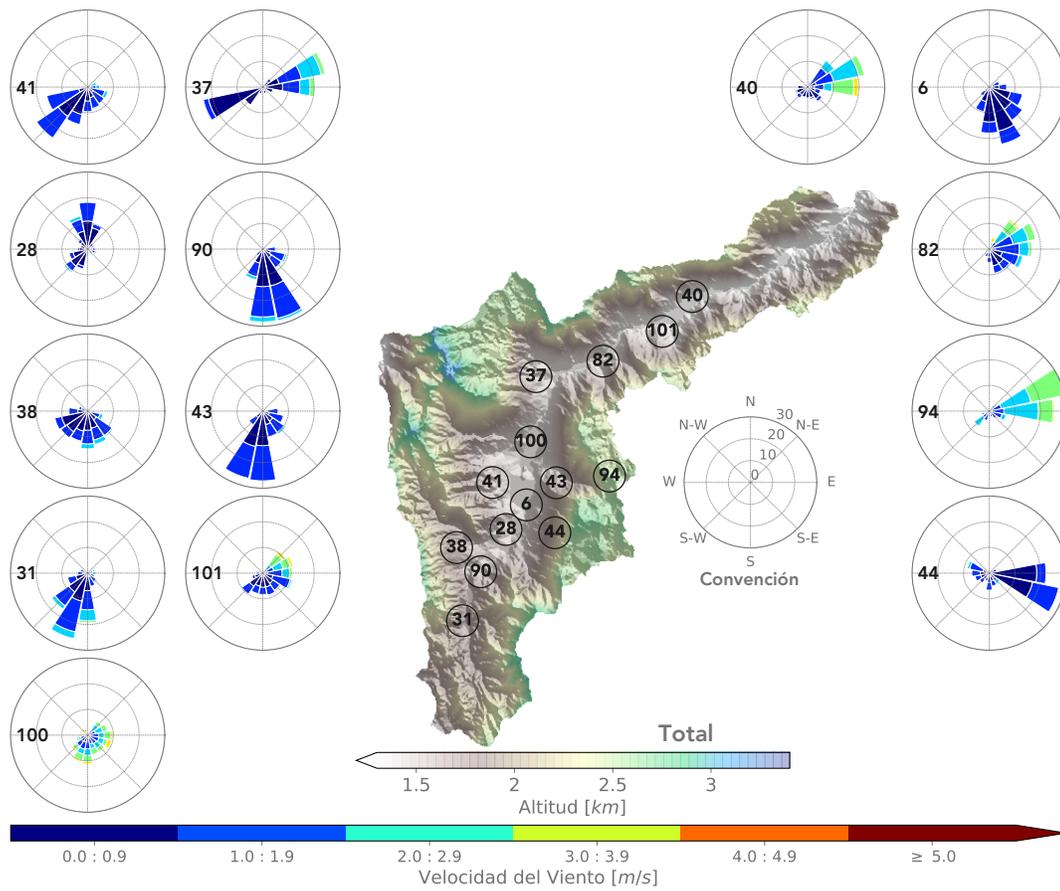


Figura 10.6: Rosas de Viento totales para las distintas estaciones.

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 |
| 2021-09-01 | A7742 | A7744 | A7743 | A7741 | A7739 | A7734 | A7738 | A7737 | A7736 | A7735 |
| 2021-09-04 | A7755 | A7752 | A7756 | A7754 | A7750 | A7746 | A7748 | A7749 | A7751 | A7745 |
| 2021-09-07 | A7765 | A7767 | A7768 | A7766 | A7763 | A7761 | A7757 | A7762 | A7759 | A7758 |
| 2021-09-09 | A8812 | A8809 | A8813 | A8811 | A7769 | A8806 | A7770 | A8808 | A8805 | A8807 |
| 2021-09-13 | A8821 | A8824 | A8825 | A8823 | A8817 | A8819 | A8816 | A8814 | A8818 | A8820 |
| 2021-09-16 | A8837 | A8836 | A8834 | A8835 | A8832 | A8830 | A8826 | A8828 | A8827 | A8831 |
| 2021-09-19 | A8848 | A8847 | A8846 | A8849 | A8840 | A8842 | A8841 | A8839 | A8844 | A8843 |
| 2021-09-22 | A8857 | A8860 | A8861 | A8859 | A8856 | A8850 | A8852 | A8851 | A8853 | A8855 |
| 2021-09-25 | A8872 | A8871 | A8873 | A8870 | A8865 | A8864 | A8862 | A8867 | A8866 | A8868 |
| 2021-09-28 | A8882 | A8884 | A8885 | A8883 | A8880 | A8878 | A8876 | A8879 | A8874 | A8875 |
| 2021-09-30 | A8893 | A8896 | A8897 | A8895 | A8888 | A8887 | A8889 | A8891 | A8890 | A8892 |

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 |
| 2021-09-01 | A1272 | 2021-09-06 | A1273 | 2021-09-06 |
| 2021-09-04 | A1248 | 2021-09-09 | A1277 | 2021-09-09 |
| 2021-09-07 | A1261 | 2021-09-10 | A1260 | 2021-09-10 |
| 2021-09-09 | A1309 | 2021-09-14 | A1266 | 2021-09-14 |
| 2021-09-13 | A1264 | 2021-09-17 | A1263 | 2021-09-17 |
| 2021-09-16 | A1257 | 2021-09-20 | A1334 | 2021-09-20 |
| 2021-09-19 | A1315 | 2021-09-22 | A1265 | 2021-09-22 |
| 2021-09-22 | A1290 | 2021-09-24 | A1297 | 2021-09-24 |
| 2021-09-25 | A1312 | 2021-09-30 | A1331 | 2021-09-30 |
| 2021-09-28 | A1317 | 2021-10-01 | A1292 | 2021-10-01 |
| 2021-09-30 | A1300 | 2021-10-06 | A1294 | 2021-10-06 |

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 Septiembre.

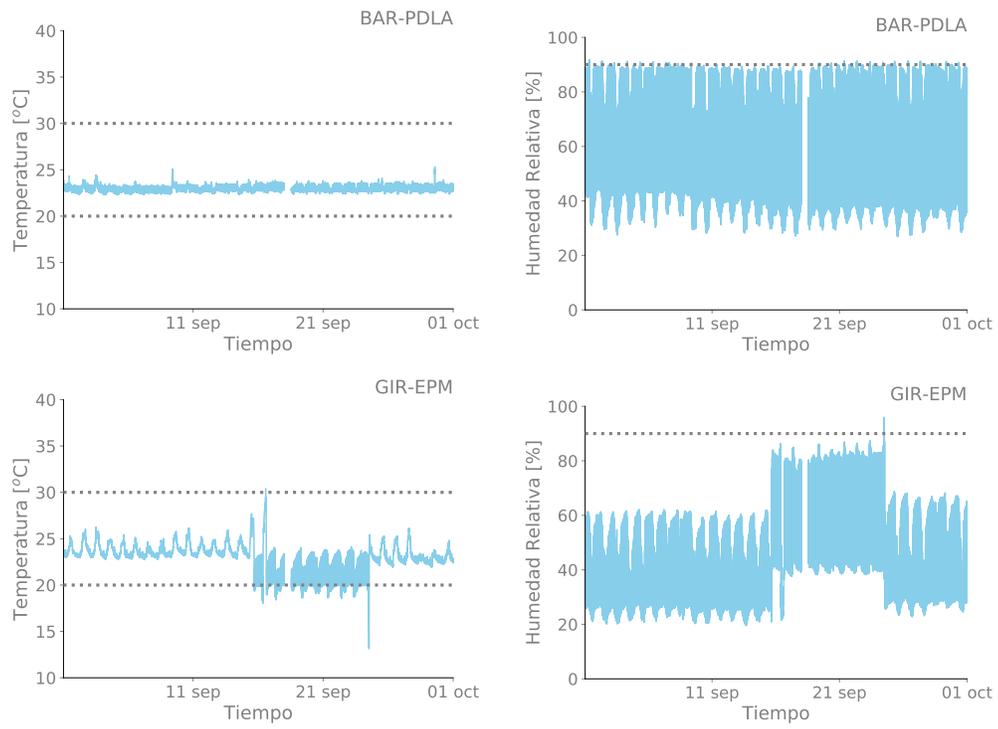


Figura 11.1: Condiciones de humedad y temperatura al interior del shelter

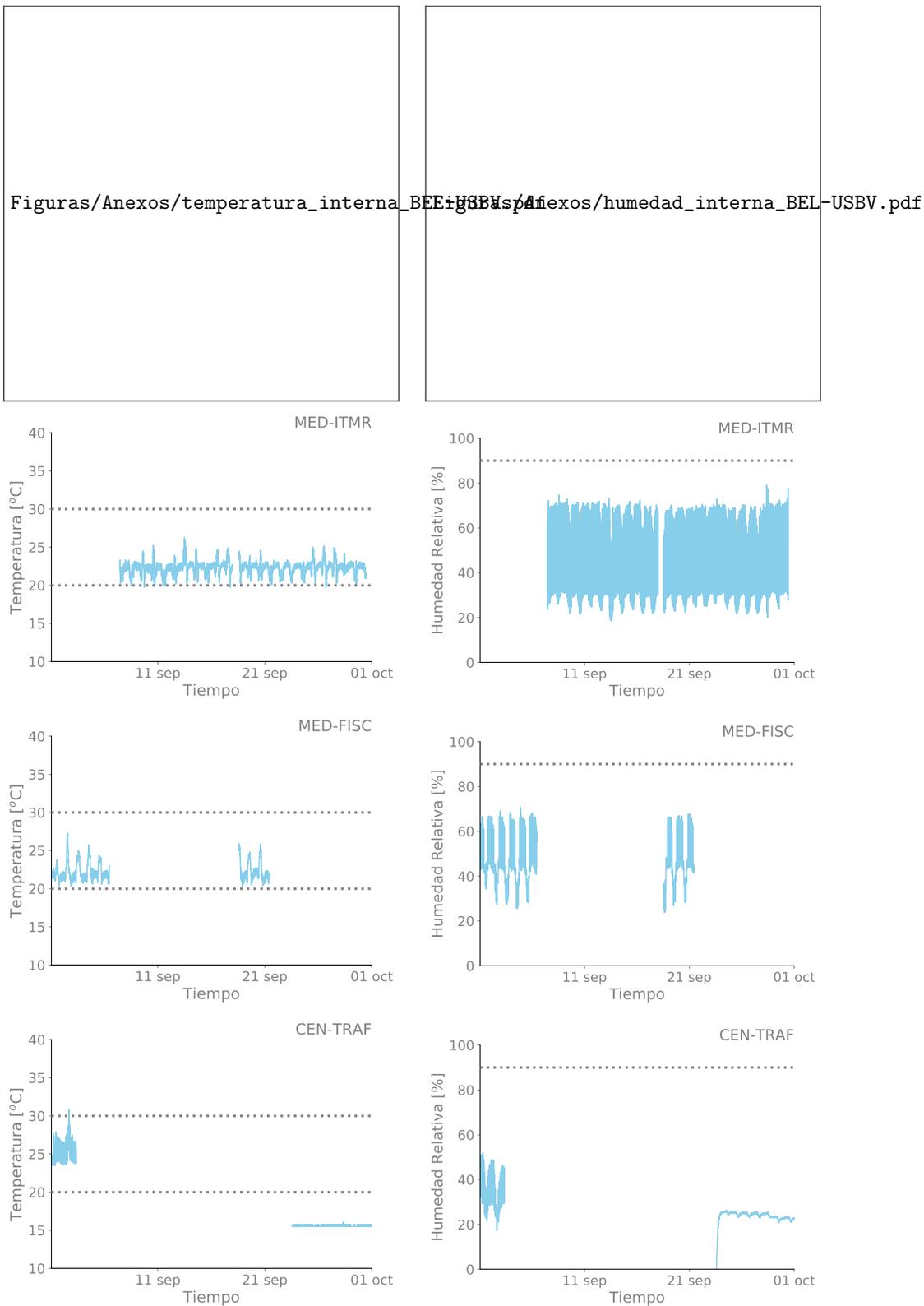


Figura 11.16C Continúa

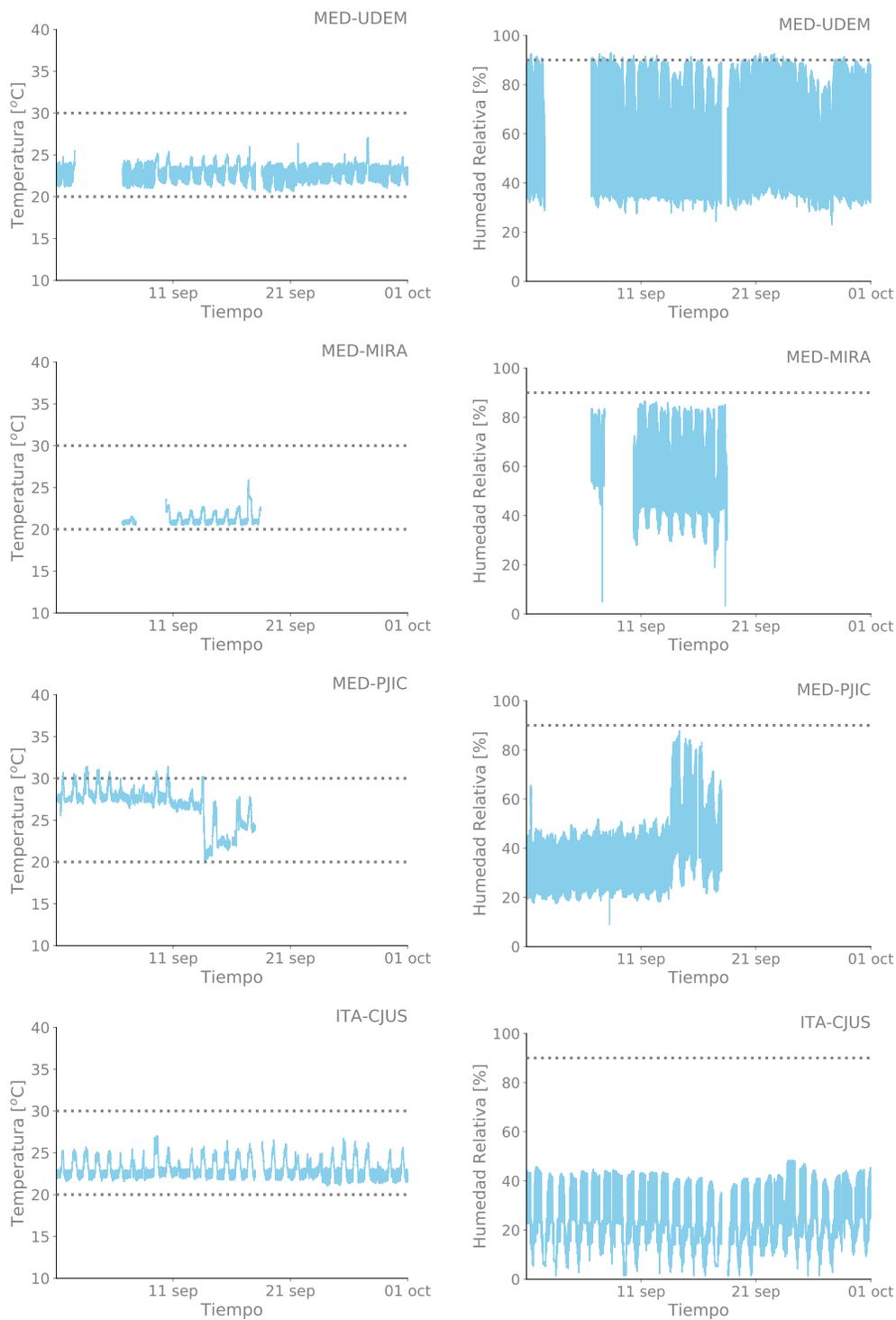


Figura 11.1: Continuación

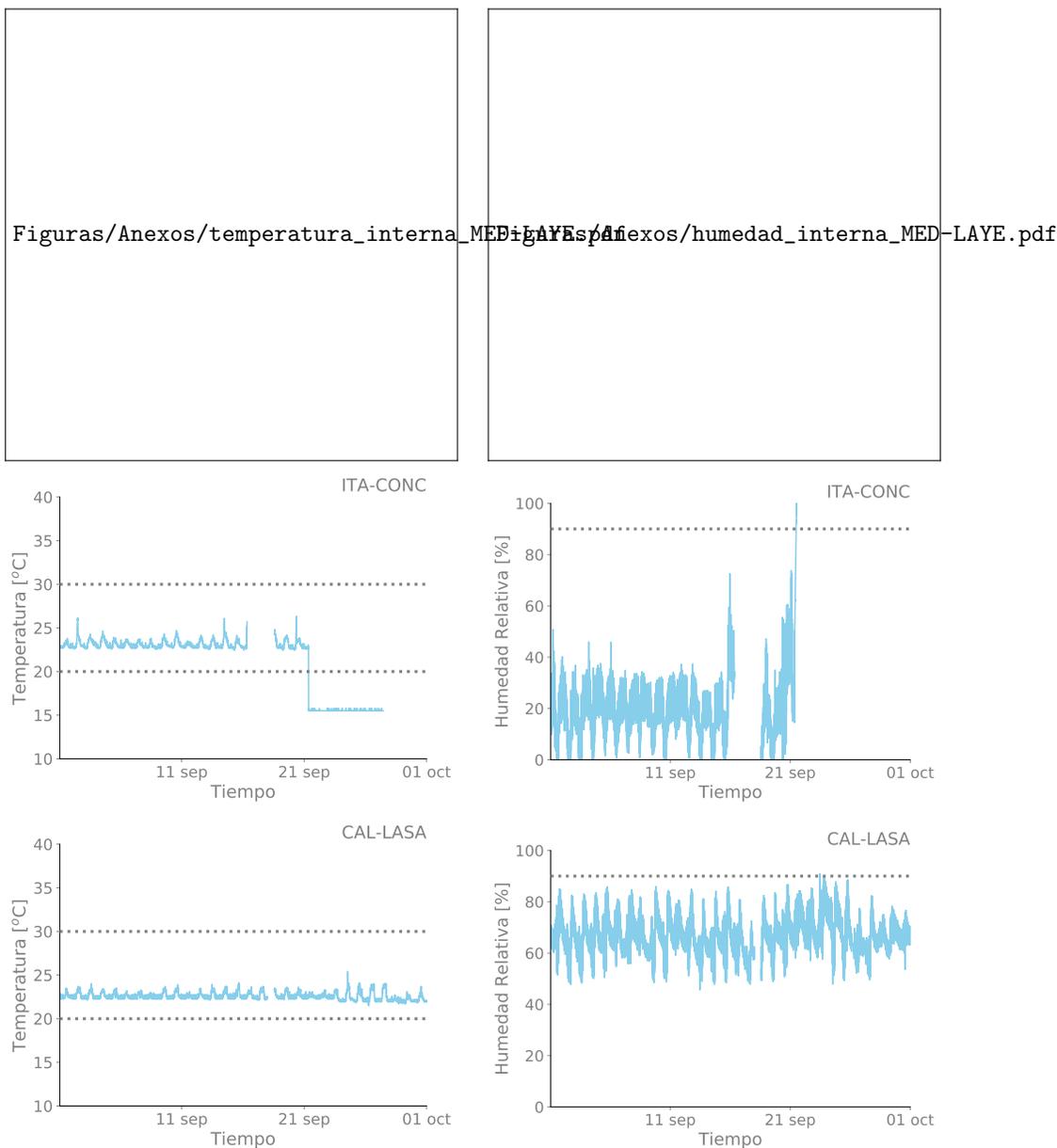


Figura 11.1: Continuación

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, NO, NO₂, NO_x, Ozono, CO y SO₂ para las estaciones automáticas en medición de cada contaminante en el mes de Septiembre 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

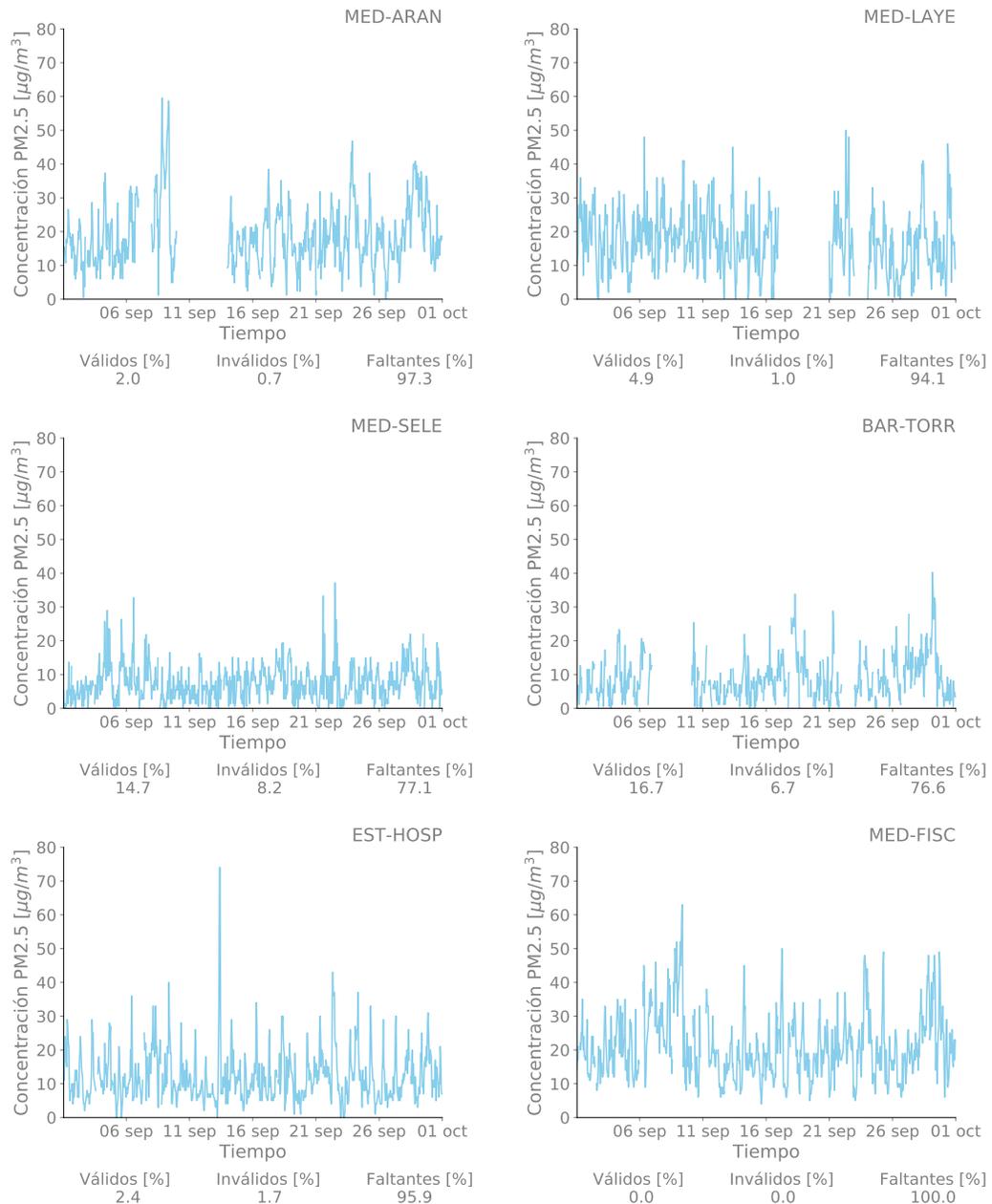


Figura 11.2: Series de las concentraciones de PM25

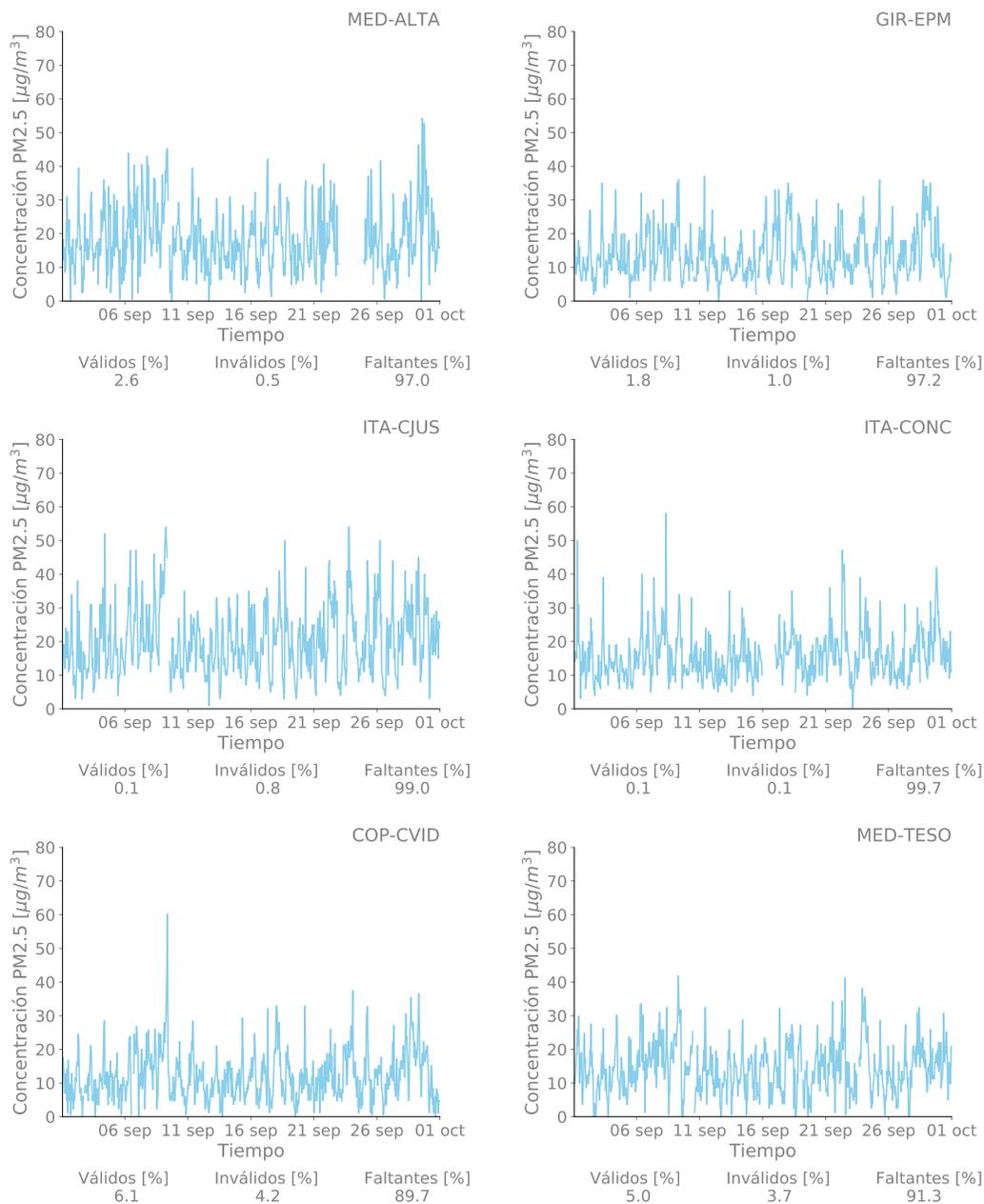


Figura 11.2: Continuación

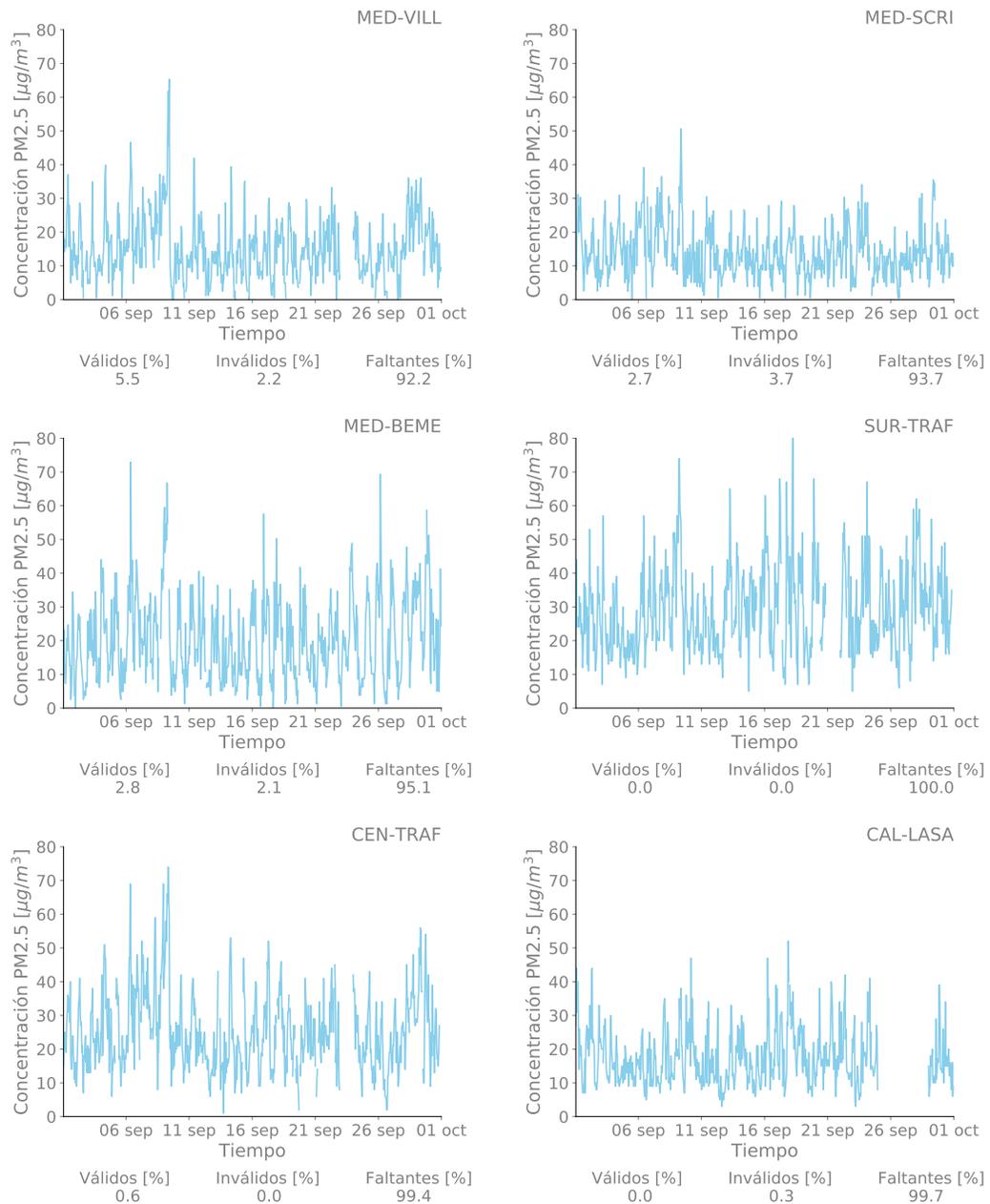


Figura 11.2: Continuación

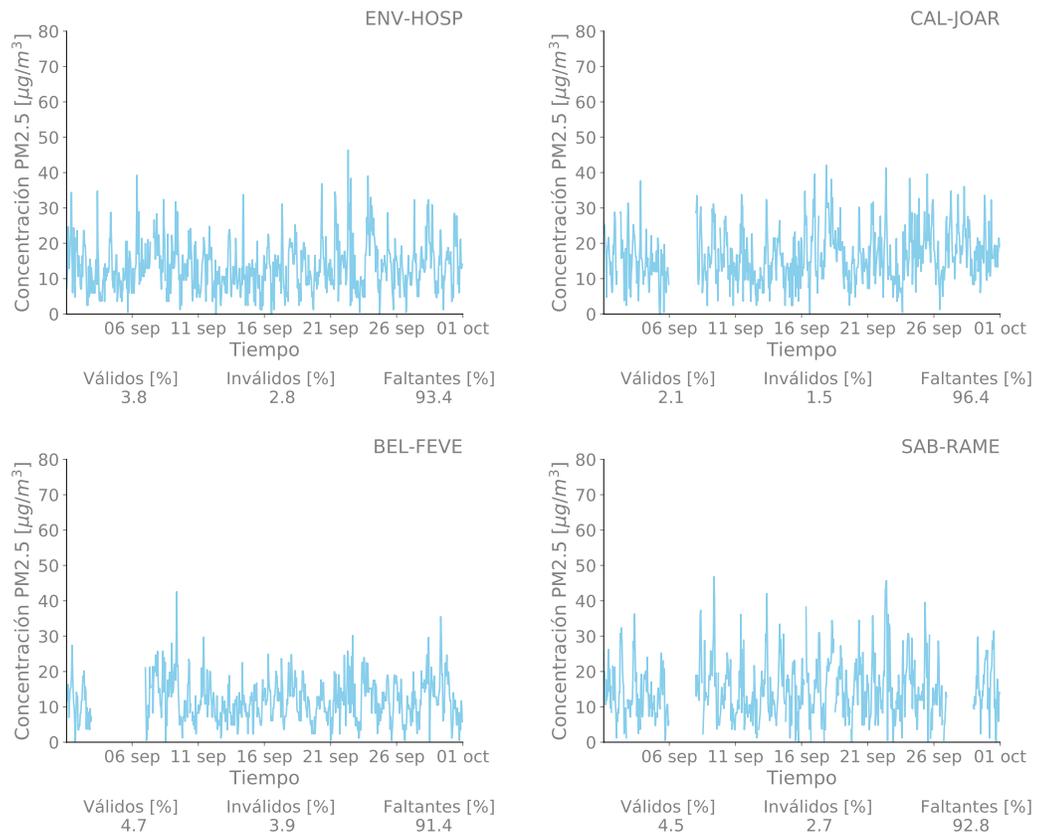


Figura 11.2: Continuación

Series de las concentraciones de PM10

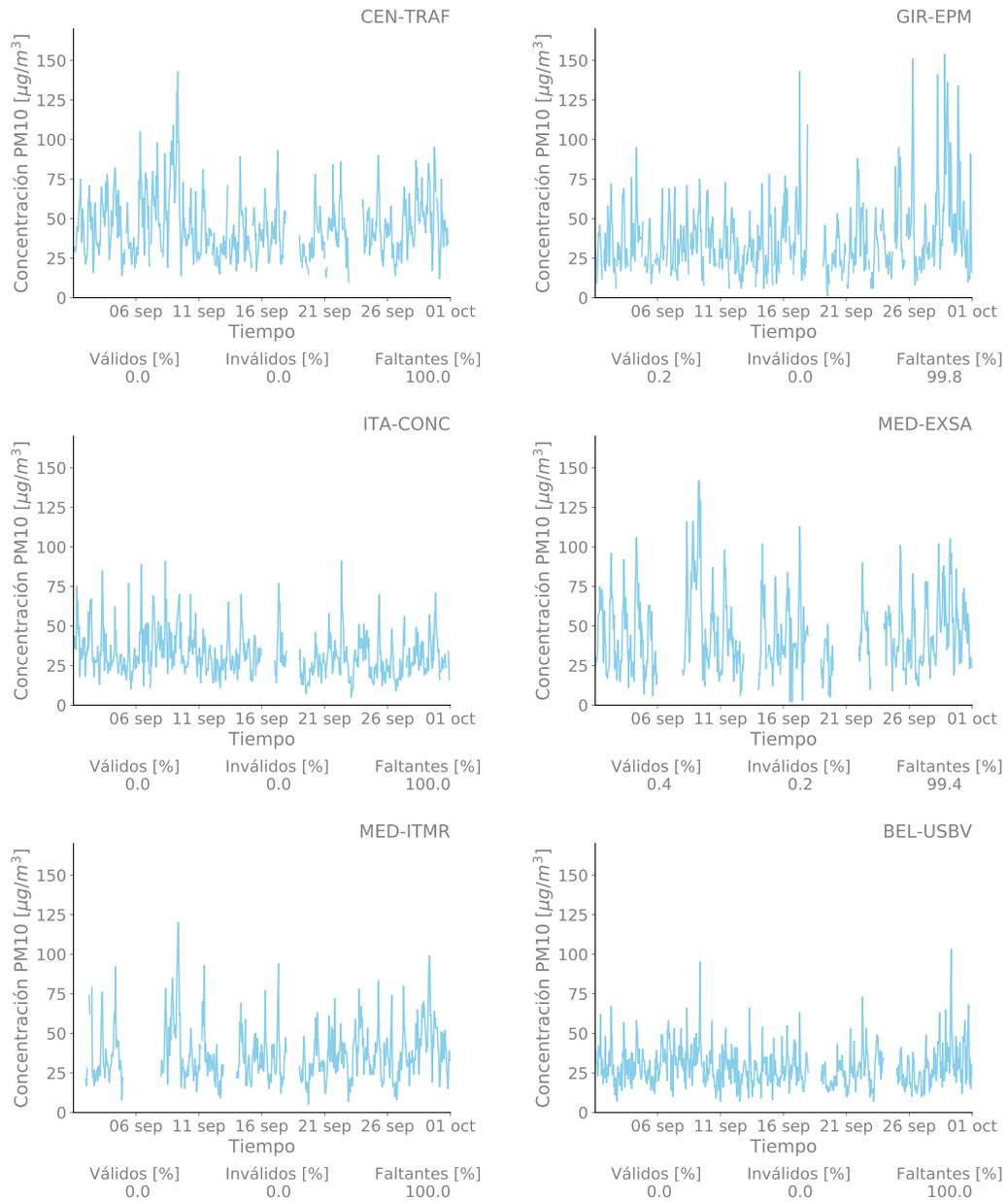


Figura 11.3: Series de las concentraciones de PM10

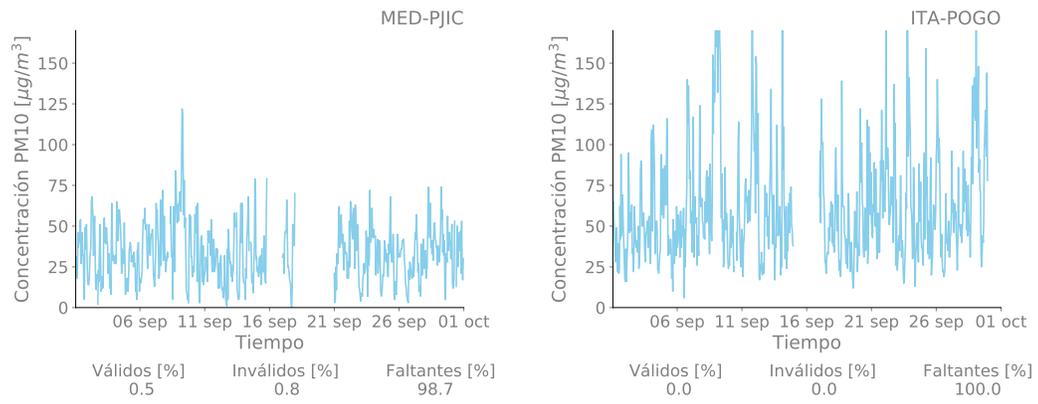


Figura 11.3: Continuación

Series de las concentraciones de NO

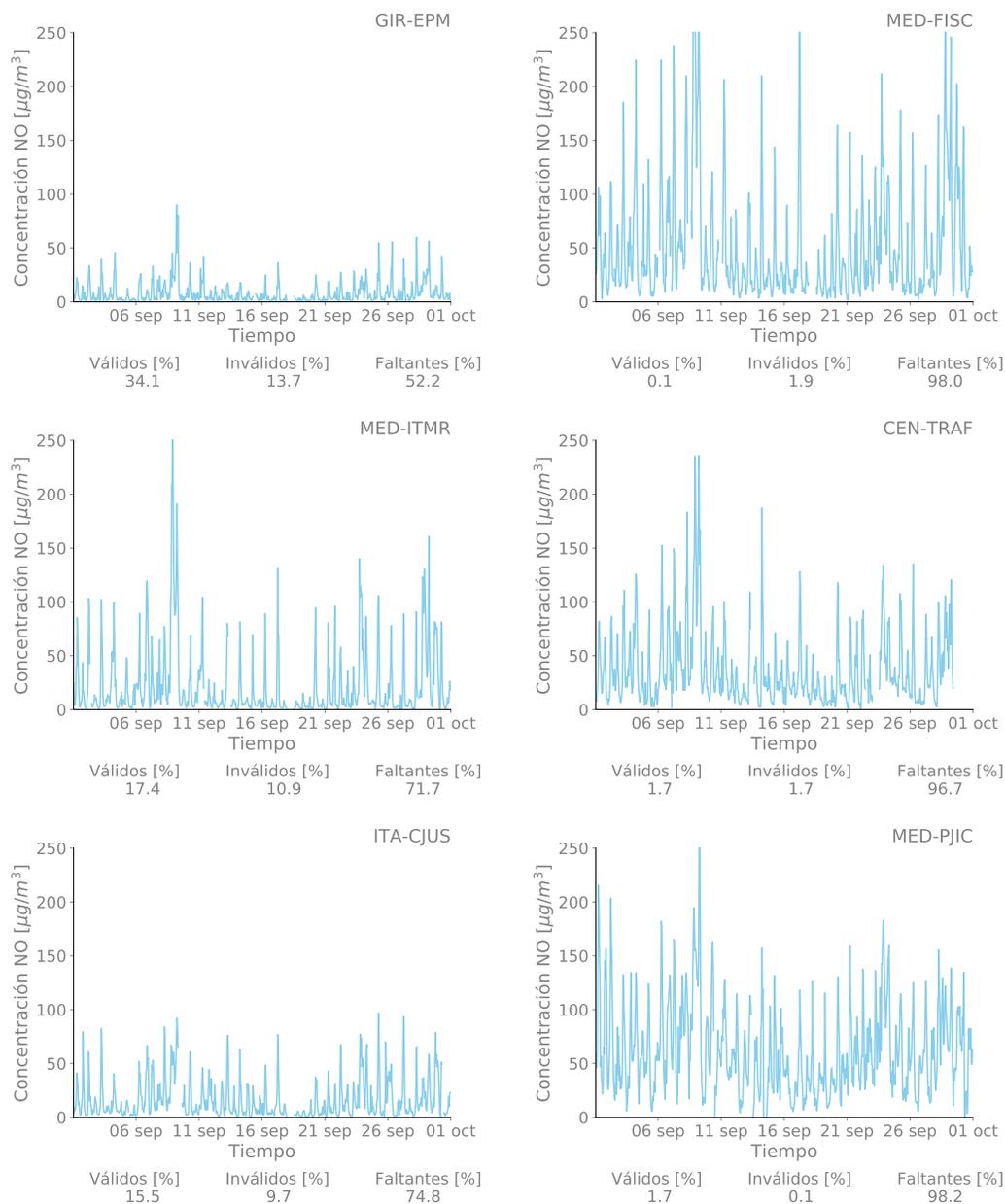


Figura 11.4: Series de las concentraciones de NO

Series de las concentraciones de NO2

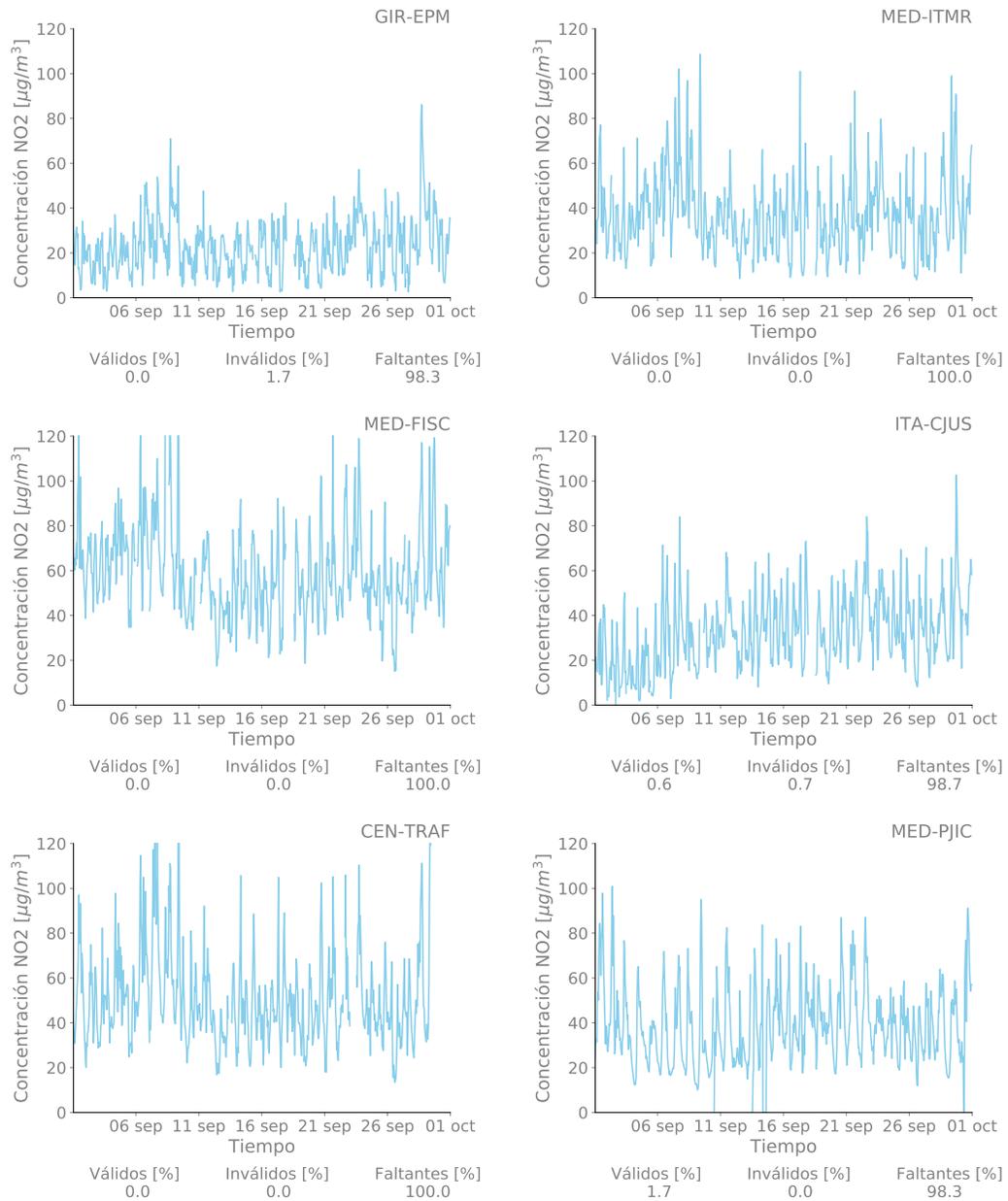


Figura 11.5: Series de las concentraciones de NO2

Series de las concentraciones de NOx

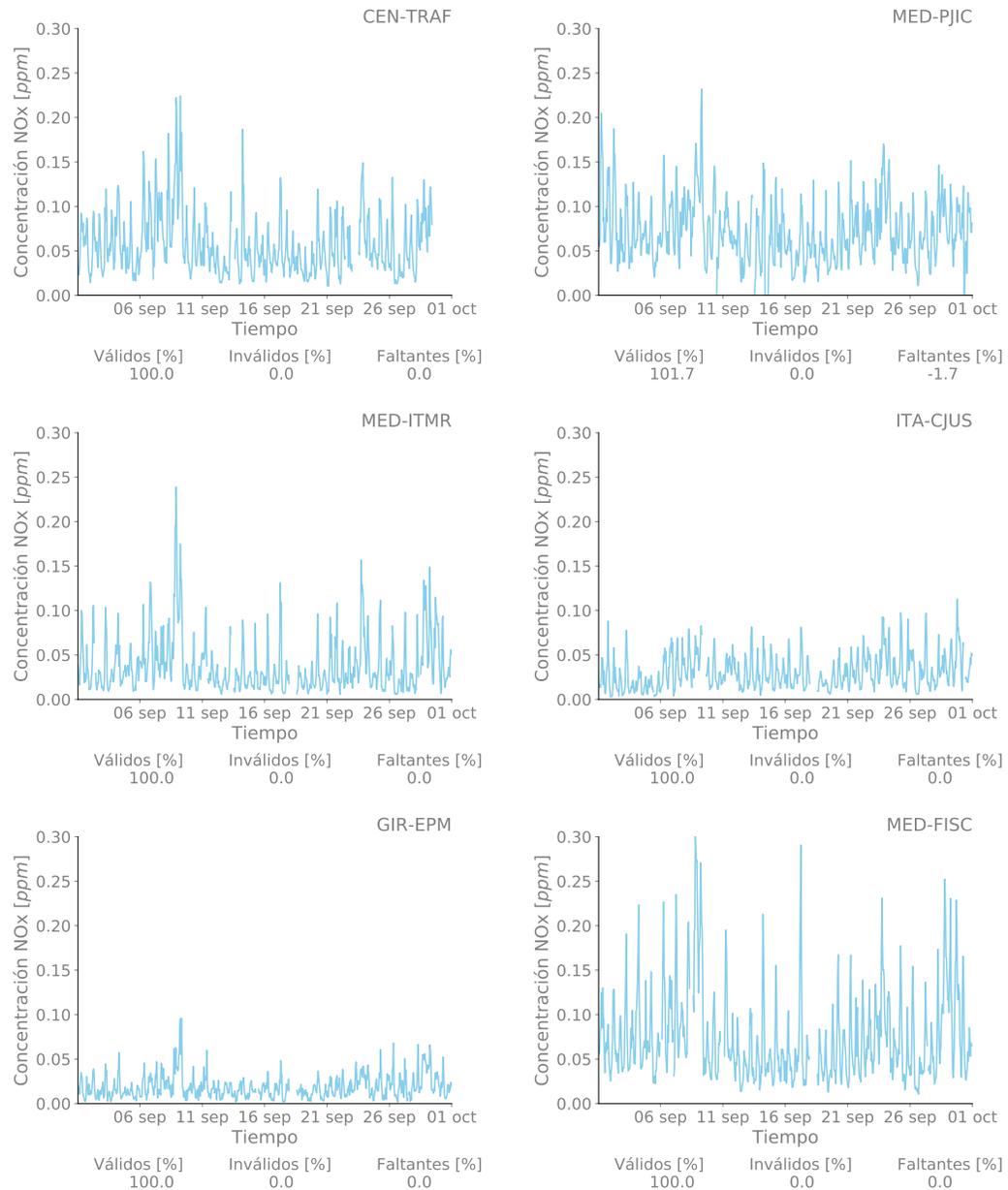


Figura 11.6: Series de las concentraciones de NOx

Series de las concentraciones de Ozono

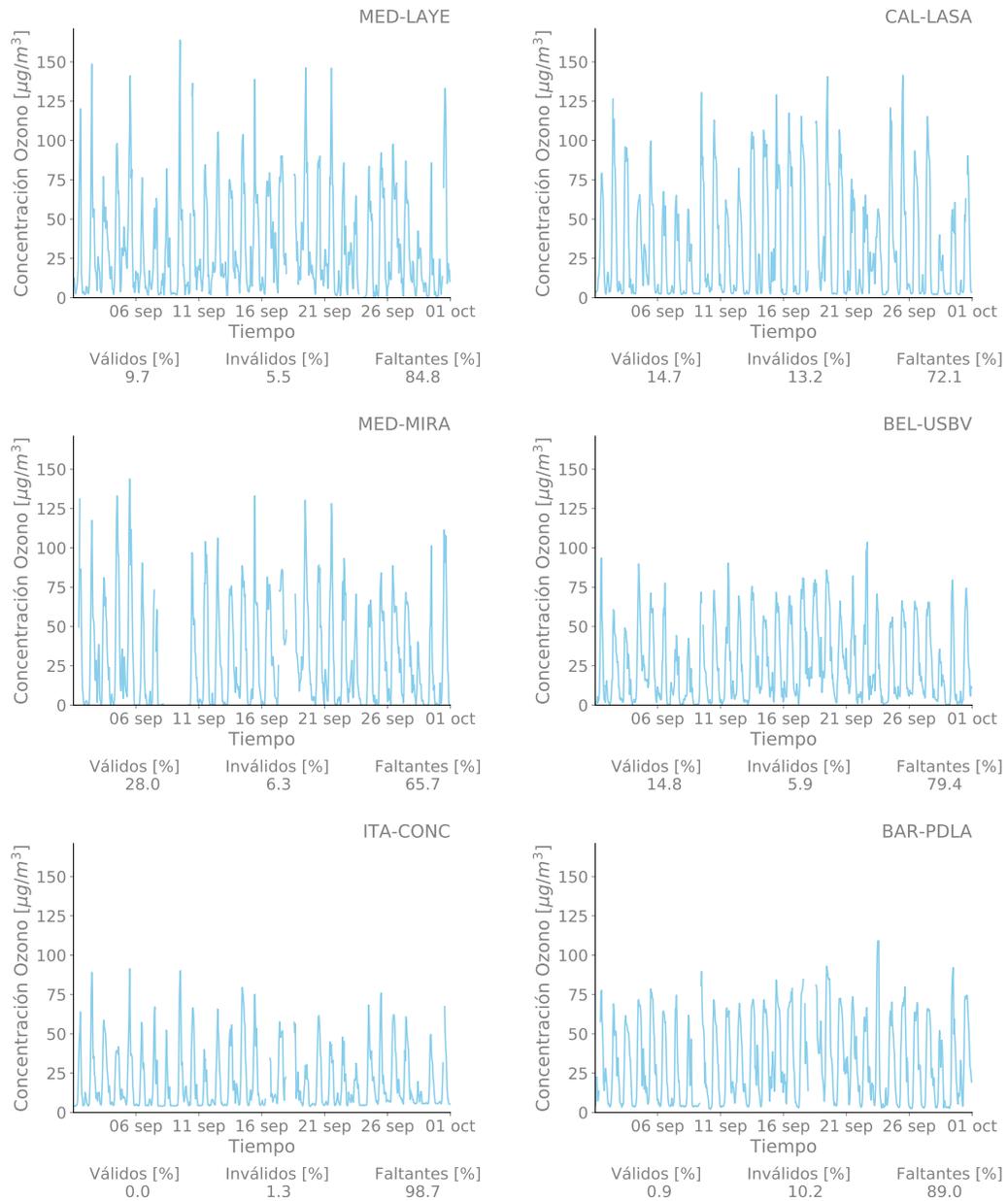


Figura 11.7: Series de las concentraciones de Ozono

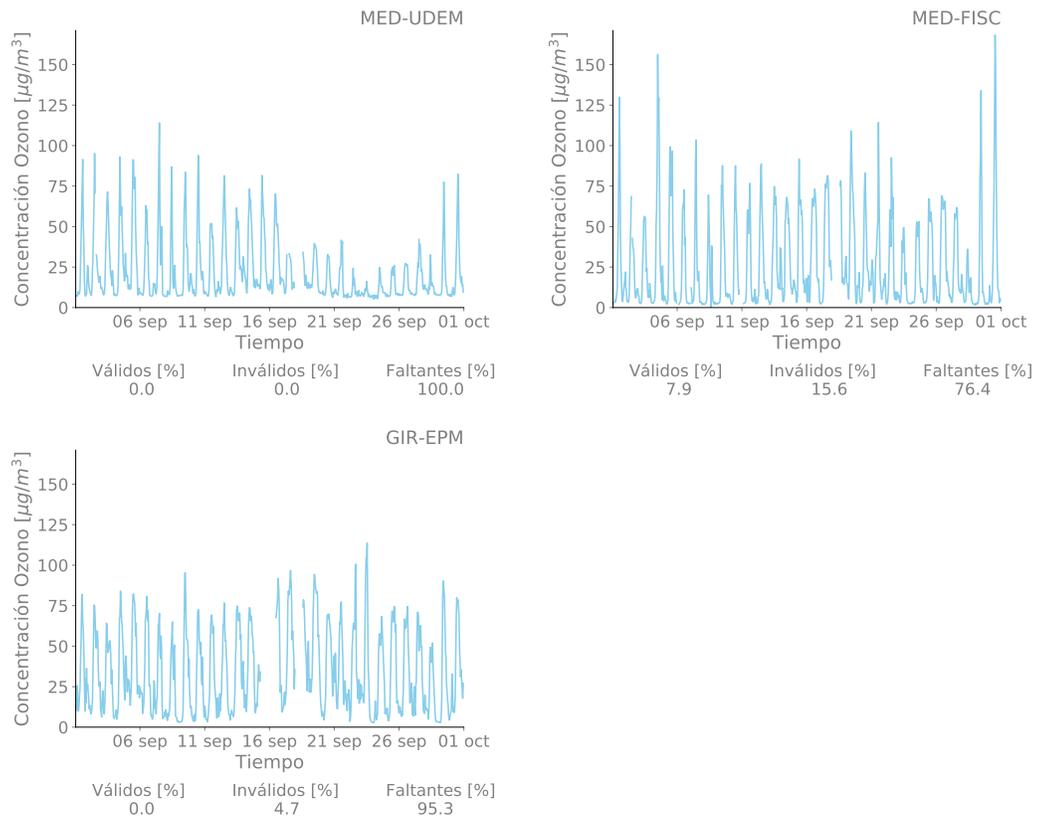


Figura 11.7: Continuación

Series de las concentraciones de CO

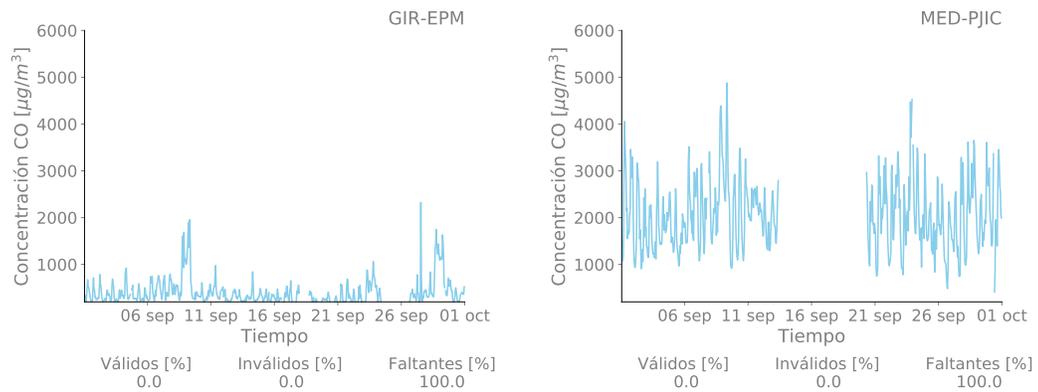


Figura 11.8: Series de las concentraciones de CO

Series de las concentraciones de SO2

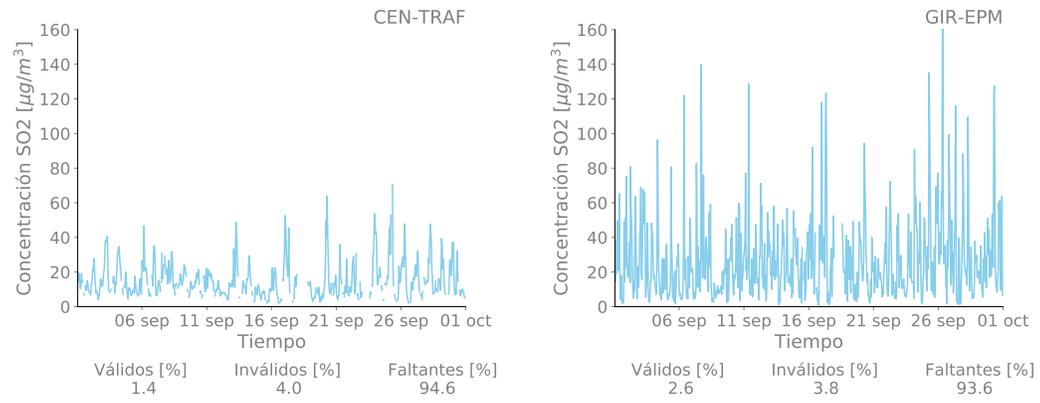


Figura 11.9: Series de las concentraciones de SO2

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
